

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
MAESTRIA EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Trabajo de Fin de carrera titulado:

**“GESTIÓN TÉCNICA DE RUIDO INDUSTRIAL PARA EL  
DISEÑO DE LA NUEVA PLANTA PROCESADORA DE  
POLLOS DE LA EMPRESA POFASA”**

Realizado por:

**ING. ANA PAULINA YÉPEZ PABÓN**

Como requisito para la obtención del título de

**MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

QUITO, JUNIO DE 2011.

## **DECLARACION JURAMENTADA**

Yo, Ana Paulina Yépez Pabón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**ANA PAULINA YÉPEZ PABÓN**

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación de fin de maestría, titulado

**“GESTIÓN TÉCNICA DE RUIDO INDUSTRIAL PARA EL DISEÑO DE LA  
NUEVA PLANTA PROCESADORA DE POLLOS DE LA EMPRESA POFASA”**

Realizado por la alumna

**ANA PAULINA YÉPEZ PABÓN**

Como requisito para la obtención del título de

**MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

Ha sido dirigido por el profesor

**Ing. FRANCISCO SALGADO TORRES, MSc.**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor.

---

**Ing. FRANCISCO SALGADO TORRES, MSc.**

**DIRECTOR**

Los profesores informantes

**Ing. Rosseline Calisto, Msc.**

**Ing. Henry Mariño, Msc.**

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

---

**Ing. ROSSELINE CALISTO, Msc.**

---

**ING. HENRY MARIÑO, Msc.**

Quito, a 12 de Julio de 2011.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial al Señor Ingeniero Francisco Salgado Torres MSc., por su apoyo y guía para el desarrollo del presente trabajo y a los directivos de la empresa POFASA por su apertura para la realización de esta investigación.

## **RESUMEN**

La presente tesis se realizó en las instalaciones de una empresa procesadora de pollos de la ciudad de Quito, que tiene problemas de higiene industrial debido a los niveles de ruido que se generan durante el proceso de pelado de pollos; y que desea encontrar soluciones para ser aplicadas en la construcción de su nueva planta de producción. El objetivo central de este estudio es buscar medidas de control en la vía de transmisión del ruido, desde la fuente crítica hacia las otras salas dentro de la planta de faenamiento, en donde se encuentran expuestos 35 trabajadores.

Partiendo de la evaluación de ruido realizada en la planta actual, en la que se determina la potencia acústica de la fuente, se proyectan los niveles de ruido que se tendrán en la nueva planta. Mediante la aplicación de modelos matemáticos, se analizan los niveles de aislamiento acústico que pueden ofrecer diferentes alternativas de construcción de las paredes de la sala de pelado, para finalmente establecer conclusiones y recomendaciones, que permitan proteger la salud auditiva de los trabajadores.

## **ABSTRACT**

This thesis was carried out in a processing industry of chickens in the city of Quito, which has problems of industrial hygiene due to noise levels which are generated during the process of peeling of chickens; therefore a solution is needed to be applied in the construction of its new production plant. The central objective of this study is to seek control measures in the mode of transmission of noise, from the critical source to the other rooms within the plant, where 35 workers are exposed. On the basis of the assessment of noise in the current plant, this identifies the decibel levels of the source, and the levels of noise that will be in the new plant project. Through the application of mathematical models, and the analyses the levels of sound insulation they can offer different alternatives for the construction of the walls of the room, to finally establish conclusions and recommendations, designed to protect the hearing health of workers.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN/ ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE ILUSTRACIONES	xvii
LISTA DE ECUACIONES	xix
ABREVIATURAS	xx
LISTA DE ANEXOS	xxi
<b>CAPÍTULO 1.- INTRODUCCION</b>	
1.1 ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	22
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	25
1.2.2 <b>Objetivos Específicos</b>	26
1.3 HIPÓTESIS	26
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.	27
<b>CAPÍTULO 2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1 INTRODUCCIÓN	28
2.1.1 <b>El Sonido</b>	28
2.1.2 <b>Características de las Ondas Sonoras</b>	29
2.1.2.1 <b>Frecuencia (f)</b>	29
2.1.2.2 <b>Período (T)</b>	30
2.1.2.3 <b>Longitud de onda (<math>\lambda</math>)</b>	30
2.1.2.4 <b>Presión Sonora</b>	31
2.1.3 <b>Intensidad sonora</b>	32
2.1.4 <b>Potencia sonora</b>	33

2.2	CARACTERIZACION DEL RUIDO	35
2.2.1	<b>Clasificación del Ruido</b>	35
2.2.1.1	<b>Ruido continuo estable</b>	36
2.2.1.2	<b>Ruido continuo fluctuante</b>	36
2.2.1.3	<b>Ruido de impulso o impacto:</b>	36
2.3	NIVELES SONOROS	37
2.3.1	<b>Unidad de medida del sonido</b>	37
2.3.2	<b>Filtros de Ponderación</b>	39
2.3.2.1	<b>Filtro de ponderación A (dBA)</b>	39
2.3.3	<b>Espectro Acústico</b>	41
2.4	EFFECTOS DEL RUIDO	44
2.4.1	<b>Efectos psicológicos</b>	45
2.4.2	<b>Interferencias con la comunicación y la seguridad</b>	46
2.4.3	<b>Efectos fisiológicos extra-auditivos.</b>	47
2.4.4	<b>Efectos Auditivos</b>	47
2.4.4.1	<b>Sordera Temporal, cambios temporales en el umbral:</b>	49
2.4.4.2	<b>Sordera permanente, aumento permanente del umbral:</b>	49
2.4.4.3	<b>Trauma acústico:</b>	51
2.5	FACTORES DE RIESGO EN LA EXPOSICIÓN A RUIDO	52
2.5.1	<b>Nivel de Intensidad de Ruido</b>	53
2.5.2	<b>Rango de frecuencias</b>	53
2.5.3	<b>Exposición diaria</b>	53
2.5.4	<b>Exposición total a lo largo de la vida:</b>	54
2.5.5	<b>Tipo de ruido</b>	54
2.5.6	<b>Edad</b>	54
2.5.7	<b>Afecciones anteriores del oído</b>	55
2.6	PROPAGACIÓN DEL SONIDO	55
2.6.1	<b>Campo acústico libre</b>	55
2.6.2	<b>Campo difuso</b>	56

2.6.3	<b>Campo Acústico Global</b>	56
2.7	<b>CONTROL DEL RUIDO</b>	58
2.7.1	<b>Control de ruido en la fuente de emisión- ORIGEN</b>	58
2.7.2	<b>Control sobre el medio de transmisión o propagación.</b>	59
2.7.3	<b>Control sobre el receptor.</b>	60
2.8	<b>AISLAMIENTO ACÚSTICO</b>	61
2.8.1	<b>Pérdidas por transmisión</b>	61
2.8.2	<b>Índices descriptivos del aislamiento acústico</b>	62
2.8.3	<b>Aislamiento acústico de paredes simples ley de masas</b>	64
2.8.3.1	<b>Las tres regiones de las paredes simples</b>	66
2.8.3.2	<b>Aislamiento de paredes mixtas</b>	69
2.8.3.3	<b>Fugas o cortocircuitos acústicos</b>	70
2.8.4	<b>Aislamiento acústico de paredes dobles</b>	70
2.8.4.1	<b>Frecuencias problemáticas de la doble pared y su solución.</b>	72
2.8.4.2	<b>Cálculo del aislamiento acústico de una pared doble</b>	75
2.8.5	<b>ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO</b>	78
2.8.5.1	<b>Materiales para absorción de ruido</b>	80
2.8.5.2	<b>Espesor del material de absorción acústica</b>	83
2.8.5.3	<b>Tipos de materiales de absorción acústica</b>	84
2.8.6	<b>Absorción acústica total de un recinto:</b>	86
2.8.6.1	<b>Constante de Cerramiento (R):</b>	86
2.8.6.2	<b>Propagación del ruido en interior de un recinto cerrado</b>	87
2.8.6.3	<b>Factor de direccionalidad (Q):</b>	88
2.9	<b>EVALUACION DEL RUIDO DESCRIPTORES</b>	89
2.9.1	<b>Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente</b>	89
2.9.2	<b>Nivel de exposición diario equivalente</b>	90
2.9.3	<b>Tiempo de exposición máximo permitido</b>	91
2.10	<b>EQUIPOS Y TÉCNICAS DE MEDIDA</b>	92
2.10.1	<b>Mediciones para determinación del riesgo</b>	92

2.10.2	Mediciones para determinación de métodos de control o comprobación de sistemas existentes	94
2.10.3	Equipos de medición	95

### **CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN**

3.1	<b>ANTECEDENTES</b>	96
3.1.1	<b>Descripción del proceso</b>	97
3.1.1.1	<b>Colgado de Pollos</b>	98
3.1.1.2	<b>Aturdido, Sacrificio y desangre</b>	98
3.1.1.3	<b>Escaldado</b>	98
3.1.1.4	<b>Pelado de Plumas</b>	98
3.1.1.5	<b>Corte de patas</b>	99
3.1.1.6	<b>Evisceración</b>	99
3.1.1.7	<b>Enfriado y escurrido</b>	99
3.1.1.8	<b>Clasificación y empaque</b>	100
3.1.1.9	<b>Almacenamiento y despacho</b>	100
3.1.2	<b>Descripción de las Instalaciones de la planta actual</b>	101
3.1.2.1	<b>Sala de pelado</b>	101
3.2	<b>PROCESO DE EVALUACIÓN DE NIVELES DE RUIDO</b>	102
3.2.1	<b>Fase Uno: Mediciones en las salas laterales contiguas a la sala de pelado</b>	103
3.2.2	<b>Fase Dos: Evaluación de la potencia sonora de la peladora</b>	104
3.2.3	<b>Proyección de los niveles a la nueva planta</b>	105
3.3	<b>IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL</b>	106
3.3.1	<b>Evaluación de medidas de control en la fuente</b>	106
3.3.2	<b>Evaluación de medidas de control en la vía de transmisión</b>	107

## **CAPÍTULO IV.- DESARROLLO EXPERIMENTAL**

4.1	RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES EN LA PLANTA ACTUAL	109
4.1.1	<b>Resultados de las evaluaciones sin operación de la “peladora”</b>	112
4.1.2	<b>Evaluación de los niveles de presión sonora emitidos por la fuente</b>	114
4.2	PROYECCION DE LOS NIVELES A LA NUEVA PLANTA	118
4.2.1	<b>Cálculo de la potencia acústica de la fuente</b>	118
4.2.2	<b>Propagación del sonido desde la sala de pelado</b>	119
4.3	DISEÑO DE SOLUCIONES	122
4.3.1	<b>Diseño y cálculo del aislamiento acústico proporcionado por paredes simples</b>	123
4.3.1.1	<b>Cálculo de la disminución de aislamiento debido a la presencia de fugas acústicas.</b>	126
4.3.2	<b>Diseño y cálculo del aislamiento acústico proporcionado por paredes dobles</b>	130
4.3.2.1	<b>Cálculo de la disminución del aislamiento de paredes dobles debido a la presencia de fugas acústicas.</b>	134
4.3.3	<b>Diseño y cálculo del aislamiento acústico proporcionado por paredes dobles rellenas de material absorbente.</b>	136
4.3.3.1	<b>Cálculo de la disminución del aislamiento acústico por fugas acústicas</b>	139
4.3.4	<b>Pérdida Total de Transmisión de Ruido de las alternativas analizadas</b>	141

## **CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

5.1	RESULTADOS DEL AISLAMIENTO ACUSTICO DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS PLANTEADAS	142
5.2	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	148

## **CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES**

6.1 CONCLUSIONES	151
6.2 RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	158

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Tabla 2-1</b> Atenuación natural del oído humano / Filtro de ponderación “A”	40
<b>Tabla 2-2</b> Efectos del Ruido sobre la Salud	52
<b>Tabla 2-3</b> Frecuencia crítica de diferentes materiales	68
<b>Tabla 2-4</b> Tipos de instrumentos para evaluación de ruido	95
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>Tabla 3-1</b> Número de trabajadores en la “zona limpia”	97
<b>Tabla 3-2</b> Número de trabajadores en la “Zona Sucia”	97
<b>Tabla 3-3</b> Coeficientes de absorción acústica de los materiales de construcción de la planta	101
<b>Tabla 3-4</b> Nivel de Presión sonora por adición de la potencia de varias fuentes	105
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>Tabla 4-1</b> $NPS_{eq}$ en dB(A) medidos en la línea de evisceración	110
<b>Tabla 4-2</b> $NPS_{eq}$ dB (A) medidos en los puestos afectados por las fugas acústicas	111
<b>Tabla 4-3</b> $NPS_{eq}$ dB(A) medidos en la “zona sucia” de la planta	112
<b>Tabla 4-4</b> $NPS_{eq}$ dB(A) medidos en el área de evisceración sin operación de la peladora y con toda la planta operando	113
<b>Tabla 4-5</b> $NPS_{eq}$ (dB) medidos al pie de la peladora a 1,5 metros	114
<b>Tabla 4-6</b> $NPS_{eq}$ (dB) medidos al costado derecho de la peladora a 1 metro	115
<b>Tabla 4-7</b> $NPS_{eq}$ (dB) medidos al costado izquierdo de la peladora a 1,5 metros	115
<b>Tabla 4-8</b> $NPS_{eq}$ (dB) medidos en la cabecera de la peladora a 1,5 metros	116
<b>Tabla 4-9</b> Resumen de niveles de presión sonora equivalentes (dB) de la peladora evaluados a los costados de la máquina.	117
<b>Tabla 4-10</b> Nivel de Potencia Sonora proyectado para dos peladoras	118
<b>Tabla 4-11</b> Cálculo de la Constante de Cerramiento de la sala de pelado	120

<b>Tabla 4-12</b> Proyección de niveles de presión sonora hacia la sala de evisceración	121
<b>Tabla 4-13</b> Proyección de niveles de presión sonora hacia la sala de colgado de pollos vivos	121
<b>Tabla 4-14</b> Dimensiones de las paredes laterales de la sala de pelado y de los espacios huecos para el paso de las bandas transportadoras	123
<b>Tabla 4-15</b> Pérdida de transmisión de ruido de una pared simple de bloque de hormigón de 15 cm de espesor	125
<b>Tabla 4-16</b> Proyección de los resultados de aislamiento acústico de una pared simple	125
<b>Tabla 4-17</b> Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas de la pared simple colindante con la línea de evisceración	127
<b>Tabla 4-18</b> Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas de la pared simple colindante con el área de colgado de pollos vivos	127
<b>Tabla 4-19</b> Proyección de $NPS_{eq}$ que se transmitirían desde la sala de pelado hacia la sala de evisceración, considerando el aislamiento acústico del conjunto pared simple afectado por las fugas acústicas	128
<b>Tabla 4-20</b> Proyección de $NPS_{eq}$ que se transmitirían desde la sala de pelado hacia la sala de sacrificio, considerando el aislamiento acústico del conjunto pared simple afectado por las fugas acústicas.	129
<b>Tabla 4-21</b> Perdida de transmisión de ruido por frecuencias de una pared doble + cámara de aire	132
<b>Tabla 4-22</b> Proyección de $NPS_{eq}$ que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico de un sistema de paredes dobles con cámara de aire	133
<b>Tabla 4-23</b> Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas de un sistema de paredes dobles más cámara de aire	134
<b>Tabla 4-24</b> Proyección de $NPS_{eq}$ que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico del conjunto de pared doble afectado por las fugas acústicas.	135
<b>Tabla 4-25</b> Coeficientes de absorción acústica de la lana de vidrio FRESCASA	137

<b>Tabla 4-26</b> Perdida de transmisión de ruido por frecuencias, de una pared doble + cámara de aire rellena de fibra de vidrio	137
<b>Tabla 4-27</b> Proyección de $NPS_{eq}$ que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico de un sistema de paredes dobles + cámara de aire rellena de fibra de vidrio.	138
<b>Tabla 4-28</b> Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas en el sistema de paredes dobles con fibra de vidrio	139
<b>Tabla 4-29</b> Proyección de $NPS_{eq}$ que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico del conjunto pared doble + cámara de aire afectado por las fugas acústicas	140
<b>Tabla 4-30</b> Pérdida de transmisión de ruido total de los diferentes tipos de paredes sin presencia de fugas acústicas	141
<b>Tabla 4-31</b> Pérdida de transmisión de ruido total de los diferentes tipos de paredes considerando la afectación por fugas acústicas	141

## CAPÍTULO V

<b>Tabla 5-1</b> Costos referenciales para construcción de una pared y acabados por metro cuadrado	149
<b>Tabla 5-2</b> Costo Total de la inversión para construcción del sistema de paredes dobles rellenas de fibra de vidrio.	149
<b>Tabla 5-3</b> Costo total Anual estimado de compra de protectores auditivos	150

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>Pág.</b>
Ilustración 1-1 Flujograma del proceso productivo de POFASA	24
 <b>CAPÍTULO II</b>	
Ilustración 2-1 Curvas de audibilidad	34
Ilustración 2-2 Tipos de Ruido	37
Ilustración 2-3 Atenuación del Oído Humano	40
Ilustración 2-4 Espectro en bandas de octava y tercio de octava	44
Ilustración 2-5 Campo acústico global en un recinto cerrado	57
Ilustración 2-6 Analogía sistema acústico- sistema mecánico	71
Ilustración 2-7 Ejemplo de un sistema de pared doble rellena de material absorbente	75
Ilustración 2-8 Disminución del campo reverberado por inclusión de material absorbente en las superficies de las paredes	79
Ilustración 2-9 Mecanismos de disipación de energía sonora en los materiales	81
Ilustración 2-10 Manta de lana de vidrio sin recubrimiento	85
Ilustración 2-11 Factor de direccionalidad de acuerdo a ubicación de la maquinaria	88
 <b>CAPÍTULO IV</b>	
Ilustración 4-1 Comparación de los $NPS_{eq}$ dB(A) del área de evisceración sin operación de la peladora y con operación de toda la planta.	113
Ilustración 4-2 Ejemplo de un sistema de pared doble	131
 <b>CAPÍTULO V</b>	
Ilustración 5-1 Pérdida de transmisión de ruido proporcionada por una pared simple	143

<b>CAPÍTULO V</b>	<b>Pág.</b>
Ilustración 5-2 Pérdida de transmisión de ruido proporcionado por una pared doble con cámara de aire	143
Ilustración 5-3 Pérdida de transmisión de ruido proporcionado por una pared doble rellena de lana de vidrio	144
Ilustración 5-4 Comparación de los resultados de pérdida de transmisión total de distintos tipos de paredes	145
Ilustración 5-5 Reducción del aislamiento acústico de una pared simple por fugas acústicas	146
Ilustración 5-6 Reducción del aislamiento de una pared doble con cámara de aire por fugas acústicas	146
Ilustración 5-7 Reducción del aislamiento acústico de una pared doble con lana de vidrio por fugas acústicas.	147

## LISTA DE ECUACIONES

<b>CAPÍTULO II.-</b>	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 2-1</b> Intensidad Sonora	32
<b>Ecuación 2-2</b> Decibel	38
<b>Ecuación 2-3</b> Nivel de Presión Sonora	38
<b>Ecuación 2-4</b> Nivel de Presión Sonora en campo acústico libre	30
<b>Ecuación 2-5</b> Coeficiente de transmisión sonora	62
<b>Ecuación 2-6</b> Pérdida de Transmisión	62
<b>Ecuación 2-7</b> Aislamiento acústico Bruto	63
<b>Ecuación 2-8</b> Aislamiento acústico Normalizado	64
<b>Ecuación 2-9</b> Ley de Masas	65
<b>Ecuación 2-10</b> Aislamiento acústico global de un elemento mixto	69
<b>Ecuación 2-11</b> Frecuencia de Resonancia	72
<b>Ecuación 2-12</b> Frecuencia propia del sistema	74
<b>Ecuación 2-13</b> Aislamiento Acústico de pared doble para las frecuencias comprendidas entre $fr$ y $fr_1$	76
<b>Ecuación 2-14</b> Aislamiento acústico de pared doble para frecuencias $> fr_1$	77
<b>Ecuación 2-15</b> Aislamiento acústico de pared doble sin material absorbente	77
<b>Ecuación 2-16</b> Coeficiente de absorción acústica	82
<b>Ecuación 2-17</b> Absorción acústica total de un recinto	86
<b>Ecuación 2-18</b> Constante de cerramiento	87
<b>Ecuación 2-19</b> Nivel de Presión Sonora en un recinto cerrado	87
<b>Ecuación 2-20</b> Nivel de Presión Sonora Equivalente	89
<b>Ecuación 2-21</b> Nivel de Presión Sonora Equivalente dB(A)	90
<b>Ecuación 2-22</b> Nivel de exposición diario equivalente	90
<b>Ecuación 2-23</b> Nivel de exposición diario equivalente en tareas múltiples	91
<b>Ecuación 2-24</b> Tiempo de exposición máximo permitido	91

## ABREVIATURAS

<b><i>b</i></b>	Base de la pared en metros
<b><i>C</i></b>	Velocidad del sonido en el aire
<b><i>dB</i></b>	Decibel
<b><i>dB(A)</i></b>	Decibel en filtro de ponderación A
<b><i>EPI</i></b>	Equipo de protección individual
<b><i>F</i></b>	Frecuencia
<b><i>fc</i></b>	Frecuencia de coincidencia
<b><i>fr</i></b>	Frecuencia de resonancia del sistema
<b><i>fr<sub>1</sub></i></b>	Frecuencia de resonancia de la cámara
<b><i>h</i></b>	Altura de la pared en metros
<b><i>Hz</i></b>	Hertzio
<b><i>Log</i></b>	Logaritmo
<b><i>M</i></b>	Masa superficial de una pared
<b><i>NPS</i></b>	Nivel de Presión Sonora
<b><i>NPS<sub>eq</sub></i></b>	Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente
<b><i>NPS<sub>eq</sub> (A)</i></b>	Nivel de Presión Sonora Equivalente en filtro de ponderación A
<b><i>NPS<sub>eq, d</sub></i></b>	Nivel de exposición diario equivalente
<b><i>NRC</i></b>	Coefficiente de Absorción de Ruido
<b><i>NWS</i></b>	Nivel de Potencia Sonora
<b><i>Q</i></b>	Factor de Direccionalidad
<b><i>STL</i></b>	Pérdida de transmisión de un material
<b><i>TL</i></b>	Pérdida de transmisión
<b><i>TLG</i></b>	Pérdida de transmisión global
<b><i>W</i></b>	Vatios



## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 CAPÍTULO V Artículos 53 y 55 Decreto Ejecutivo 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES	158
ANEXO 2 Hoja Técnica FIBERGLASS FRESCASA S.A.B	160
ANEXO 3 Certificado de Calibración No. ICA-1236/11 Sonómetro Integrador Quest	161
ANEXO 4 Certificado de Calibración No. ICA-1237/11 Filtro Bandas de Octava Quest	162

# 1. INTRODUCCION

## 1.1 ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

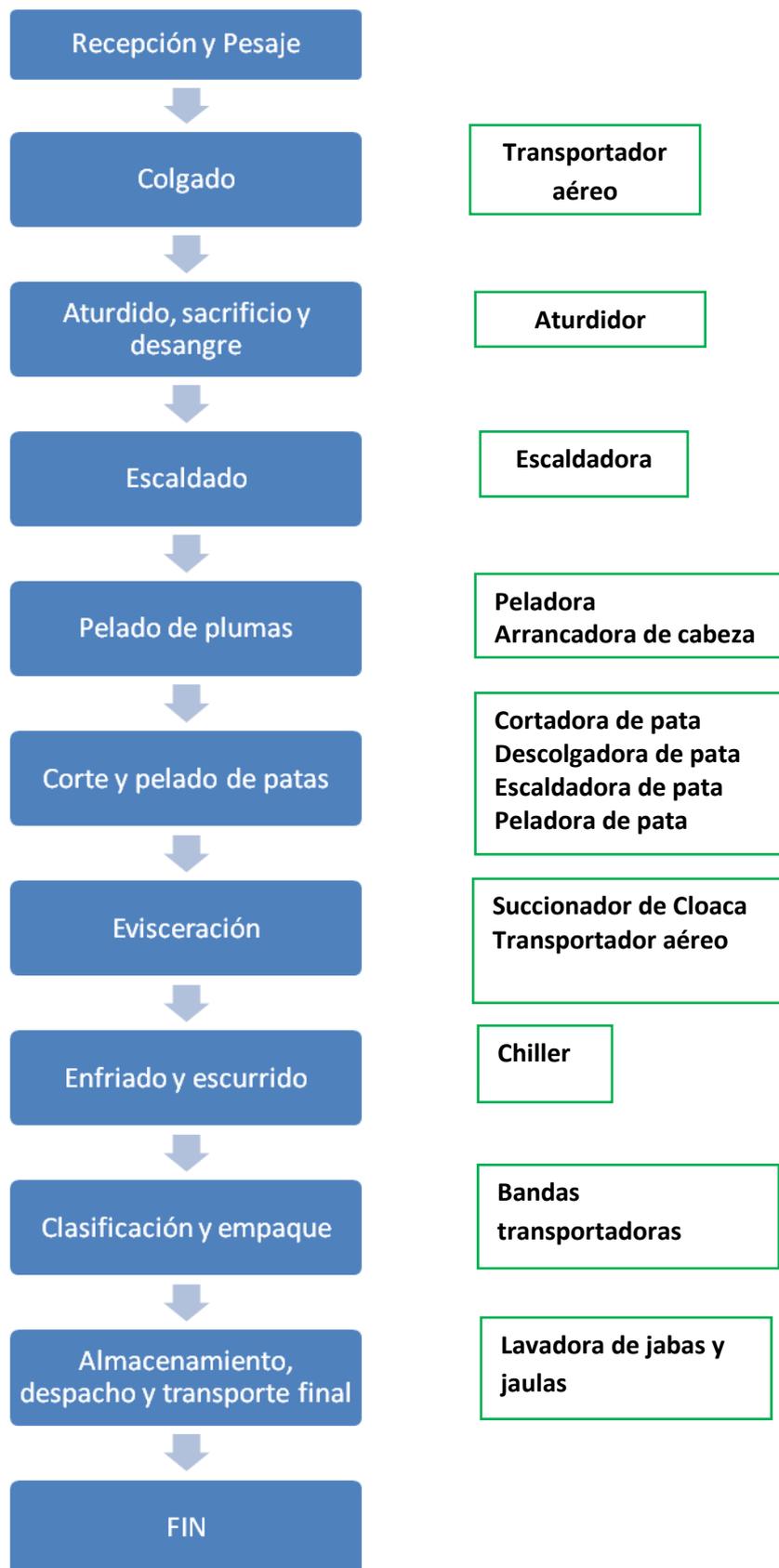
POFASA Pollo Favorito S.A es una empresa dedicada a la producción de carne de pollo, inició sus labores en el año de 1976. Actualmente su planta de faenamiento se encuentra ubicada en una zona residencial en el sector de Pomasqui, en la entrada a la urbanización La Pampa y el Club de Liga en la ciudad de Quito. La empresa tiene proyectado en un plazo no mayor a dos años, cambiar su planta hacia una zona industrial, para lo cual han adquirido terrenos en la zona de Calacalí.

La empresa cuenta con un sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo, encabezada por el técnico de la Unidad de Seguridad y el Médico Ocupacional. Como parte de la gestión de Seguridad y Salud Ocupacional se han identificado los principales riesgos presentes en las áreas de trabajo de la planta industrial, y al momento se encuentran en la fase de planificación para iniciar con las evaluaciones de los riesgos más relevantes.

En la planta de faenamiento laboran 75 personas, 38 hombres y 37 mujeres, que se encuentran expuestos al ruido producido por las diferentes maquinarias.

En el interior de la planta los niveles de ruido existentes no permiten mantener un nivel conversacional entre las personas, lo que evidencia que sí existen condiciones de riesgo para los trabajadores; sin embargo no se han realizado evaluaciones de ruido que permitan conocer la exposición laboral. Únicamente se realizan trimestralmente, mediciones de ruido en el exterior de la planta, para conocer la afectación que las actividades tienen a nivel ambiental y hacia la comunidad vecina.

En la siguiente ilustración se describe brevemente el flujo de proceso de la planta de faenamiento, así como las fuentes de generación de ruido:



**FUENTES DE RUIDO**

**Ilustración 1-1** Flujo del Proceso Productivo de POFA

Se ha dotado al personal que labora en las áreas de mayor ruido de la planta, de tapones auditivos que han sido elegidos sin contar con datos concretos sobre las características del ruido y su composición en las diferentes frecuencias audibles.

Por los antecedentes expuestos, se plantea realizar el presente estudio tomando en cuenta los niveles de ruido emitidos por las fuentes actuales y que serán trasladadas a la nueva planta. Con estos datos de base se espera diseñar medidas de control de tipo ingenieril, para ser consideradas en la nueva planta y aplicadas en su construcción, las mismas que estarán orientadas a actuar en los medios de transmisión, y de esta manera proteger a todos los trabajadores de la planta de faenamiento.

El principal problema que abordará la presente investigación, es el estudio del ruido procedente de la maquinaria actual utilizada en el proceso productivo de Pofasa, y las posibles medidas de control que se deberán considerar en el diseño de la nueva planta, al usar los mismos equipos.

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### 1.2.1 **Objetivo general**

- Determinar las características del ruido producido por la maquinaria de la empresa POFASA, para establecer medidas de mejora y/o control en los medios de transmisión, aplicables en el diseño de la nueva planta.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las fuentes críticas en la planta que generan los problemas de ruido.
- Determinar la potencia sonora de la o las fuentes establecidas como críticas, mediante mediciones realizadas a distancias conocidas de cada una de ellas.
- Proponer medidas de control del ruido, actuando sobre los medios de transmisión, para ser aplicados en la construcción de la nueva planta.
- Determinar los materiales que por sus características de absorción de ruido, deberían considerarse en el diseño de la nueva planta, para disminuir la exposición de los trabajadores a este riesgo.
- Realizar un análisis costo- beneficio, de las medidas de control propuestas, como información para la toma de decisiones por parte de los directivos de la empresa.
- Recomendar el equipo de protección personal adecuado en función de la exposición a ruido, que deberían utilizar los trabajadores en el caso de no existir otra medida de control administrativa o de ingeniería.

### 1.3 HIPÓTESIS

Mediante el estudio de las fuentes de ruido actuales de la planta de faenamiento de POFASA, es posible realizar la gestión técnica de ruido en el diseño de la nueva planta, a fin de mejorar las condiciones de Seguridad y Salud Ocupacional de los trabajadores.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

La realización de este estudio pretende, a partir de una evaluación del comportamiento y características del ruido, en la planta de faenamiento actual de la empresa POFASA, aportar criterios técnicos para el diseño y construcción de la nueva planta, para conseguir las condiciones menos ruidosas posibles y precautelar la salud y bienestar de los trabajadores expuestos. Tomando en cuenta que control no significa necesariamente eliminar el ruido, sino que puede ser la reducción o modificación de sus características perjudiciales, para lo cual se necesita contar con datos concretos en cuanto a los niveles de ruido existentes y la composición del mismo en cada una de las frecuencias audibles.

La justificación del presente estudio se sustenta en los siguientes aspectos:

- Efectuar ajustes para controlar cualquier tipo de riesgo laboral, en la etapa de diseño de una planta de producción, es más eficaz y menos costoso, que realizarlo en una planta ya estructurada.
- Al aplicar técnicas de control de ruido sobre las fuentes y medios de transmisión, se estará protegiendo a todos los empleados que ingresan y permanecen en la planta de producción, por lo que el control es más efectivo.
- Cuanto más seguro y saludable sea el entorno de trabajo, menos probabilidades existirán de absentismos, accidentes de trabajo y bajo rendimiento por parte de los trabajadores, y por tanto se ahorrarán costos para la empresa.
- Al eliminar o reducir el exceso de ruido en el lugar de trabajo, la empresa estará dando cumplimiento a los requerimientos legales en materia de Seguridad y Salud Ocupacional, pero sobre todo estará comprometiéndose con un proceso de mejora continua.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUCCIÓN

#### 2.1.1 El Sonido

Un sonido es un fenómeno físico que consiste en la alteración mecánica de las partículas de un medio elástico, producida por un elemento en vibración, que es capaz de provocar una sensación auditiva. Las vibraciones se transmiten en el medio, generalmente el aire, en forma de ondas sonoras, se introducen por el pabellón del oído haciendo vibrar la membrana del tímpano, de ahí pasa al oído medio, oído interno y excita las terminales del nervio acústico que transporta al cerebro los impulsos neuronales que finalmente generan la sensación sonora.

En el aire, que es el medio de transmisión del sonido más común, el fenómeno se propaga por la puesta en vibración de las moléculas de aire situadas en la proximidad del elemento vibrante, que a su vez transmiten el movimiento a las moléculas vecinas, y así sucesivamente. La vibración de las moléculas de aire provoca una variación de la presión atmosférica, es decir, el paso de una onda sonora produce una onda de presión que se propaga por el aire. La velocidad de propagación en este medio, en condiciones normales de temperatura y presión, es de aproximadamente 340 m/s.

Al referirse al sonido audible por el oído humano, se está hablando de la sensación detectada por el oído, que producen las rápidas variaciones de presión en el aire por encima y por debajo de un valor estático. Este valor estático está dado por la presión atmosférica (alrededor de 100.000 pascales) el cual tiene unas variaciones pequeñas y de forma muy lenta, tal y como se puede comprobar en un barómetro.

Cuando las rápidas variaciones de presión se centran entre 20 y 20.000 veces por segundo (igual a una frecuencia de 20 Hz a 20 KHz) el sonido es potencialmente audible aunque las variaciones de presión puedan ser a veces tan pequeñas como la millonésima parte de un pascal.

Los sonidos muy fuertes son causados por grandes variaciones de presión, por ejemplo una variación de 1 pascal se oiría como un sonido muy fuerte, siempre y cuando la mayoría de la energía de dicho sonido estuviera contenida en las frecuencias medias (1.000 Hz – 4.000 Hz) que es donde el oído humano es más sensitivo.

Las ondas sonoras se atenúan con la distancia y pueden ser absorbidas o reflejadas por los obstáculos que encuentran a su paso.

## **2.1.2 Características de las Ondas Sonoras**

### **2.1.2.1 Frecuencia (f)**

La frecuencia de una onda sonora se define como el número de variaciones (ciclos) de presión que ocurren en la unidad de tiempo, generalmente un segundo. La unidad correspondiente a un ciclo por segundo es el Hertzio (Hz).

La frecuencia es el factor que califica la agudeza del sonido, las más bajas se corresponden con los denominados sonidos "graves" son sonidos de vibraciones lentas. Las frecuencias más altas corresponden a los tonos "agudos" y son vibraciones muy rápidas.

El oído normal de personas jóvenes adultas pueden percibir sonidos que se encuentran en el rango de frecuencias de 20 a 20,000 Hz, esta es la llamada gama de frecuencias audibles o rango de audición.

El oído humano es especialmente sensible a las frecuencias comprendidas entre los 1,000 y 5,000 Hz.

Las frecuencias correspondientes a la voz humana están entre los 300 y 3,000 Hz llamado rango de conversación.

#### **2.1.2.2 Período (T)**

Es el tiempo que transcurre para que la onda efectúe un ciclo completo, se expresa en segundos u otra unidad de tiempo.

#### **2.1.2.3 Longitud de onda ( $\lambda$ )**

La distancia entre dos puntos máximos o puntos mínimos sucesivos. Se puede decir que equivalen a un periodo. Se expresa en metros o en pies.

#### 2.1.2.4 Presión Sonora

Es la característica que permite oír un sonido a mayor o menor distancia. Indica la cantidad de energía que transporta el sonido para su propagación y determina la amplitud de onda.

La sensación auditiva del sonido débil, es dada por sonidos de poca presión sonora y la del sonido fuerte por los de alta presión sonora.

Debido a que las fluctuaciones de presión causadas por el sonido son extremadamente pequeñas, la unidad utilizada para medir la presión es el microbar ( $\mu\text{bar}$ ). La presión sonora mínima que el oído humano puede detectar depende de la frecuencia. El oído normal de jóvenes adultos es capaz de percibir a 1,000 Hz, presiones sonoras que van desde 0.0002  $\mu\text{bar}$  (sonido mínimo audible) hasta 200  $\mu\text{bar}$  (nivel superior de sensibilidad acústica). Los sonidos con presiones sonoras por encima de este valor son dolorosos para el oído.

Cuando medimos el nivel de presión sonora, éste no sólo dependerá de la potencia radiada y de la distancia radiada respecto de la fuente, también dependerá de la cantidad de energía absorbida y de la cantidad de energía transmitida.

Puesto que la presión sonora es una magnitud variable de un punto a otro, en ciertas circunstancias es conveniente utilizar como medida de amplitud del sonido otras magnitudes en lugar de la presión. Se pueden utilizar tres magnitudes para definir la amplitud de una onda sonora:

- Presión P
- Potencia W
- Intensidad I

Para una onda plana propagándose en campo libre, la Intensidad está dada por la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-1**

$$I = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{w}{4\pi r^2}$$

Donde:

$\rho$  es la densidad del medio

$c$  es la velocidad de propagación de la onda sonora

$r$  es la distancia de la fuente sonora al punto de medida.

Para el aire a 20° C el producto entre la densidad del aire y la velocidad de propagación del sonido es de 407 rayls aproximadamente.

### 2.1.3 Intensidad sonora

La intensidad acústica se define como la cantidad de energía sonora transmitida en una dirección determinada por unidad de área. Para realizar la medida de intensidades se utiliza actualmente analizadores de doble canal con posibilidad de espectro cruzado y una sonda

que consiste en dos micrófonos separados a corta distancia. Permite determinar la cantidad de energía sonora que radia una fuente dentro de un ambiente ruidoso.

No es posible medirlo con un sonómetro. El nivel de intensidad sonora se mide en  $\frac{w}{m^2}$  (vatios por metro cuadrado).

#### **2.1.4 Potencia sonora**

La potencia acústica es la cantidad de energía radiada por una fuente determinada. El nivel de potencia acústica es la cantidad de energía total radiada en un segundo y se mide en vatios (w). La referencia es  $1pw = 10^{-12} w$ .

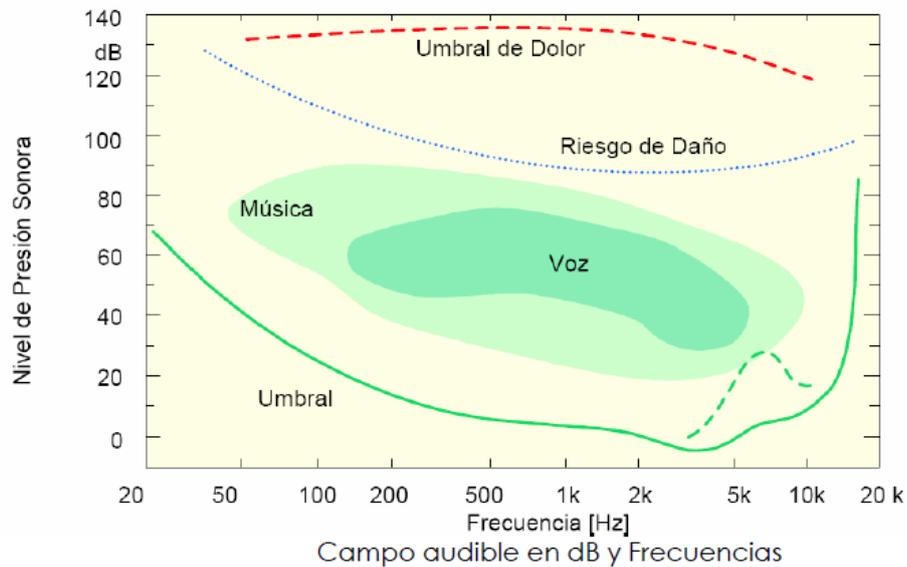
La potencia acústica es un valor intrínseco de la fuente y no depende del lugar donde se halle.

La potencia acústica de un foco sonoro es constante y solo depende de las características de la fuente. En cambio, la intensidad y la presión varían inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Las dos características del sonido mencionadas anteriormente, frecuencia y presión sonora son percibidas por el oído de una manera particular, que no se limita simplemente a la medición de un fenómeno físico sino a una sensación auditiva. Llamándose audibilidad a la magnitud de esta sensación auditiva.

Un sonido con el doble de presión sonora no es percibido por el oído con el doble de sonoridad.

Al aumentarse la frecuencia el oído percibe un aumento de tono. Sonidos de frecuencias diferentes e idénticas presiones sonoras, son percibidos por el oído con intensidades de sensación diferentes; las frecuencias graves o las muy agudas a pesar de tener la misma presión sonora se perciben más débilmente que las frecuencias medias. Por lo tanto, en el rango de frecuencias de 20 a 1,000 Hz se requiere de presiones sonoras progresivamente menores para que un sonido sea audible. De 1,000 a 4,000 Hz la respuesta del oído es casi constante. Para frecuencias superiores a 4,000 Hz se necesita de presiones sonoras cada vez mayores para que el sonido sea audible. Se obtiene así una curva de audibilidad o sensación auditiva que presenta una depresión en su parte central y que corresponde a la mayor sensibilidad del oído, de 1,000 a 4,000 Hz aproximadamente.



**Ilustración 2-1 Curvas de audibilidad<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> GOOGLE Imágenes. *Curvas de audibilidad*. [en línea] <<http://www.google.com/imgres?imgurl=http://Aprendersinruidomadrid.files.wordpress.com>> [consulta: 01 mayo 2011]

## 2.2 CARACTERIZACION 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 aquél 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. Es un sonido complejo, y puede ser caracterizado por la frecuencia de los sonidos puros que lo componen y por la amplitud de la presión acústica correspondiente a cada una de esas frecuencias. Si estas últimas son muy numerosas, se caracteriza entonces el ruido por la repartición de la energía sonora en bandas de frecuencias contiguas, definiendo lo que se denomina espectro frecuencia del ruido. 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.

### 2.2.1 Clasificación del Ruido:

Existen multitud de variables que permiten diferenciar unos ruidos de otros: su composición en frecuencias, su intensidad, su variación temporal, su cadencia y ritmo, etc. pero los podemos clasificar de la siguiente forma:

### 2.2.1.1 Ruido continuo estable:

Es aquel cuyo nivel de presión sonora permanece casi constante con fluctuaciones inferiores o iguales a 5 dB(A) durante un periodo de medición de un minuto. Se caracteriza por niveles de presión sonora que no presentan cambios rápidos o repentinos. Ejemplo: ruido producido por motores a chorro.

### 2.2.1.2 Ruido continuo fluctuante:

Es aquel que presenta variaciones en los niveles de presión sonora mayores a 5 dB(A) durante un periodo de medición de un minuto.

### 2.2.1.3 Ruido de impulso o impacto:

Es aquel que presenta elevaciones bruscas del nivel de presión sonora de corta duración y que se produce con intervalos regulares o irregulares con tiempo entre pico y pico iguales o superiores a un segundo. Cuando los intervalos sucesivos son menores de un segundo, el ruido se considera como continuo.



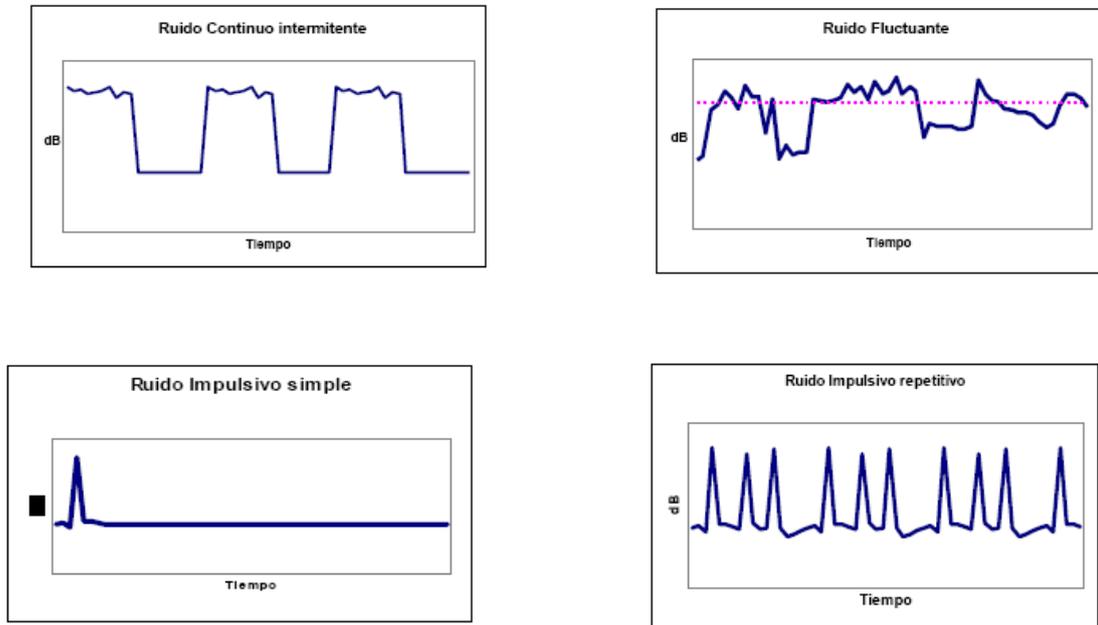


Ilustración 2-2 Tipos de Ruido<sup>2</sup>

## 2.3 NIVELES SONOROS

### 2.3.1 Unidad de medida del sonido

El decibelio es una unidad logarítmica de medida utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia. En todos los casos se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia. Normalmente el valor tomado como referencia es siempre el menor valor de la cantidad.

---

<sup>2</sup> SEGUÈS, Fernando, Conceptos Básicos del Ruido Ambiental. [en línea], < <http://sicaweb.cedex.es/docs/documentos/Conceptos-Basicos-del-ruido-ambiental.pdf> > [consulta: 01 de mayo de 2011].

En Acústica la mayoría de las veces el decibelio se utiliza para comparar la presión sonora, en el aire, con una presión de referencia. Este nivel de referencia tomado en Acústica, es una aproximación al nivel de presión mínimo que hace que nuestro oído sea capaz de percibirlo y es de  $0.0002 \mu\text{bar}$ .

El Bel es el logaritmo en base 10 de la relación de dos potencias o intensidades. No obstante esta unidad resulta demasiado grande por lo que se ha normalizado el uso de la décima parte del Bel, siendo el decibel o decibelio. La fórmula para su aplicación es la siguiente:

**Ecuación 2-2**

$$\text{Decibel}(dB) = 10 \log \frac{\text{Cantidad}}{\text{Cantidadreferencia}}$$

**Ecuación 2-3**

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_o} (dB)$$

Donde:

NPS: Nivel de presión sonora

P: Presión sonora efectiva media

Po: Presión sonora de referencia.

La relación de la escala decibel como medida del sonido se debe principalmente a las siguientes razones:

En la práctica, el rango de presiones sonoras a las cuáles pueden estar expuestas las personas, varía desde  $0.0002 \mu\text{bar}$ , hasta presiones sonoras superiores a  $200 \mu\text{bar}$ , siendo este último valor un millón de veces superior a la presión mínima que el oído normal puede detectar y al usar del decibelio se evita manejar números o muy pequeños o excesivamente grandes, llenos de ceros, con posibilidad de error muy grande al hacer cálculos.

Además la escala decibel se asemeja más a la respuesta del oído humano. Experimentos han demostrado que el comportamiento del oído humano esta más cerca de una función logarítmica que de una lineal. Es capaz de percibir y soportar sonidos correspondientes a niveles de presión sonora entre 0 y 120 dB. Este último nivel de ruido marca aproximadamente el denominado “umbral del dolor”. A niveles de ruido superiores pueden producirse daños físicos como rotura del tímpano.

### **2.3.2 Filtros de Ponderación**

#### **2.3.2.1 Filtro de ponderación A (dBA)**

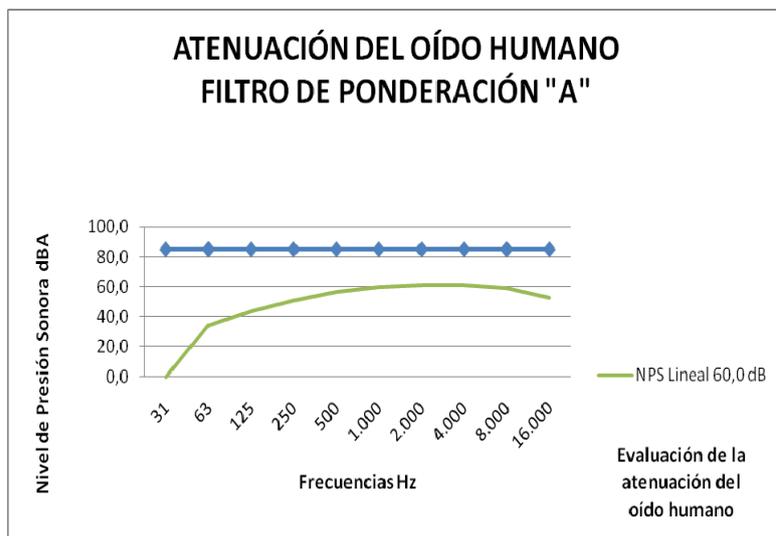
El oído no se comporta igual para el mismo nivel de presión en diferentes frecuencias. Por ejemplo tomemos un sonido lineal en toda la banda de 20 Hz a 20 KHz tenemos en todas las bandas un nivel de 30 dB, si el oído fuese lineal se oiría con la misma intensidad auditiva tanto las frecuencias bajas, como las medias y las agudas. Sin embargo esto no es cierto el oído humano tiene una menor sensibilidad en las frecuencias mas graves, y en las más agudas frente a las medias.

Es necesario encontrar una forma de ajustar los niveles de dB que se han medido con la percepción que el oído tiene de los mismos según cada frecuencia.

Esta corrección se realiza ponderando los dB medidos mediante una tabla de ponderación ya especificada y que se llama tabla "A". Los decibelios ya ponderados en "A" se representan como dBA y los no ponderados, llamados lineales, como dB.

**Tabla 2-1** Atenuación natural del oído humano / Filtro de ponderación "A"

Frecuencias Hz	Atenuación natural
31	-39
63	-26
125	-16
250	-9
500	-3
1.000	0
2.000	1
4.000	1
8.000	-1
16.000	-7



**Ilustración 2-3** Atenuación del oído humano

### 2.3.3 Espectro Acústico

Los ruidos se pueden descomponer en una superposición de sonidos puros de frecuencias diferentes. La repartición de la energía sonora en función de cada una de estas frecuencias define el espectro de frecuencias de ruido. El conocimiento del espectro permite establecer si el ruido contiene frecuencias bajas (graves), medias o altas (agudas). Este es un fenómeno importante de la investigación, ya que el oído humano reacciona de manera diferente según las frecuencias, y la propagación del ruido en el aire y a través de los obstáculos depende asimismo del espectro de frecuencias del ruido.

El dominio audible de frecuencias se sitúa aproximadamente en el intervalo 20-20.000 Hz. Para realizar un análisis de frecuencias- análisis espectral- se descompone este intervalo en bandas, y se determina el nivel de presión sonora correspondiente a cada una de las bandas. Estas bandas pueden ser:

- De ancho constante  $\Delta f=k$
- -De ancho proporcional a la frecuencia central.  $\Delta f / f_c = k$

Este último tipo de repartición es el más utilizado en la práctica, y es el que corresponde al análisis por filtros de octava y por filtros de tercio de octava. Cada octava y tercio de octava se denomina por el valor de su frecuencia central en Hz. Las frecuencias centrales del espectro se articulan alrededor del valor 1000 Hz.

La anchura de los filtros de octava es

$$f_2 - f_1 = 0,707 f_c , \text{ siendo } f_2 = 2 f_1$$

$f_1, f_2$  son las frecuencias extremas de cada banda.

La palabra octava significa que el límite superior de la banda de frecuencia es el doble del límite inferior.

La anchura de los filtros de tercio de octava es

$$f_2 - f_1 = 0,232 f_c, \text{ siendo } f_2 = 32 f_1$$

El análisis espectral realizado en tercios de octava es más fino que en octavas. Los niveles obtenidos para una octava son superiores a los obtenidos para un tercio de octava, ya que cada uno de los primeros resulta de la suma energética de los niveles de los tres tercios de octava que contienen como se observa en la siguiente ilustración.

OCTAVAS EN Hz	1/3 OCTAVAS EN Hz
	16
	20
31,5	25
	31,5
	40
63	50
	63
	80
125	100
	125
	160
250	200

OCTAVAS EN Hz	1/3 OCTAVAS EN Hz
	250
	315
500	400
	500
	630
1001	800
	1000
	1250
2000	1600
	2000
	2500
4000	3150
	4000
	5000
8000	6300
	8000
	10000
16000	12500
	16000
	20000

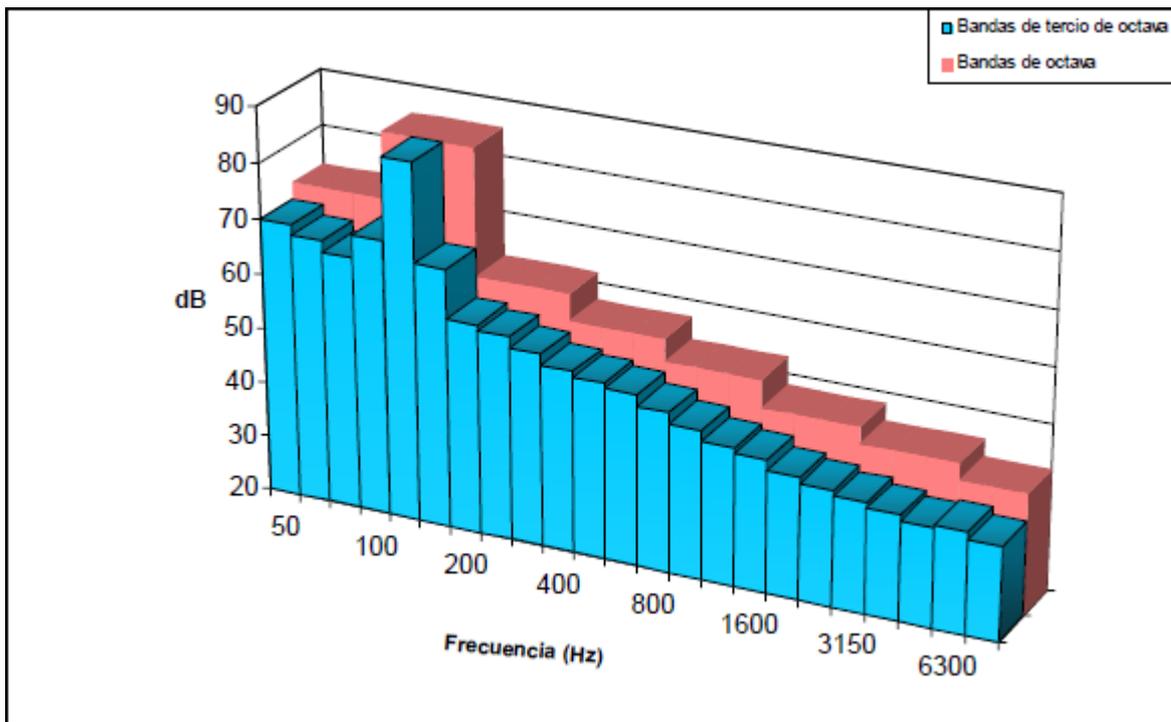


Ilustración 2-4 Espectro en bandas de octava y tercio de octava<sup>3</sup>

## 2.4 EFECTOS DEL RUIDO

El inadecuado diseño de las condiciones acústicas puede inhibir la comunicación hablada, bajar la productividad, enmascarar las señales de advertencia, reducir el rendimiento mental, incrementar la tasa de errores, producir náuseas y dolor de cabeza, pitidos en los oídos, alterar temporalmente la audición, causar sordera temporal, disminuir la capacidad de trabajo físico, etc. Todo esto ha llevado a que Wisner (1988) haya sugerido la búsqueda de un índice de malestar relacionado con el ruido.

---

<sup>3</sup> SEGUÈS, Fernando, *Conceptos Básicos del Ruido Ambiental*. [en línea], < <http://sicaweb.cedex.es/docs/documentos/Conceptos-Basicos-del-ruido-ambiental.pdf> > [consulta: 01 de mayo de 2011].

En la legislación ecuatoriana se establece que el nivel de presión acústica para una exposición de 8 horas no debe exceder de los 85 dB(A). Las exposiciones cortas no deben exceder de los 115 dB(A), excepto para el ruido de impulso cuyo nivel instantáneo nunca debe exceder de los 140 dB(A), según lo especificado en el artículo 55 numeral 7 del Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores Decreto Ejecutivo 2393. (Ver anexo 1).

La exposición a ruido produce sobre las personas una serie de alteraciones diversas que pueden clasificarse en cuatro grupos:

- Efectos psicológicos
- Interferencias con la conversación y la seguridad
- Efectos fisiológicos extra-auditivos
- Efectos fisiológicos auditivos

#### 2.4.1 Efectos psicológicos

En general se ha detectado un entorpecimiento de muchas funciones psíquicas y motrices, aunque como efecto particular más conocido se puede citar el trabajo intelectual, el cual se ve dificultado en un ambiente ruidoso.

Al analizar los efectos del ruido sobre el rendimiento, es preciso atender a cuatro aspectos:

- Efectos sobre el nivel de alerta del trabajador, que se pueden producir por inesperados ruidos fuertes que producen cambios transitorios en la respuesta fisiológica del mismo. Asimismo, cuando se modifica el fondo acústico, después de un largo periodo de trabajo continuado, mejora el nivel de vigilancia del trabajador.

- Efectos sobre el control de los sujetos, que se ve afectado claramente por el ruido.
- Efectos estratégicos; esto es, influencia sobre la forma de realizar la tarea.
- Efectos sobre la atención. Tal vez los más claros se producen en las tareas de vigilancia, que se han estudiado en profundidad dentro del marco de la Teoría de Detección de Señales. Los efectos se pueden dar tanto sobre la eficacia de la respuesta, como sobre la sensibilidad perceptiva de los sujetos.

Es curioso que haya pocos estudios que relacionen los efectos del ruido sobre la productividad de los trabajadores. En general, es claro que el ruido tiende a asociarse con la accidentalidad, habiéndose encontrado que el nivel medio de ruido en el puesto de trabajo correlaciona significativamente con la frecuencia de los accidentes, aunque existen múltiples variables moduladoras de dicha relación, como la edad y la experiencia de los trabajadores o la propia intensidad del ruido, por ejemplo.

#### **2.4.2 Interferencias con la comunicación y la seguridad**

El ruido puede interferir en las señales auditivas (enmascaramiento). Las interferencias en la comunicación dan lugar a errores en la transmisión de órdenes y a una disminución de la seguridad en el puesto de trabajo.

Los efectos de las interferencias, ya sean sobre sonidos no hablados o sobre la comunicación oral, son tremendamente complejos y los efectos pueden afectar tanto al emisor como al receptor del mensaje.

### **2.4.3 Efectos fisiológicos extra-auditivos.**

Entre los efectos fisiológicos se ha comprobado que el ruido produce un aumento de la presión sanguínea, acelera la actividad cardíaca, eleva el metabolismo y produce trastornos digestivos.

Los resultados de varios estudios indican que el efecto sobre la presión sanguínea puede persistir después de la terminación de la exposición al ruido (aunque en grado menor) y así eventualmente producir hipertensión.

En lo concerniente a las hormonas hipofisarias, el sonido produce un aumento de la producción de la mayoría de ellas, de las cuáles la ACTH, es quizá la más importante. El aumento de la producción de Cortisol de la corteza adrenal por cual, entre otras cosas, aumenta la sensibilidad a la Adrenalina y a la Nor-Adrenalina, los niveles de azúcar se elevan y la actividad inmunológica es deprimida.

Recientes estudios han demostrado que un aumento de la secreción de Cortisol puede reducir la función de desintoxicación del hígado.

### **2.4.4 Efectos Auditivos**

El principal problema que genera la exposición a un sonido intenso, es que se produce una pérdida de su capacidad auditiva. Esta afirmación, se manifiesta más claramente en el hecho de que la persona que ejecuta una operación ruidosa “siente” menos el ruido que

otra persona próxima al foco que no se encuentra “avisada” de que se va a producir una emisión de ruido. La explicación de este fenómeno reside en la posibilidad de actuación de músculos del oído medio, limitando la recepción sonora. Este argumento aparentemente concluyente, no refleja exactamente la realidad, que es mucho más compleja.

El deterioro auditivo inducido por ruido es a menudo subestimado porque no provoca efectos visibles ni, en la mayoría de los casos, dolor alguno. Las pérdidas auditivas pueden ser tan graduales que pasan inadvertidas hasta que el deterioro resulta discapacitante.

Inicialmente sólo se produce una pérdida de comunicación gradual y progresiva con familiares y amigos y una pérdida de sensibilidad a los sonidos del entorno, como el canto de los pájaros o la música. Por desgracia, la capacidad de oír correctamente suele darse por supuesta hasta que se pierde.

La primera señal suele ser que los demás parecen no hablar tan claramente como solían. La persona afectada tiene que pedir a los demás que le repitan y a menudo observa cómo éstos se molestan por su aparente falta de consideración. Con frecuencia tiene que decir a su familia y amigos cosas como: “No me grites. Te oigo, pero es que no entiendo lo que dices.” A medida que aumenta la pérdida auditiva, el afectado comienza a retraerse de las relaciones sociales. Los actos religiosos, las reuniones cívicas, las reuniones sociales o los espectáculos comienzan a perder su atractivo y la persona prefiere quedarse en casa. Finalmente, la situación puede llegar a tal punto que el afectado sólo se comunique con sus familiares o amigos con grandes dificultades, y es entonces cuando se encuentra realmente aislado. Un audífono puede ayudar en algunos casos, pero nunca se restaura la claridad de la audición natural del mismo modo que se consigue en el caso de la visión con el uso de gafas graduadas.<sup>4</sup>

En general, se utiliza como unidad de medida, el nivel al que la persona es capaz de detectar los sonidos, esto es, el umbral auditivo. De esta forma, se pueden distinguir tres tipos de pérdida de la capacidad auditiva:

---

<sup>4</sup> A. Sutter, 1998, “Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo O.I.T”, capítulo 47 página 4.

#### **2.4.4.1 Sordera Temporal, cambios temporales en el umbral:**

Son elevaciones reversibles del umbral, que se mantienen durante un corto periodo de tiempo. Este problema está relacionado con la frecuencia, intensidad y duración del ruido y es el que presentan mucho trabajadores al finalizar su jornada laboral y que, al despertarse al día siguiente, se dan cuenta de que han "recuperado el oído".

#### **2.4.4.2 Sordera permanente, aumento permanente del umbral:**

Es un aumento no reversible del umbral auditivo y por tanto, es un efecto a largo plazo, clínicamente se conoce como sordera profesional.

La pérdida auditiva por una exposición continua a ruido intenso resulta del daño que se produce en menor o mayor extensión en las células sensoriales del oído interno. La destrucción progresiva del oído interno comienza de una manera oculta para las personas expuestas, porque las lesiones aparecen primero en las regiones del oído interno que responden a frecuencias superiores a la voz.

La sordera profesional se caracteriza principalmente por los siguientes aspectos:

- Se presenta generalmente en ambos oídos.
- Se exagera con el trabajo y se atenúa con el reposo.

- No progresa si la persona es retirada del ambiente ruidoso.
- Es irreversible

Cuando la exposición continúa las pérdidas se hacen mayores y se extienden a frecuencias sobre y bajo el rango del lenguaje.

Con períodos de exposición largos, la pérdida progresa llegándose a un déficit hasta de 50 decibeles a 4,000 Hz que se extiende a frecuencias vecinas. En esta etapa no se aprecia la voz susurrada. No se puede seguir la conversación normal. Se observan pérdidas en frecuencias altas y graves.

A veces el ruido ocasiona en el oído un sonido de sombra “campanilleo” que generalmente persiste todo el tiempo o se presenta al ponerse el oído en contacto con un medio ruidoso. Tiene una tonalidad aguda y constante y llega a impedir el sueño a las personas.

En este caso, es preciso abordar tres aspectos importantes cara a la seguridad de los trabajadores:

- El límite de exposición a un ruido continuo durante el trabajo diario;
- Cómo combinar la intensidad del ruido con el tiempo de exposición al mismo y

- Los límites de seguridad que combinan la intensidad del ruido con el número de "picos sonoros" que se producen.

#### 2.4.4.3 Trauma acústico:

Esto es, el resultado de una única exposición, habitualmente breve, a un ruido extremadamente intenso, tal como una explosión. En general, se considera que, para una explosión simple, el límite superior se sitúa en los 140 dB.

En la tabla No. 2-2 se muestran algunos efectos auditivos y extra-auditivos de la exposición a ruido de los que se dispone evidencia y, para algunos de ellos los niveles de ruido mínimo que han sido observados para su manifestación.

**Tabla 2-2 Efectos del Ruido sobre la Salud<sup>5</sup>**

EFECTO			Nivel de Presión Sonora dB(A)
EVIDENCIA SUFICIENTE	Malestar	Ambiente de Oficina	55
		Ambiente Industrial	85
	Hipertensión		55-116
	Disminución de la capacidad auditiva	Adultos	75
		Feto	85
EVIDENCIA LIMITADA	Disminución del rendimiento		-
	Efectos bioquímicos		-
	Efectos sobre el sistema inmunitario		-
	Influencia en la calidad de sueño		-
	Disminución del peso al nacer		-

## 2.5 FACTORES DE RIESGO EN LA EXPOSICIÓN A RUIDO

Una exposición a ruido puede causar pérdidas auditivas de mayor o menor magnitud, dependiendo principalmente de los siguientes factores:

---

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006, "Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido", página 47.

### **2.5.1 Nivel de Intensidad de Ruido**

Niveles sonoros inferiores a 80 dB, no son peligrosos para la audición durante largos períodos de exposición. Se considera que cualquier exposición de corta duración a ruidos con niveles de 130 dB, puede causar daños permanentes en la audición y por tanto deben evitarse.

### **2.5.2 Rango de frecuencias:**

Los tonos agudos son más traumáticos que los graves. Un sonido de tono agudo tiene el mismo efecto traumático que uno grave aunque su intensidad sea menor, ya que llega antes al umbral de audición; por otra parte, el efecto protector de la cadena de huesecillos producido por el bloqueo de la misma, gracias a la contracción del músculo del martillo y del estribo, es menor para los tonos agudos que para los graves.

### **2.5.3 Exposición diaria:**

Una exposición diaria de varias horas, durante muchos años, va a crear lesiones definitivas de forma progresiva.

Los intervalos de reposo o de silencio, constituyen un factor fundamental, se ha comprobado que la acción traumática de un ruido durante una semana de trabajo, cesa con un día de descanso, para volver de nuevo a reiniciarse la sintomatología.

#### **2.5.4 Exposición total a lo largo de la vida:**

Cuanto más prolongada es la exposición a ruido, tanto mayor es el riesgo. La sordera se agrava de forma progresiva con el transcurso del tiempo.

#### **2.5.5 Tipo de ruido**

Influye por un lado el espectro de frecuencia y por otro la variabilidad en el tiempo (continuo o fluctuante). En general se acepta que el ruido continuo se tolera mejor que el discontinuo. Los ruidos de banda estrecha son más nocivos que los de banda de frecuencias anchas. Los ruidos de impacto con niveles superiores a 140 dB pueden generar un trauma acústico inmediato.

Susceptibilidad individual: influye en la rapidez de adaptación y evolución del déficit auditivo y explica el hecho frecuente de que personas con poco tiempo de exposición, presentan alteraciones severas de la audición en contraposición con aquellas que no presentan alteraciones a pesar de una larga exposición, estando unos y otros expuestos a intensidades similares de ruido.

#### **2.5.6 Edad:**

La capacidad auditiva disminuye con la edad. Los oídos de personas jóvenes resisten mejor al ruido que las personas de edad.

### **2.5.7 Afecciones anteriores del oído:**

En términos generales se considera que la patología auditiva previa a la exposición del ruido favorece la aparición del trauma acústico.

## **2.6 PROPAGACIÓN DEL SONIDO**

En los procesos de EMISIÓN, PROPAGACIÓN y RECEPCIÓN del sonido, el tipo de campo acústico en el que ocurren tiene una gran influencia.

En acústica, se definen dos tipos de campos. Estos son: Campo acústico libre y Campo acústico difuso.

### **2.6.1 Campo acústico libre:**

Es un lugar donde el sonido se propaga libremente sin ningún tipo de reflexión, como por ejemplo una cámara anecóica.

Si consideramos una fuente de sonido en espacio libre, a medida que nos alejamos de la misma se produce una disminución de la presión sonora inversamente proporcional a la distancia. Este efecto no debe considerarse en principio como una amortiguación del sonido en sí, sino más bien como una disminución de la amplitud originada por la distribución de energía en un volumen mayor.

La expresión general del nivel de presión sonora a una distancia  $r$  de la fuente viene dada por:

**Ecuación 2-4**

$$NPS = NWS - 20 \log r - 11$$

Donde:

**$NWS$** : Nivel de Potencia Sonora

**$r$** : distancia en metros a la fuente

**$NPS$** : Nivel de Presión Sonora

### 2.6.2 Campo difuso:

Cuando el sonido se propaga en un campo no libre de forma que las ondas sonoras se propagan en todas direcciones y que la presión sonora es igual en todos los puntos de ese recinto, se dice que el campo acústico es perfectamente difuso.

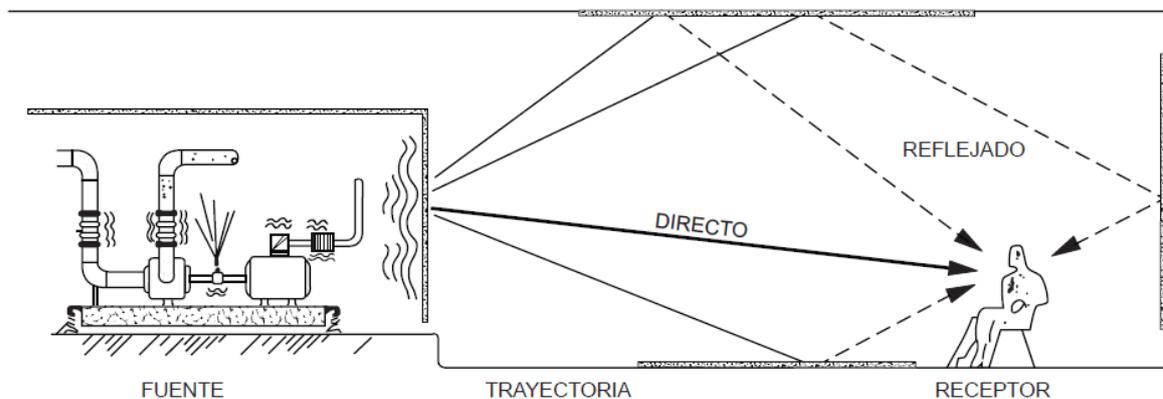
### 2.6.3 Campo Acústico Global:

En un recinto o local cerrado, las ondas emitidas por una fuente determinada chocan con las superficies que limitan el local, dando origen a ondas reflejadas, las cuales a su vez se reflejan nuevamente, repitiéndose el fenómeno multitud de veces.

La presión acústica que existe en un punto determinado del recinto, después de haberse producido varias reflexiones del sonido, es la resultante de las presiones emitidas en distintos momentos que se cruzan en el punto considerado en el momento de la observación.

Por lo tanto, la presión sonora en un momento y un punto es el resultado de sumar: la presión del campo directo (ondas que se han propagado desde la fuente sin chocar) y la presión del campo reverberado (ondas que han chocado una o varias veces contra las superficies que limitan el local).

Por tanto, el nivel de presión acústica en un punto depende en gran medida de cómo se refleje el sonido en las superficies que limitan el recinto (y, por tanto, de la absorción acústica de las mismas).



**Ilustración 2-5 Campo acústico global en un recinto cerrado<sup>6</sup>**

<sup>6</sup> FIBERGLASS COLOMBIA, *Nota Técnica No. 37 Control del Ruido Industrial II*, [en línea] < <http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/notas/aislamiento/NTAisl-Ind37.pdf> > [consulta: 01 mayo 2011].

## 2.7 CONTROL DEL RUIDO

El control de ruido es un componente fundamental de un programa de conservación de la audición.

Control no necesariamente significa eliminación del ruido sino que puede ser reducción o modificación de sus características perjudiciales.

La conservación de la audición debe ser un propósito para tener en mente desde la etapa de planeación de un ambiente de trabajo. Efectuar los ajustes en el proyecto es lo más deseable y por lo general, lo más económico.

Las decisiones que se tomen para el control del ruido se deben fundamentar en estudios previos acerca de las condiciones encontradas en los lugares de trabajo.

Los procedimientos técnicos de control tratan de la reducción de los niveles de ruido en la fuente de emisión o sobre los medios de transmisión o propagación el ruido, dejando como último recurso el control y protección del receptor.

### 2.7.1 Control de ruido en la fuente de emisión- ORIGEN

Sin duda alguna, la solución idónea está en el control del ruido en las propias fuentes que lo producen, es decir, impedir que se produzca el ruido y, si esto no es posible, disminuir su generación. Para ello existen medidas tales como:

- Utilización de procesos, equipos y maquinas menos ruidosos.

- Disminuir la velocidad de los equipos ruidosos.
- Aumentar la amortiguación de equipos, superficies y partes vibrantes.
- Optimizar la rigidez de las estructuras, uniones y partes de las máquinas.
- Incrementar la masa de las cubiertas vibrantes.
- Disminuir el área de las superficies vibrantes.
- Practicar un buen mantenimiento preventivo de la maquinaria como: lubricación, ajuste y equilibrado, etc.
- Encapsulamiento y apantallamiento de la fuente de ruido.
- Recubrimiento de partes metálicas mediante materiales amortiguadores.
- Aislamiento acústico de equipos ruidosos en locales separados.

### **2.7.2 Control sobre el medio de transmisión o propagación.**

Si bien es cierto, que el control de ruido deber realizarse primero en la fuente, hay ocasiones en que esto no es aplicable por razones técnicas y económicas. En estos casos existe la posibilidad de mejorar las condiciones acústicas disminuyendo la propagación del ruido hasta el receptor. Para ello existen una serie de medidas como:

- Ubicar de manera adecuada las fuentes generadoras de ruido, tomando en cuenta las características del local, la orientación y la ubicación que se les de a las fuentes con respecto a superficies pueden provocar diferentes niveles de ruido debido al factor de direccionalidad.

- Acondicionamiento acústico de superficies reflectoras de un recinto: trata de disminuir la energía de las ondas sonoras directa y reflejada, absorbiéndola en sus repetidos choques con materiales acústicos adecuados. Esto se logra mediante el recubrimiento de paredes, techos, suelos, etcétera, mediante materiales absorbentes.
- Instalación de pantallas o barreras: utilización de pantallas o barreras acústicas interpuestas en la vía de la onda sonora y el receptor, para interrumpir el paso directo de la onda sonora. La reducción del sonido es función de la altura efectiva de la pantalla de la longitud de onda del sonido, del ángulo de reflexión de la onda, del material de construcción y su espesor
- Resonadores acústicos: mecánicos o electrónicos. Los mecánicos reflejan invertida la onda que reciben, mientras que los electrónicos generan una onda invertida. En ambos casos la onda incidente y la onda reflejada (o emitida) se anulan.

Todos los materiales absorben una parte del ruido que incide sobre ellos y reflejan el resto. En general, las superficies duras y pulidas (mármol, granito, vidrio, acero) absorben poco ruido y reflejan mucho, mientras que las porosas y blandas (corcho, poliuretano, goma porosa, cartón) absorben mucho y reflejan poco.

### **2.7.3 Control sobre el receptor.**

El empleo de equipos de protección individual (EPI) es un procedimiento límite al que solo se debería recurrir cuando otros procedimientos técnicos se han comprobado como inviables. Por tanto, solo queda la posibilidad de aplicar medidas de prevención o

protección sobre el receptor, de manera que la exposición final de éste quede dentro de unos límites tolerables.

## 2.8 AISLAMIENTO ACÚSTICO

Se puede definir de una manera general, el Aislamiento Acústico entre dos recintos como la cantidad de energía sonora que se pierde o atenúa al propagarse del recinto emisor al recinto receptor. En la práctica se tratará de calcular el aislamiento que produce una partición como puede ser una pared, fachada, forjado etc. (es decir, una superficie o elemento material que separa ambos recintos).

Cuando se trata de medir el aislamiento que causa una partición es preciso tener en cuenta que el sonido no pasa de un lugar a otro únicamente a través de la partición en cuestión sino que es frecuente que lo haga a través de otros caminos como pueden ser, por ejemplo, los conductos de ventilación, las paredes laterales etc.

### 2.8.1 Pérdidas por transmisión

La eficacia de una barrera para detener el sonido se mide mediante la pérdida de transmisión de sonido (TL) o sea, la pérdida de nivel de energía conforme pasa el sonido a través de una barrera. Cuanto mayor sea la masa de la barrera, mayor la pérdida de transmisión de sonido, y, por tanto, es más eficaz la barrera. Sin embargo, la relación entre la masa y pérdida de transmisión no es lineal. En bajas frecuencias las pérdidas tienden a ser más grandes; en otras frecuencias, menores que las que indicarían una relación lineal.

Se define un índice de aislamiento acústico,  $\tau$ , a partir de la relación entre la potencia que se transmite al recinto receptor  $W_t$ , y la que incide sobre el elemento de separación del recinto emisor  $W_i$ . El coeficiente  $\tau$  se denomina coeficiente de transmisión sonora y se define por:

**Ecuación 2-5**

$$\tau = \frac{W_t}{W_i}$$

La pérdida de transmisión TL de una barrera se define en función de  $\tau$ . Se expresa en decibelios, y posee un valor distinto para cada frecuencia. Se calcula mediante la expresión:

**Ecuación 2-6**

$$TL = 10 \log \frac{I}{\tau} = 10 \log \frac{W_t}{W_i}$$

La pérdida de transmisión de un material suele expresarse como un único valor, conocido como STL por sus siglas en inglés (Sound transmission loss) que resulta del promedio de la pérdida de transmisión a varias frecuencias. A mayor STL mejor barrera de sonido. Este índice es normalmente utilizado por los proveedores de materiales acústicos.

## 2.8.2 Índices descriptivos del aislamiento acústico

La manera más sencilla de abordar un problema de aislamiento acústico a ruido aéreo es por medio de la magnitud **Aislamiento Bruto, D**, que se define mediante la ecuación:

#### Ecuación 2-7

$$D = L_1 - L_2$$

Donde:

$L_1$  : expresa el nivel de presión sonora en la sala emisora

$L_2$  : expresa el nivel en la sala receptora.

De estos niveles es preciso comentar en primer lugar que están promediados tanto en tiempo como en espacio. En segundo lugar decir que los cálculos se han de hacer para cada banda de frecuencia, por ejemplo en tercios de octava. El promediado en espacio merece especial atención. Al medir el nivel sonoro en un recinto es necesario hacerlo en diferentes puntos del mismo ya que el campo sonoro no es constante en él. Si se escogen los distintos puntos de manera correcta y se promedian, se tendrá un valor fiable del nivel acústico en dicho recinto. Si obtenemos una sola medida, corremos el riesgo de que sea en un punto donde hay un máximo o un mínimo de campo, lejos del nivel medio en la totalidad del recinto.

El aislamiento bruto,  $D$ , de una partición separadora entre dos salas o estancias, no da una verdadera medida sobre dicha partición ya que la medida del nivel sonoro en la sala receptora en un instante, proviene de la energía sonora de la sala emisora en ese instante más la energía de algún tiempo atrás, que se ha reflejado en las paredes. La reverberación de la habitación receptora está influyendo de esta manera en nuestra medida. Si introducimos un término corrector que contrarreste la influencia de la reverberación, tendremos una medida más precisa y esto se lleva a cabo mediante la magnitud **Aislamiento Normalizado,  $R$** , que se define por:

### Ecuación 2-8

$$NR = L_1 - L_2 + 10 \log \left[ \frac{S}{A} \right] = D + 10 \log \left[ \frac{S}{A} \right] \text{ (dB)}$$

Donde:

S: área de la separación en  $m^2$

A: absorción total del cuarto receptor en  $m^2$ -sabin

Por medio de la magnitud **NR** se obtiene una medida más precisa que con el aislamiento bruto. Es posible que ambas magnitudes coincidan ( $D=NR$ ), circunstancia que se dará cuando los valores de S y A sean iguales en  $m^2$ . En otro caso, el valor del aislamiento normalizado será mayor que el del bruto ( $D < NR$ ).

### 2.8.3 Aislamiento acústico de paredes simples ley de masas

Se puede definir la pared simple como aquella que está constituida por piezas acústicamente homogéneas.

El aislamiento de una pared puede estimarse por medio de sus propiedades mecánicas. Así, la Ley de Masas para incidencia normal permite calcular dicha magnitud y se expresa como:

$$R = 20 \log \left( \frac{M \pi f}{Z} \right) \text{ (dB)}$$

Donde:

M: es la masa por unidad de superficie

f: es la frecuencia de la onda incidente

Z: impedancia acústica del medio que rodea a la pared, aire: 415 rayls.

Y la ecuación se puede simplificar de la siguiente forma:

$$R = 20 \log(Mf) - 43 \text{ (dB)}$$

Hay que añadir que esta relación se cumple siempre y cuando la frecuencia de la onda incidente sea mucho mayor que la de los modos propios de vibración de la pared y la incidencia del sonido sea perpendicular a la pared. En condiciones habituales (campo reverberante) y cuando se realiza una evaluación del aislamiento en tercios de octava, la ecuación que se ajusta mejor es:

**Ecuación 2-9**

$$R = 20 \log(Mf) - 48 \text{ (dB)}$$

La ley de masas nos indica pues, que el aislamiento en dB es proporcional al cuadrado de la masa por unidad de superficie de la pared ( $M$ ) y también al cuadrado de la frecuencia ( $f$ ).

Es decir, el aislamiento aumenta con la densidad superficial de la pared y si la frecuencia del sonido es mayor. Según la ecuación, si duplicamos la masa de la pared, el aislamiento aumentará en 6 dB y del mismo modo, dado un panel de masa  $M$ , su aislamiento se incrementará en 6 dB al duplicar la frecuencia.

Se puede concluir que la ley de masas para paredes simples proporciona una descripción orientativa del comportamiento de particiones simples, pero efectos de resonancia y el propio montaje de los paneles en condiciones no ideales implican que en la práctica estos valores estimados no se alcancen.

#### **2.8.3.1 Las tres regiones de las paredes simples**

La ley de masa sólo se cumple en un rango restringido de frecuencias. En baja frecuencia predomina la elasticidad, y en alta frecuencia, el efecto de coincidencia.

##### **Elasticidad**

En baja frecuencia la inercia tiene poca importancia y entonces la fuerza principal que se opone al movimiento es elástica.

La frecuencia de resonancia es el límite entre ambos efectos. En general es muy baja, e inclusive puede ser subsónica (inferior a 20 Hz), por lo cual el aumento de aislamiento por debajo de ella no es aprovechable.

### **Efecto de coincidencia**

Se produce por las ondas de flexión que tienen lugar en cualquier objeto sólido cuyo espesor es mucho menor que la extensión, como una lámina, una placa o una pared.

La longitud de las ondas de flexión,  $\lambda_f$ , disminuye al aumentar la frecuencia, pero no lo hace tan rápido como la longitud de las ondas sonoras en el aire.

Para alguna frecuencia  $f_c$ , la longitud de las ondas aéreas (proyectada sobre la pared) coincide con la longitud de las ondas de flexión. Cuando ello sucede, la pared entra en resonancia, vibra fuertemente y se convierte en un emisor muy efectivo del otro lado. El resultado es una disminución del aislamiento. Alrededor de una octava antes de la frecuencia crítica hasta la misma la pérdida de transmisión es unos 15 dB menos de lo que predice la ley de masas. Para frecuencias mayores se mantiene unos 10 dB por debajo del valor previsible.<sup>7</sup>

En alta frecuencia, la coincidencia tiene lugar en ondas de incidencia casi perpendicular a la pared.

---

<sup>7</sup> R. Estellés Díaz, 2005, “Aislación Acústica”, página 12.

La frecuencia crítica (de coincidencia) para cada material varía inversamente con el espesor. Para 10 cm se tienen los valores de la tabla siguiente:

**Tabla 2-3 Frecuencia crítica de diferentes materiales<sup>8</sup>**

<b>Material (espesor 10 cm)</b>	<b>Frecuencia crítica [Hz]</b>
<b>Acero</b>	<b>130</b>
<b>Vidrio</b>	<b>130</b>
<b>Aluminio</b>	<b>130</b>
<b>Hormigón</b>	<b>190</b>
<b>Yeso</b>	<b>270</b>
<b>Ladrillo</b>	<b>270</b>
<b>Madera aglomerada</b>	<b>270</b>
<b>Hormigón liviano</b>	<b>450</b>
<b>Plomo</b>	<b>560</b>

Para otros espesores se multiplica por 10 y se divide para el espesor real del material.

Algunos materiales como el hormigón y el ladrillo tienen una frecuencia crítica demasiado baja por lo que no es práctico ir mucho más allá de 30 cm de espesor.

---

<sup>8</sup> R. Estellés Díaz, 2005, “**Aislación Acústica**”, página 12.

### 2.8.3.2 Aislamiento de paredes mixtas

En las paredes que separan dos recintos o estancias es probable que existan diferentes elementos que la compongan. Por ejemplo en una fachada, lo normal es que además del muro que la forma exista una ventana, puerta etc.

La pérdida de transmisión global de un elemento mixto (puertas, ventanas, etc.), dependerá tanto del área de cada uno de los elementos constructivos como del aislamiento de los mismos, y se puede calcular mediante:

#### Ecuación 2-10

$$TLg = 10 \log \frac{S_{total}}{S_1 \times 10^{-TL_1/10} + \dots + S_n \times 10^{-TL_n/10}}$$

Donde:

S1: área del elemento 1 que compone la pared

Sn: área del elemento n que compone la pared

S total: área total de la pared

$TL_1$  : Pérdida de transmisión del elemento 1

$TL_n$  : Pérdida de transmisión del elemento n

Las puertas y ventanas son frecuentemente los peores elementos de las paredes con respecto al aislamiento sonoro. El espesor de los cristales en las ventanas es un factor básico para el aislamiento acústico. Lo mismo ocurre con las puertas, en donde el método de construcción, puertas rellenas de fibra de vidrio y fieltro, grietas en los marcos, etc. tiene influencia sobre el valor del aislamiento sonoro.

### **2.8.3.3 Fugas o cortocircuitos acústicos**

Las fugas o cortocircuitos acústicos con intersticios en un material de alta pérdida de transmisión.

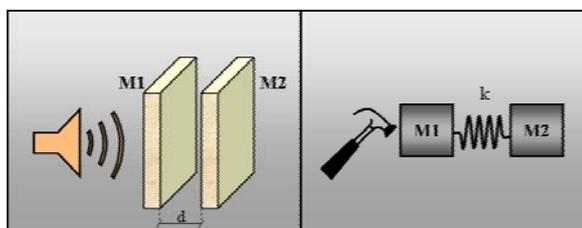
Para calcular su efecto, se emplea la ecuación 2-10, tomando como pérdida de transmisión para los agujeros el valor de 0 dB que es la pérdida de transmisión del aire.

### **2.8.4 Aislamiento acústico de paredes dobles**

Un método normalmente muy bueno, de aumentar el aislamiento acústico de una pared sin tener que aumentar de manera desorbitada su masa superficial es recurrir al uso de paredes múltiples. Se divide la pared en dos capas separadas por un espacio de aire. Responden a la ley de la masa-resorte-masa que es más efectiva para aislar que la ley de la masa. Esta ley actúa de forma análoga que un sistema mecánico.

El sistema mecánico lo forman dos cuerpos, los cuales están unidos entre sí por un elemento elástico. Y el sistema acústico sería el de la doble pared, es decir dos tabiques separados por el aire.

Cuando en el sistema mecánico golpeamos uno de los cuerpos, obtenemos que debido a la acción del elemento elástico únicamente el cuerpo golpeado va a entrar en vibración, y que por lo tanto va a ser el único que va a entrar en movimiento. En el sistema acústico de la doble pared ocurre algo muy similar, y de ahí esta analogía. Cuando en una doble pared incide el sonido en una de sus caras, solamente la cara expuesta al sonido va a entrar en vibración, quedando la otra cara exenta de ello. En este caso el aire que las separa actuaría como si fuese un muelle (equivalente del sistema mecánico) evitando así la transmisión directa del sonido de una cara a la otra.



**Ilustración 2-6 Analogía sistema acústico- sistema mecánico<sup>9</sup>**

Las capas de una pared múltiple no deben tener ninguna unión rígida, a estas uniones se las denomina puentes acústicos, ya que provocan acoplamientos directos entre ambas capas, reduciéndose notablemente en aislamiento. En el caso de que estos puentes sean inevitables, deben ser relativamente blandos y ligeros para las paredes pesadas, y pesados para las paredes ligeras. Si una de las paredes es relativamente pesada y la otra ligera, y se unen rígidamente, el aislamiento será mejor cuanto menor sea el número de ligazones, siendo la mejor ligazón por puntos que por líneas.

---

<sup>9</sup> AGUILAR, José Carlos. *Optimización del aislamiento acústico a ruido aéreo en sistemas de doble pared de yeso laminado y lana de roca*. [en línea] [http://www.sea-acustica.es/WEB\\_ICA\\_07/fchrs/papers/tna-07-009.pdf](http://www.sea-acustica.es/WEB_ICA_07/fchrs/papers/tna-07-009.pdf) [consulta: 01 de mayo 2011].

#### 2.8.4.1 Frecuencias problemáticas de la doble pared y su solución.

A pesar de todo, en los dobles tabiques existen 3 zonas problemáticas en el espectro de su aislamiento acústico, en las cuales su funcionamiento podría incluso llegar a ser malo.

Estas tres zonas son:

la frecuencia de coincidencia ( $f_c$ ),

la frecuencia de resonancia de la cámara ( $f_{r1}$ ),

y la frecuencia propia del sistema ( $f_r$ ).

#### **Frecuencia de resonancia ( $f_{r1}$ ).**

En la cámara de aire que separa la doble pared se crean una serie de ondas estacionarias que van a generar una pérdida del aislamiento acústico del cerramiento. La 1ª frecuencia de resonancia ( $f_1$ ) es la frecuencia que se corresponde con la 1ª resonancia acústica y por lo tanto es la que mayor caída provoca en el aislamiento, y la que ocurre a más baja frecuencia (de entre sus armónicos). Los armónicos de esta frecuencia ( $f_2, f_3, f_4, \dots$ ) son múltiplos enteros de la frecuencia de resonancia principal, generan una menor caída en el aislamiento y ocurren a unas frecuencias más elevadas.

La ubicación de estas frecuencias depende de la separación existente entre las dos hojas, y se calcula según la siguiente fórmula:

**Ecuación 2-11**

$$f_{r_1} = \frac{c}{2d}$$

Donde:

$c$ : velocidad del sonido en el aire.

$d$ : distancia entre tabiques ( $m$ ).

Para solucionar este problema se debe rellenar la cámara de aire del tabique con un material absorbente acústico. Este material absorbente eliminará las resonancias de la cámara, convirtiendo la energía sonora en calor, y por lo tanto aumentando el aislamiento del sistema. Evidentemente cuanto mayor sea el coeficiente de absorción sonora del material introducido ( $\alpha$ ), mayor será la mejora aportada al aislamiento acústico del tabique.

### **Frecuencia de coincidencia o crítica ( $f_c$ ).**

El fenómeno de la coincidencia es un efecto típico de las paredes simples. Este fenómeno también puede ocurrir en las paredes dobles, ya que una pared doble está compuesta por 2 paredes simples.

La zona de coincidencia es una zona de bajo aislamiento que ocurre debido a que coinciden las velocidades de flexión de la pared con la velocidad del sonido en el aire.

La localización de esta frecuencia en el espectro del aislamiento acústico del tabique simple (o de cada uno de los tabiques que forman una doble pared) varía inversamente con el espesor del material que compone cada una de las paredes, y su fórmula de cálculo ya se menciona en el numeral 2.8.3.1 de este capítulo.

Si se tiene una doble pared con 2 hojas idénticas, la frecuencia de coincidencia será un problema, ya que ambos tabiques tendrán la misma  $f_c$  y por lo tanto ninguno de ellos impedirá el paso del sonido a través de esta frecuencia.

Para solucionar el problema simplemente hay que emplear 2 tabiques diferentes, con distinta masa superficial o distinta rigidez a la flexión, es decir utilizar tabiques de distintos materiales o bien utilizar tabiques de un mismo material pero con espesores diferentes. De este modo, la frecuencia de coincidencia de un tabique ( $f_{c1}$ ) será distinta a la del otro tabique ( $f_{c2}$ ), y por lo tanto la pérdida del aislamiento acústico en cada uno de ellos lo compensará el otro.

### **Frecuencia Propia del sistema ( $f_r$ ).**

La frecuencia propia es completamente inevitable, ya que es una característica intrínseca de los sistemas de doble hoja. Por debajo de esta frecuencia el aislamiento de la doble pared es equivalente al de una pared simple de igual masa y por encima de esta frecuencia el funcionamiento acústico de la doble pared es elevado.

Esta frecuencia responde a la expresión:

#### **Ecuación 2-12**

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)}$$

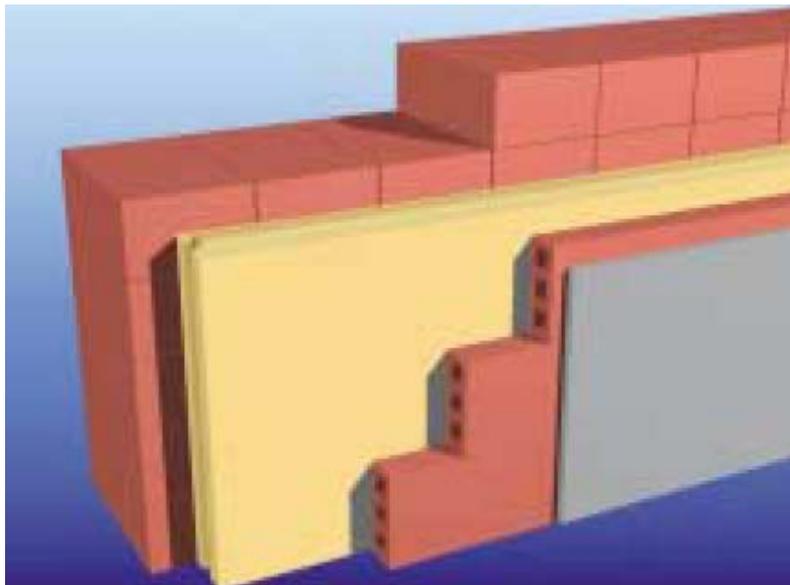
Donde:

d: espesor de la cámara de aire en metros

M1 y M2: masas superficiales de los elementos 1 y 2 en  $\text{kg/m}^2$ .

Para poder solucionar la pérdida de aislamiento provocada por la frecuencia propia, lo más adecuado es diseñar el doble tabique de tal forma que  $f_r$  esté a tan baja frecuencia que no la pueda percibir el oído humano, es decir que se deben de diseñar los tabique para que esta frecuencia esté situada por debajo de los 20 Hz. Entonces, el sonido pasará a través de las frecuencias que el oído humano no puede percibir y no provocará molestias.

Según fórmula anterior, las dos opciones que se tiene para desplazar esta frecuencia sería o aumentar la masa del cerramiento o aumentar la separación entre las dos hojas.



**Ilustración 2-7 Ejemplo de un sistema de pared doble rellena de material absorbente<sup>10</sup>**

---

<sup>10</sup> CONSTRUNARIO. *Sistemas de Aislamiento* [en línea] <<http://www.construnario.com/diccionario/swf/27159/cat%C3%9Asistemas%20de%20aislamiento.pdf>> [Consulta: 01 de mayo de 2011].

#### 2.8.4.2 Cálculo del aislamiento acústico de una pared doble

Para frecuencias comprendidas entre  $f_r$  y  $f_{r1}$ , el aislamiento de una pared doble con material absorbente en la cavidad, viene dado por la expresión<sup>11</sup>:

**Ecuación 2-13**

$$TL = TL_1 + TL_2 - \left[ 10 \log d + 10 \log \alpha' + 10 \log \left( \frac{h+b}{h*b} \right) \right] + 3(dB)$$

Donde:

TL: aislamiento total

$TL_1$ ,  $TL_2$ : aislamiento de cada elemento de la pared doble

d: distancia entre las capas en metros

h: altura de la pared a aislar en metros

b: base de la pared a aislar en metros

$\alpha'$ :  $k * \alpha$  donde:

$\alpha$ : coeficiente de absorción del material de la cavidad de aire

$k= 0.1$  para distancias de 0.1 metros

$k= 0.2$  para distancias de 0.2 metros

$k= 0.5$  para distancias entre 0.3 metros a 0.5 metros

---

<sup>11</sup> A. Pérez de Siles Marín, 2001, *Aislamiento acústico* Tesis (en línea) Córdoba, España, Universidad de Córdoba. <<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1>> [consulta: 01 junio 2011].

Para frecuencias superiores a  $Fr_1$ , el aislamiento de una pared doble con material absorbente en la cavidad viene dado por:

**Ecuación 2-14**

$$TL : TL_1 + TL_2 - \left[ 10 \log \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{4} \right) \right] (dB)$$

Si no se pone material absorbente en la cámara entre las dos paredes, las ecuaciones anteriores quedan modificadas de la siguiente forma:

Para frecuencias comprendidas entre  $Fr$  y  $Fr_1$ , en vez del sumando ( $10 \log \alpha'$ ) se usaría  $10 \log(\alpha_0)$  que adopta los siguientes valores:

- $10 \log(\alpha_0) = 10$  dB para distancias mayores a 0.1 metros
- $10 \log(\alpha_0) = -3$  dB para distancias menores a 0.02 metros

Para frecuencias superiores a  $Fr_1$ , la ecuación 2.11 quedaría de la siguiente forma:

**Ecuación 2-15**

$$TL : TL_1 + TL_2 - \left[ 10 \log \left( \frac{1}{4} \right) \right] (dB)$$

### 2.8.5 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Cuando un foco sonoro emite energía acústica, las ondas sonoras se propagan a partir de él en forma de onda esférica si no encuentran ningún obstáculo en su camino. Al chocar contra algún obstáculo se reflejan cambiando su dirección. Si la superficie reflectante fuese completamente impermeable al aire y perfectamente rígida no habría pérdida de energía en cada reflexión. Sin embargo, en la realidad no existe un reflector perfecto, ya que éste entrará en vibración por efecto de la onda incidente, o permitirá la propagación de las ondas sonoras en el interior del material, si éste tiene estructura porosa. Como consecuencia de cualquiera de estos dos procesos, las ondas reflejadas tendrán menos energía acústica que las incidentes, diciéndose que parte de la energía acústica ha sido absorbida por la superficie.

El sonido que genera un foco sonoro en el interior de un recinto incide sobre las superficies límite de éste, reflejándose en parte, y estas reflexiones tienden a aumentar el nivel de presión sonora en el interior del recinto.

En un recinto con una fuente sonora, si sus superficies límite son parcialmente reflectantes, el campo sonoro en el recinto tendrá dos componentes:

- El sonido directo que va de la fuente al observador.
- Los sonidos reflejados que llegan al observador después de reflejarse en las superficies límite. Esto crea un campo reverberante que se superpone al campo creado por la fuente.

Así, el campo sonoro se determina a partir de la potencia acústica de la fuente y de las propiedades reflectantes de las superficies límites.

Para que la superficie de un material absorba energía sonora es necesario que la superficie sea relativamente transparente al sonido y que el medio sea capaz de transformar al menos parcialmente la energía de las ondas en energía calorífica de fricción. La transparencia se puede conseguir mediante un material altamente poroso, o mediante una lámina perforada que recubre al material poroso. También puede ser una membrana ligera flexible impermeable al aire o perforaciones o grietas en el cuerpo de un material poroso, con superficie externa impermeable.

El acondicionamiento acústico de un local tiene como finalidad extraer energía sonora del campo acústico, absorbiéndola en los repetidos choques de las ondas contra las paredes.

Al incidir una onda sonora sobre una superficie absorbente, parte de la energía es absorbida, parte reflejada y parte transmitida al otro lado. La proporción entre ellas dependerá de la frecuencia de la onda incidente y de las características técnicas y constructivas del material, así como del ángulo de incidencia de la onda.



**Ilustración 2-8 Disminución del campo reverberado por inclusión de material absorbente en las superficies de las paredes<sup>12</sup>**

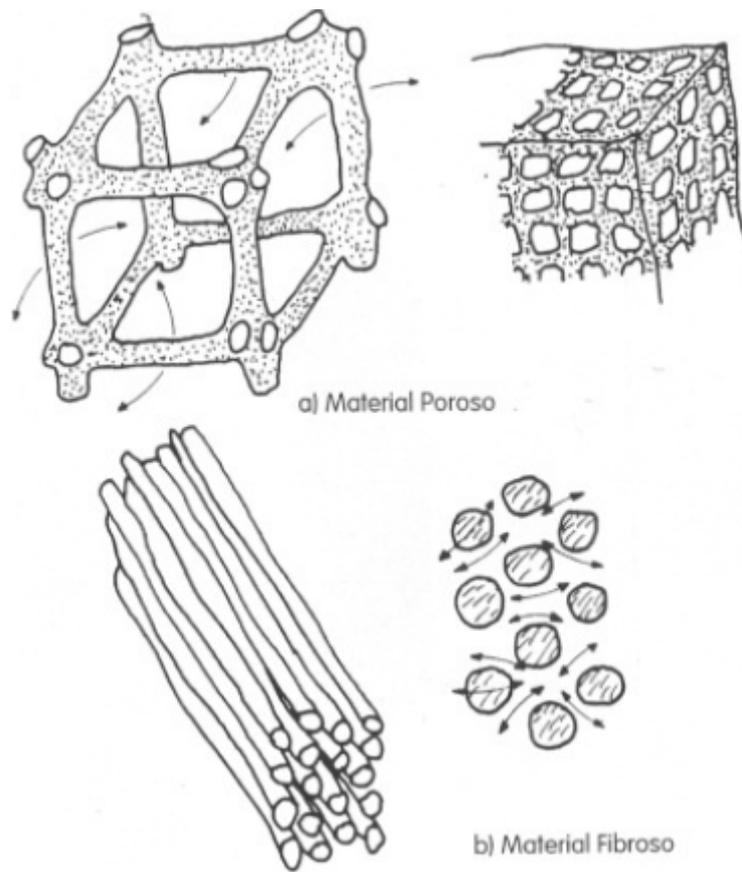
<sup>12</sup> ISOVER. *Propagación del Sonido* [en línea]. Revista Club CLIMAVÉR, marzo 2006, número 19 <[http://www.isover.net/asesoria/revista\\_club/019/seccionacu.pdf](http://www.isover.net/asesoria/revista_club/019/seccionacu.pdf)> [consulta 01 de mayo de 2011].

### **2.8.5.1 Materiales para absorción de ruido**

Los materiales de absorción sonora son un mecanismo resistivo del control de ruido, donde parte de la energía acústica es transformada en energía térmica a través de la viscosidad del aire; que es lo que ocurre en materiales porosos (espuma) o fibrosos (lana de vidrio, lana de roca algodón, etc.) Los materiales de absorción sonora pueden ser usados para revestimiento interno de las paredes de ambientes y/o ductos, y son la parte interior principal de los silenciadores resistivos.

Los materiales de absorción acústica son normalmente porosos y/o fibrosos. En los materiales porosos la energía acústica incidente entra por los poros y se disipa por reflexiones múltiples y roce viscoso, transformándose en energía térmica.

En los materiales fibrosos la energía acústica incidente entra por las aberturas de las fibras, haciéndolas vibrar junto con el aire, disipándose así por transformación en energía térmica por roce entre las fibras excitadas.



**Ilustración 2-9 Mecanismos de disipación de energía sonora en los materiales<sup>13</sup>**

Tanto para material poroso como para fibroso, es esencial que el material admita el paso de un flujo de aire, que tendrá como consecuencia la propagación de ondas acústicas por el aire de los poros o aberturas del material fibroso o poroso.

Los materiales acústicos deben tener células abiertas. Un modo simple de verificar la permeabilidad al flujo de aire de un determinado material es soplar con la boca a través de él. Un buen ejemplo es la comparación de la absorción acústica de la espuma con la del

---

<sup>13</sup> SAMIR NAGI, Yousri Gerges, Ruido Fundamentos y Control, [1 ilustración], 1998, 40p.

corcho o ladrillo. Como la espuma presenta mayor permeabilidad al paso de un flujo de aire que el corcho o el ladrillo, su absorción acústica es mayor que de los otros dos.

La característica de absorción acústica de un material está determinada por un coeficiente de absorción acústica  $\alpha$  definido por la razón entre la energía acústica absorbida  $w_a$  y la energía acústica incidente  $w_i$ , como se muestra en la ecuación siguiente:

**Ecuación 2-16**

$$\alpha = \frac{w_a}{w_i}$$

El valor de  $\alpha$  siempre es positivo variando de cero a uno ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) y depende principalmente de la frecuencia, ángulo de incidencia del sonido, tipo de campo sonoro (difuso, ondas planas, etc.), densidad, espesor y estructura interna del material; por ello se calculan en cámaras reverberantes y el resultado se considera que es un valor medio para todos los ángulos de incidencia. Este coeficiente se expresa en  $m^2$  o en Sabinos.

Un único número de absorción, llamado ***Coficiente de Absorción de ruido o NRC*** por sus siglas en inglés (Noise Reduction Coefficient), se usa comercialmente para comparación y análisis de los materiales, y está definido como la media aritmética de los coeficientes de absorción, en las bandas de octava de 250, 500, 1.000 y 2.000 Hz.

### 2.8.5.2 Espesor del material de absorción acústica

El espesor del material de absorción deber ser escogido en función de la componente más baja de la frecuencia del ruido, de modo de contener la primera media longitud de onda, donde la velocidad de partículas es máxima. Entonces,

$$\lambda \geq \frac{c}{2f}$$

Donde:

c: es la velocidad de propagación de sonido en el aire

Ejemplo:

Para atenuar una frecuencia de 100 Hz sería necesario un espesor de material de:

$$\lambda = \frac{340}{(2)(100)} = 1.7m$$

El valor encontrado no es práctico, de modo que se recomienda alejar el material de la pared a una distancia “d” alrededor de un cuarto de longitud de onda y usar un espesor del material, también alrededor de un cuarto de longitud de onda.

$$\lambda = d = \frac{c}{4f} \quad ; \quad \lambda = \frac{340}{(4)(100)} = 0.85m$$

El coeficiente de absorción aumenta en las bajas frecuencias para materiales más espesos y densos.

### 2.8.5.3 Tipos de materiales de absorción acústica

Los tres tipos de materiales de absorción acústica más usados son:

#### **Espuma de polímeros**

La espuma de polímeros con poros abiertos es un excelente material de absorción. Por ser un material fibroso, no existen erosiones (separaciones de fibras) en presencia de vibraciones y/o flujo de fluidos. Sin embargo, debido a los poros abiertos, puede existir la contaminación con aceite u otras impurezas que tienen a bloquear los orificios con el pasar del tiempo. Otra característica indeseable es la inflamabilidad de las espumas, siendo necesario usar aditivos retardantes de fuego, que tienen como consecuencia reducir las características mecánicas y/o acústicas, además de la disminución de la vida útil del material. Otra característica indeseable es la emisión de gases tóxicos en altas temperaturas que ocurren por incendios, siendo el rango normal de temperatura el uso de espumas con retardantes, entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **Lana de Vidrio**

La lana de vidrio es un material que existe bajo muchas formas en términos de disponibilidad comercial: paneles, mantas, fieltros o aplicaciones por chorro.

Sus propiedades acústicas son bien conocidas y previsibles. Usualmente los diámetros de las fibras pueden variar de 2 a 15 mm y la densidad aparente de los fieltros, mantas y paneles es de 10 a 100  $\text{kg/m}^3$ . Para mejorar la resistencias a las vibraciones y flujo de fluidos puede usarse un proceso de sellado con resina. Algunas de sus cualidades se detallan a continuación:

- No propagan llama
- Poca emisión de olores
- Resistentes a plagas
- Se instalan fácilmente para llenar sitios difíciles
- Resistentes a hongos
- Reducen tiempos de instalación
- Fáciles y seguros de transportar y almacenar
- Fáciles de cortar y manejar
- No son abrasivos
- No son tóxicos
- No contaminan el ambiente



**Ilustración 2-10 Manta de lana de vidrio sin recubrimiento<sup>14</sup>**

### **Lana de Roca**

La lana de roca se obtiene por la fusión de diversos tipos de roca y/o escoria a una temperatura cercana de 1.500 °C, para la obtención de fibras que son posteriormente aglutinadas con una resina para formar una manta o panel. Este material es considerado incombustible.

---

<sup>14</sup> CONSTRUNARIO. *Sistemas de Aislamiento* [en línea] <<http://www.construnario.com/diccionario/swf/27159/cat%C3%A1logo%20t%C3%A9cnico/6%20%20sistemas%20complementarios%20integrados/sistemas%20de%20aislamiento.pdf>> [Consulta: 01 de mayo de 2011]

Los materiales fibrosos exigen protección pues las fibras son frágiles, mientras que los porosos exigen ser sellados por ser fácilmente contaminables.

### 2.8.6 Absorción acústica total de un recinto:

La absorción acústica total que existe en el interior de un recinto, viene dada por la expresión:

**Ecuación 2-17**

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + S_n\alpha_n$$

Donde:

$S_1$  : Superficie interior del recinto ocupada por el material 1.

$\alpha_1$  : coeficiente de absorción del material 1.

#### 2.8.6.1 Constante de Cerramiento (R):

Define la reducción del nivel de presión acústica en el campo reverberado, en el interior de un recinto. Está dada en función del área absorbente del local; y será mayor (mayor reducción acústica) a mayor absorción acústica. Está dada por la siguiente expresión:

**Ecuación 2-18**

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\alpha} \quad \bar{\alpha} = \sum \frac{S_1\alpha_1}{S}$$

Donde S: superficie total de todos los materiales del recinto

**2.8.6.2 Propagación del sonido en el interior de un recinto cerrado**

De acuerdo con lo expuesto, el campo sonoro se determina a partir, tanto de la potencia acústica de la fuente, así como de las propiedades reflectantes de las superficies del recinto, y está dado por la siguiente expresión:

**Ecuación 2-19**

$$NPS = NWS + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

Donde:

Q: factor de Direccionalidad

**2.8.6.3 Factor de direccionalidad (Q):**

Es la medida del grado en que la energía sonora se concentra en una determinada dirección del espacio. Los valores teóricos más usuales de Q son 1,2,4 y 8.

Si la fuente sonora está suspendida en el espacio abierto, sin reflexiones, radiará su energía en todas las direcciones. Así, su directividad esférica es total y  $Q=1$ .

Si está en el suelo, todo el ruido se radiará a través de una semiesfera (sin considerar la energía absorbida por el suelo), con lo que la densidad de energía acústica será del doble, y  $Q=2$ . Igualmente, si la fuente sonora está contra una pared,  $Q=4$ , y si está en una esquina será  $Q=8$ .

Tal como se aprecia en la siguiente ilustración:

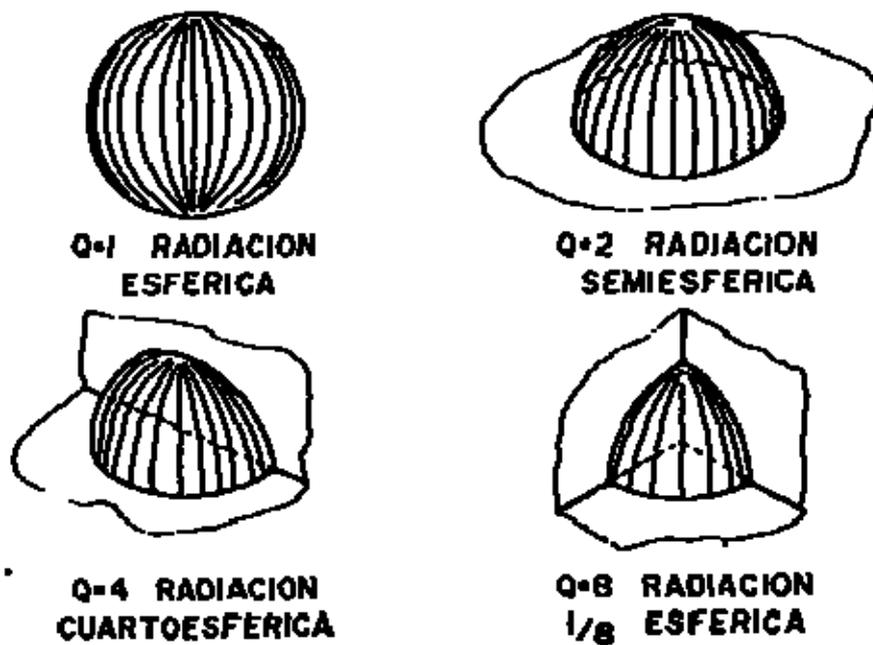


Ilustración 2-11 Factor de direccionalidad de acuerdo a ubicación de la maquinaria<sup>15</sup>

<sup>15</sup> GOOGLE Imágenes. Factor de Directividad [en línea] <http://www.google.com/imgres=http://www.Hispanic.com/foros/tan-cerca-monitores>. [consulta: 01 mayo 2011]

## 2.9 EVALUACIÓN DEL RUIDO-DESCRIPTORES

La cuantificación de los niveles de ruido constituye la base para la adopción de medidas que tiendan a disminuir su efecto. Sólo puede conocerse a profundidad los fenómenos medibles.

La presión sonora es la magnitud más fácil de cuantificar, efectuándose dicha operación, generalmente con un instrumento llamado sonómetro. Los principales descriptores de ruido se detallan a continuación:

### 2.9.1 Nivel de Presión Continuo Equivalente ( $NPS_{eq}$ ):

Expresa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo, es decir, representa el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido, durante el mismo intervalo de tiempo. El nivel de presión sonora equivalente debe ir acompañado siempre de la indicación del período de tiempo al que se refiere. Se expresa  $NPS_{eq}(T)$  que indica la utilización de la red de ponderación A, y su formulación matemática es:

**Ecuación 2-20**

$$NPS_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 dt$$

Donde:

P = presión sonora instantánea

Po = presión de referencia 20 μ

T= tiempo total de medida

En la práctica el  $NPS_{eq}$  es medido en la escala de ponderación (A) y se expresa como  $NPS_{eq}(A)$  y su cálculo se realiza sumando “n” niveles de presión sonora “Psi” emitidos en los intervalos de tiempo “ti”, mediante la siguiente expresión:

**Ecuación 2-21**

$$NPS_{eq}(A) = 10 \log \frac{1}{T} \left( \sum 10^{\frac{NPS}{10}} * t_i \right)$$

Donde:

ti: periodos de tiempo

### 2.9.2 Nivel de exposición diario equivalente:

Se calcula mediante la expresión:

**Ecuación 2-22**

$$NPS_{eq;d} = NPS_{eq} + 10 \log \frac{T}{8}$$

Donde:

T: tiempo de exposición al ruido en horas/día

Si un trabajador se encuentra expuesto a distintos tipos de ruido, el nivel diario equivalente se calculará según la expresión:

**Ecuación 2-23**

$$NPS_{eq}; d = 10 \log \frac{1}{8} \sum \left( T_i * 10^{\frac{nps}{10}} \right)$$

Donde:

$T_i$  = tiempo de exposición a un tipo de ruido en horas por día

**2.9.3 Tiempo de exposición máximo permitido:**

Cuando se requiere establecer cuál es el tiempo máximo que un trabajador podría permanecer expuesto a un nivel de ruido superior al límite permisible de 85 dB(A) sin equipo de protección personal, se aplica la siguiente expresión:

**Ecuación 2-24**

$$T = \frac{8}{2^{\frac{(nps-85)}{5}}}$$

Donde:

T: tiempo máximo permitido en horas

NPS: nivel de presión sonora medido en dB(A)

Es preciso mencionar que para niveles sonoros iguales o superiores a los 115 dBA, no se recomienda exponerse sin equipo de protección personal ni siquiera por escasos segundos.

## 2.10 EQUIPOS Y TÉCNICAS DE MEDIDA

La medición del nivel de ruido en un lugar de trabajo debe estar dirigida a los siguientes propósitos:

- Conocer el riesgo de exposición al ruido.
- Establecer las medidas de control
- Comprobar la eficacia de controles.

### 2.10.1 Mediciones para determinación del riesgo

Para conocer el riesgo de exposición a ruido se deben realizar mediciones del nivel de presión sonora continuo equivalente  $NPS_{eq}$  en ponderación A dB(A) en el sitio de trabajo normalmente ocupado por el trabajador, a la altura del oído más expuesto, con el micrófono dirigido a cero grados con relación al eje del oído.

El número de puntos a medir para exposición ocupacional se determinará de la siguiente manera:

- Para oficios o grupos homogéneos el número de puntos a medir será una muestra estadística con un margen de error del 10% y un límite de confianza del 90%.

- Para oficios distintos y grupos no homogéneos se harán mediciones a todos los oficios o personas expuestas.
- Para áreas u oficios con niveles de ruido variables, se tomarán dosimetrías que cubran como mínimo el 80% de la jornada en tiempo real.
- Cuando el ruido sea continuo, se tomarán dos mediciones por punto en la misma jornada y en tiempos diferentes.

Si los niveles son iguales o presentan diferencias menores a 0,5 dB(A), estas mediciones se considerarán como aceptables. Si las dos mediciones son diferentes con un nivel menor de 2 dB(A), se deben realizar tres mediciones por punto y obtener el promedio aritmético.

Cuando se presentan diferencias mayores a 2 dB (A) se deben realizar dosimetrías personales.

Para el análisis de frecuencia se escogerán entre tres o cuatro puntos de mayor nivel de presión sonora y en éstos se hará el análisis en las bandas comprendidas entre 63 y 8,000 Hz en dB (Lin).

En presencia de operaciones con ciclos, la duración de la medición se ajustará a las características del equipo. Para operaciones con ciclos variables, la duración de la medición incluirá la secuencia completa de todos los ciclos para tales casos será necesario el empleo de dosímetros personales.

### **2.10.2 Mediciones para determinación de métodos de control o comprobación de sistemas existentes**

En evaluaciones para la aplicación de métodos de control o la comprobación de existentes, las mediciones se realizarán en sitios cercanos a las fuentes generadoras con lecturas en varios puntos y desplazamiento del micrófono alrededor de la fuente emisora.

El número de puntos a medir en maquinaria o equipos será el siguiente:

- Cuatro puntos mínimos alrededor de los ejes de la fuente emisora, con lecturas por duplicado en cada punto preferiblemente en horario o días diferentes, se podrán medir puntos complementarios distribuidos alrededor de la fuente.
- El número de mediciones deberá ser mayor cuando las mediciones se realicen en fuentes con emisión de ruido fluctuante y/o cuando en un mismo sitio se encuentren amplias variaciones de los niveles de presión sonora.
- Los sitios de medición estarán localizados a una distancia de la fuente no inferior a 0,25 metros, preferiblemente entre 1 metro y 4 veces la longitud de la mayor dimensión de la fuente emisora.

### 2.10.3 Equipos de medición

Teniendo en cuenta el objetivo de la medición y las características del sonido se selecciona el o los equipos necesarios para su realización. En la siguiente tabla se presentan algunos equipos y sus usos más frecuentes.

**Tabla 2-4 Tipos de instrumentos para evaluación de ruido**

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>TIPO DE MEDIDA</b>	<b>USO</b>
Sonómetro	Nivel de presión sonora para los diferentes tipos de ruido en la escala de atenuación requerida.	Evaluación de ruidos continuos e intermitentes estables, durante la jornada del trabajo.
Sonómetro y analizador de frecuencias integrados	Distribución de intensidades en el espectro de frecuencias. Nivel de presión sonora en la escala de atenuación requerida.	Los anteriores Espectrograma de cualquier fuente sonora. Establecer métodos de control.
Dosímetro	Nivel de presión sonora equivalente para la jornada de trabajo o parte de ella.	Establecer exposiciones de los trabajadores a ruidos variables durante la jornada de trabajo.

### 3. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

#### 3.1 ANTECEDENTES

Previo a la evaluación de los niveles de ruido, se realizó un recorrido de reconocimiento en la planta actual de la empresa POFASA para obtener información acerca del proceso productivo, la maquinaria utilizada y el número de trabajadores que laboran en cada una de las fases del proceso.

De igual forma durante esta visita se observó el tipo de materiales de construcción de cada una de las áreas de la planta actual para determinar el comportamiento acústico de las instalaciones.

El recorrido se realizó en orden inverso al proceso de producción, siguiendo las recomendaciones de las Guías de Buenas Prácticas de Manufactura que se encuentran implementadas en la empresa, y que buscan evitar la contaminación del producto final, iniciando por tanto la visita primero a la zona “limpia” de la planta, en donde se realizan los subprocesos con el ave muerta y desplumada; para finalmente pasar a la zona “sucia” de la planta, denominada de esta forma por la presencia de plumas, heces y sangre por los subprocesos desarrollados con el ave viva.

En las tablas 3.1 y 3.2 se resumen los subprocesos que se realizan tanto de la zona “limpia” como de la zona “sucia” de la planta y el número de trabajadores que laboran en cada una de ellas.

**Tabla 3-1 Número de trabajadores en la “zona limpia”**

<b>ZONA “LIMPIA” DE LA PLANTA</b>		
<b>Subproceso</b>	<b>No. de Trabajadores</b>	
	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
Evisceración	7	17
Enfriado y escurrido*	2	-
Clasificación y empaque	11	16
Almacenamiento, despacho y transporte final.	6	-
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>33</b>

\*Proceso automatizado

**Tabla 3-2 Número de trabajadores en la “Zona Sucia”**

<b>ZONA “SUCIA” DE LA PLANTA</b>		
<b>Subproceso</b>	<b>No. de Trabajadores</b>	
	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
Colgado de pollo vivo	7	-
Aturdido, sacrificio y desangre	-	1
Escaldado*	0	0
Pelado de plumas	1	1
Corte y pelado de patas	1	-
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>2</b>

\*Proceso automatizado

### 3.1.1 Descripción del proceso

El proceso de faenamiento de pollos, se mostró gráficamente en la ilustración 1-1 del Capítulo 1. A continuación se describe brevemente cada uno de las fases:

#### **3.1.1.1 Colgado de Pollos:**

Una vez que se reciben las aves vivas de las granjas son colgadas de sus patas en un transportador aéreo, e inicia el proceso de faenamiento.

#### **3.1.1.2 Aturdido, Sacrificio y desangre:**

El transportador aéreo lleva al ave hasta un equipo conocido como “aturdidor” que le proporciona una descarga eléctrica al ave, y luego pasan hacia la zona de sacrificio y desangre donde se encuentra la “matarife” que es una empleada que se encarga de realizar un corte en la yugular del ave, para que se desangre y muera.

#### **3.1.1.3 Escaldado:**

Las aves avanzan un trayecto en el transportador aéreo para luego ingresar a otra zona dentro de la planta, y caer en la “escaldadora” que es una especie de olla gigante con agua caliente, en donde se busca abrir los poros del animal, para facilitar el proceso de desplume.

#### **3.1.1.4 Pelado de Plumas:**

Al salir de la escaldadora, el ave ingresa a la “peladora”. Esta es una máquina que mediante una especie de rodillos que giran a velocidad va desplumando al ave. Esta máquina genera altos niveles de ruido.

Al final de esta línea se encuentra un empleado, que realiza un control de calidad, revisando que las aves se encuentren totalmente peladas. Los animales siguen colgados en la banda transportadora mientras se realiza esta tarea.

#### **3.1.1.5 Corte y Pelado de patas**

El ave ya pelada pasa por una especie de cuchilla que le corta las patas. El ave cae a unas bandejas e ingresa a la “zona limpia” de la planta para continuar con el proceso de evisceración.

Las patas caen a una máquina peladora, y luego caen en bandejas para que trabajadores corten manualmente el dedo pulgar.

#### **3.1.1.6 Evisceración**

El pollo pelado y sin patas ingresa a la línea de evisceración, donde por medio de una pistola neumática que se coloca en el ano del animal, se extrae el contenido fecal de los intestinos. Luego el ave sigue avanzando por el transportador aéreo en donde los trabajadores se encargan de extraer de forma manual las vísceras, intestinos, y molleja del ave, con el uso de cuchillos.

#### **3.1.1.7 Enfriado y escurrido**

El ave se suelta finalmente del transportador aéreo para caer en las máquinas conocidas como Chillers, que son una especie de bandejas grandes que contienen agua helada para iniciar una cadena de frío que preserve al pollo, hasta su empaque y distribución final.

### **3.1.1.8 Clasificación y empaque**

En esta parte del proceso los empleados realizan una clasificación manual de los pollos y los van empaquetando en fundas. Este proceso se realiza de forma manual.

### **3.1.1.9 Almacenamiento, despacho y transporte final**

El producto empaquetado es ingresado a un cuarto frío, hasta ser despachado a las cadenas de supermercados que expenden finalmente el producto.

Durante el recorrido se pudo evidenciar la presencia constante de ruido, que impide a los trabajadores o visitantes poder comunicarse en un tono de voz normal. Los niveles más fuertes se percibieron en la sala de “pelado” y hacia las zonas de “sacrificio y desangre de pollos” y la zona de “colgado de pollos vivos” puesto que en las instalaciones actuales las divisiones entre estas dos áreas no son mediante muros o paredes completas, por lo que el ruido se propaga con facilidad hacia esas zonas.

La línea de evisceración en la “zona limpia” de la planta también se ve afectada por el ruido producido por la “peladora”, puesto que se encuentra ubicada junto al muro que divide la zona “sucia” de la zona “limpia” de la planta.

Todos los trabajadores de la línea de evisceración utilizan tapones auditivos permanentemente, y dos trabajadores que se encuentran cerca de las aberturas que permiten el ingreso de los pollos desde el área de pelado a la línea de evisceración utilizan orejeras.

### 3.1.2 Descripción de las Instalaciones de la planta actual

La planta actual de la empresa está construida con los siguientes materiales:

- Techo de Steel Panel: que son láminas de aluminio.
- Pisos de cemento con recubrimiento de material epóxico.
- Paredes de bloque enlucido y pintado.

Como se muestra en la tabla adjunta, estos materiales tienen bajos coeficientes de absorción acústica, lo que implica que las ondas sonoras que se emiten son reflejadas casi en su totalidad por estos materiales, generándose un campo reverberante que tiende a aumentar el nivel de presión sonora que existe en el interior de la planta.

**Tabla 3-3 Coeficientes de Absorción acústica de los materiales de construcción de la planta**

Frecuencia en hz	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ACÚSTICA POR FRECUENCIAS							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Piso epóxico	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
Techo steel panel		0.13	0.09	0.09	0.09	0.11	0.11	
Pared de bloques pintados		0.1	0.09	0.08	0.09	0.1	0.04	

#### 3.1.2.1 Sala de pelado

La sala de pelado tiene muros a cada costado, que la separan de la “zona limpia” y del área de “sacrificio y desangre”; pero las paredes están construídas a media altura, por lo que existen grandes fugas de ruido.

Como se había indicado anteriormente, en esta sala se encuentra reunida la siguiente maquinaria:

- Escaldadora
- Peladora de pollos
- Escaldadora y cortadora de patas

Debido a la presencia de la escaldadora, la sala de pelado se caracteriza por la presencia constante de vapor de agua.

### **3.2 PROCESO DE EVALUACIÓN DE NIVELES DE RUIDO**

Puesto que en la visita de reconocimiento se pudo IDENTIFICAR que el ruido que afecta a diversas áreas de la planta actual de la empresa POFASA, proviene de la sala de pelado se procedió a planificar el proceso de evaluación de los niveles de ruido en dos fases:

- PRIMERA FASE de evaluación de los niveles de presión sonora en la “zona limpia” de la planta y en la “zona sucia” para determinar la afectación que tiene el ruido generado por la peladora.
- SEGUNDA FASE para establecer el nivel de potencia sonora producida por la “peladora” a partir de las mediciones del nivel de presión sonora equivalente en dB, en puntos cercanos a la misma.

### 3.2.1 Fase Uno: Mediciones en las salas laterales contiguas a la sala de pelado

Se procedió a evaluar el nivel de presión sonora equivalente en dB(A), en el interior de la “zona limpia”, con operación normal de toda la maquinaria. Estas mediciones se realizaron utilizando un sonómetro integrador marca Quest modelo 2900 con su filtro de bandas de octava. Las mediciones se realizaron programando el sonómetro en respuesta lenta, en filtro de ponderación “A”, evaluando en diferentes puntos a lo largo de la línea de evisceración donde se encuentra ubicado el personal, por un lapso de 10 minutos.

Durante las mediciones se pudo establecer que los empleados que ocupan los puestos al inicio de la línea de evisceración, en el colgado de pollos pelados, así como los trabajadores que realizan los cortes manuales en las patas de los pollos, se encuentran expuestos a niveles de ruido más elevados que el resto del personal de la línea de evisceración, debido a que están ubicados junto al agujero que existe en la pared divisoria entre la sala de “pelado” y la sala de evisceración, por donde ingresa el producto.

Existió la oportunidad de evaluar el nivel de presión sonora equivalente en dB(A), en el interior de la “zona limpia” junto a la línea de evisceración, durante la pausa que realizó el personal para el desayuno y en donde la peladora se encontraba parada, pero seguía encendida la banda transportadora. Este proceso sirvió para comprobar que los altos niveles de ruido que se perciben durante el proceso provienen de la máquina peladora.

Mediante una correcta aislación de la sala de pelado se podría disminuir los niveles de exposición a ruido del personal que labora en las salas aledañas.

También se evaluó los niveles de ruido que llegan a la sala de clasificación y empaque del producto final, en donde se encontraron niveles inferiores a los 85 dB(A).

### **3.2.2 Fase Dos: Evaluación de la potencia sonora de la peladora**

Puesto que la presión sonora es una magnitud que varía de acuerdo a la distancia a la cual se mide el ruido generado y, a las condiciones de absorción y transmisión del recinto donde se encuentra la fuente, se necesita conocer la potencia sonora de la maquinaria en estudio, que es una característica intrínseca del equipo y no depende del lugar donde se halle, para realizar las proyecciones del comportamiento de ruido en la nueva planta.

Para obtener este dato, se procedió a realizar mediciones alrededor de los ejes de la “peladora” a una distancia comprendida entre 1 y 1,5 metros, con lecturas por duplicado en cada punto, en horario y días diferentes.

En cada punto se procedió a evaluar por un lapso de diez minutos el nivel de presión sonora equivalente en dB lineales y en las frecuencias comprendidas entre los 63 a 8,000 hercios, utilizando el filtro de bandas de octava.

Los datos obtenidos en cada punto fueron finalmente promediados aritméticamente, para obtener un valor final de presión sonora en decibeles lineales para cada frecuencia.

Con los datos antes obtenidos se procedió a calcular el Nivel de Potencia Sonora de la fuente, despejando en la ecuación 2.4 el dato de interés.

### 3.2 PROYECCIÓN DE LOS NIVELES A LA NUEVA PLANTA

Para la proyección de los niveles de presión sonora en la nueva planta se utilizó dos datos fundamentales: la potencia sonora de la fuente calculada anteriormente y la distancia en metros desde la peladora hacia la línea de evisceración y de colgado de pollos vivos; información tomada de los planos del proyecto de la nueva planta.

En cuanto al dato de la potencia sonora de la fuente, utilizado para las proyecciones, se consideró el incremento de una máquina peladora adicional, de similares características de la actual. Para realizar la duplicación de potencia y obtener el incremento en el nivel de presión sonora total en la sala se realiza una suma logarítmica, cuyos resultados se resumen más fácilmente en la siguiente tabla:

**Tabla 3-4 Nivel de Presión sonora por adición de la potencia de varias fuentes**

<b>Potencia de la fuente</b>	<b>Nivel de presión sonora en dB</b>	<b>Aumento de Ruidosidad</b>
1	X	Referencia
2	X+3	Apenas perceptible
3	X+5	Aumento
5	X+7	50% más ruidoso
10	X+10	Dos veces más ruidoso
40	X+16	Tres veces más ruidoso
100	X+20	Cuatro veces más ruidoso

Aplicando la ecuación 2.19 de propagación del sonido en recintos cerrados, se obtuvo los niveles de presión sonora que llegarían a las salas de evisceración y de colgado de pollos vivos, si no existiese una pared de por medio en la transmisión del sonido. Y en base a estos datos obtenidos se determinaron las características de aislamiento acústico que deberían brindar las paredes que rodeen a la “sala de pelado” en la nueva planta.

### **3.3 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL**

Tanto en la legislación ecuatoriana, como en la bibliografía en prevención de riesgos ocupacionales, se indica que el control de los mismos se debe realizar siguiendo el siguiente orden de efectividad:

- En la fuente generadora
- En la vía de transmisión de la onda
- En la persona expuesta

En el presente estudio se procedió a identificar las posibles medidas de control del ruido siguiendo el esquema antes descrito. Se identificó como fuente crítica a la “peladora” que es la que genera los problemas de exposición de los empleados a niveles de ruido sobre los 85 dB(A).

#### **3.3.1 Evaluación de medidas de control en la fuente**

Puesto que la fuente puntual de estudio es parte vital del proceso de producción; que no es factible plantear un cambio de la maquinaria utilizada por la empresa, por los altos valores de inversión que representa; las medidas de control que se pueden aplicar en la fuente están enfocadas a labores de mantenimiento rutinario y preventivo, para garantizar que el equipo funcione de manera apropiada y que no existan aspectos que puedan incrementar los niveles de ruido.

### 3.3.2 Evaluación de medidas de control en la vía de transmisión

Debido a que hay 37 trabajadores que se encuentran expuestos al ruido generado por la peladora, se determinó la necesidad de evaluar medidas de control en la vía de transmisión.

Inicialmente se analizó, la posibilidad de acondicionamiento acústico de la sala de pelado, mediante la colocación de materiales absorbentes de ruido sobre la superficie de las paredes, como una medida para controlar y disminuir la reflexión de las ondas sonoras, y por ende disminuir el campo reverberante hacia los dos trabajadores que permanecen habitualmente en esta sala, realizando las labores de control de calidad del pelado.

Los materiales con propiedades de absorción acústica que existen en el mercado: lanas minerales y espumas no están diseñados para estar en contacto directo con humedad y por su estructura porosa tienden a acumular partículas de polvo y residuos que se convertirían en focos de proliferación de virus y bacterias durante el proceso de pelado de pollos. Por lo que se descartó la aplicación de esta medida para el control de ruido en la vía de transmisión directa hacia los dos trabajadores que permanecen dentro de la sala de pelado.

Se procedió por tanto a diseñar y evaluar medidas para mejorar el aislamiento acústico de la sala de pelado y de esta forma disminuir la transmisión de ruido hacia las salas laterales vecinas.

Para lograr el objetivo de aislamiento acústico, se aplicaron modelos matemáticos para determinar los resultados en la disminución de la transmisión del ruido que podrían brindar los siguientes tipos de paredes:

- Construcción de paredes simples de altura piso-techo.
- Construcción de paredes dobles de diferente masa, con cámara de aire.
- Construcción de paredes dobles de diferente masa con una cavidad rellena de lana de vidrio.

De igual forma se analizó el impacto que tiene en el aislamiento acústico la presencia de agujeros en las paredes para el paso de las bandas transportadoras.

Finalmente se compararon los resultados obtenidos en base a los beneficios que pueden proporcionar desde el punto de vista del aislamiento acústico deseado, y desde el punto de vista de inversión para la empresa, y las recomendaciones para la elección de la mejor alternativa.

## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación de ruido realizada en la planta actual de POFASA, así como la proyección de los datos para determinar el comportamiento en la nueva planta, y el diseño de los controles en el medio de transmisión propuestos.

### 4.1 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES EN LA PLANTA ACTUAL

En la primera fase de evaluación realizada en la planta actual de la empresa POFASA, se procedió a determinar el nivel de presión sonora en dB(A) que existe en un día normal de operación con toda la maquinaria funcionando en las zonas vecinas a la sala de pelado. Se pudo establecer que el ruido que se genera en la planta es de tipo continuo, es decir no existen fluctuaciones rápidas o repentinas mayores a 5 dB (A).

Hacia el lado derecho se encuentran los subprocesos de sacrificio y desangre, y el colgado de pollos vivos. Y hacia el lado izquierdo se encuentra la línea de evisceración.

Los niveles encontrados durante las mediciones se resumen en las tablas que se muestran a continuación:

**Tabla 4-1 Niveles de Presión Sonora Equivalente en dB(A) medidos en la línea de evisceración**

<b>Mediciones en "zona limpia" a lo largo de la línea de evisceración</b>			
<b>f (Hz)</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>
63	54,6	53,8	54,2
125	63,7	63,8	65,1
250	76,5	75,3	76,7
500	85,8	85,1	85,4
1.000	84,2	84,1	84
2.000	79,1	79,3	79,2
4.000	74,9	75,1	76
8.000	70	71,1	72,7
<b>NPS eq dB(A)</b>	<b>89,1</b>	<b>88,7</b>	<b>89,0</b>
<b>NPS eq dB(A) línea de evisceración</b>			<b>88,9</b>

- Punto 1:** Final línea evisceración-mollejas
- Punto 2:** Lado izquierdo-centro de la línea
- Punto 3:** Lado derecho- tras succión cloaca

Durante las mediciones efectuadas a lo largo de la línea de evisceración, se pudo establecer que existen niveles más altos en los puestos que se encuentran ubicados junto al agujero que existe en la pared y que permite el ingreso del producto desde la sala de pelado hasta la línea de evisceración.

**Tabla 4-2 NPSeq dB (A) medidos en los puestos afectados por las fugas acústicas**

<b>Mediciones en "zona limpia"</b>		
<b>Puestos cercanos a la zona de ingreso de pollos pelados</b>		
<b>f (Hz)</b>	<b>Punto 4</b>	<b>Punto 5</b>
63	54,7	57,2
125	66,7	68,7
250	77,6	76,0
500	88,7	88,3
1.000	86,4	85,9
2.000	81,8	80,6
4.000	78,0	75,9
8.000	73,9	71,3
<b>NPSeq dB(A)</b>	<b>91,7</b>	<b>91,1</b>
<b>NPSeq dB(A) área</b>	<b>91,4</b>	

**Punto 4:** Inicio línea evisceración- colgado de pollo

**Punto 5:** Zona de corte manual de patas

Con lo que se concluyó, que la fuga de ruido que se genera a consecuencia del agujero en la pared desde la sala de pelado, aumenta en aproximadamente 3 dB(A) los niveles de exposición de los trabajadores de la línea de evisceración.

Hacia el lado derecho de la sala de pelado se encuentra la zona de sacrificio y desangre y el área de colgado de pollos vivos, donde inicia el proceso productivo. Los niveles encontrados en estas áreas durante la evaluación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4-3 NPSeq dB(A) medidos en la “zona sucia” de la planta**

<b>Niveles de ruido en "zona sucia" fuera de la sala de pelado</b>		
<b>f (Hz)</b>	<b>Desangre y sacrificio</b>	<b>Colgado de Pollos Vivos</b>
63	55,5	51,7
125	65,3	64,1
250	81,5	79,5
500	94,2	91
1.000	92,3	87,4
2.000	86,9	83
4.000	82,6	78,5
8.000	77,9	71,3
<b>NPSeq dB(A)</b>	<b>97,2</b>	<b>93,4</b>

#### 4.1.1 Resultados de las evaluaciones sin operación de la “peladora”

Existió la oportunidad de evaluar los niveles de ruido en el interior de la “zona limpia” junto a la línea de evisceración, durante la pausa que realizó el personal para el desayuno, y en donde la peladora dejó de funcionar.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4-4 y sirvieron para establecer que la fuente crítica generadora de ruido es la “peladora”.

Tabla 4-4 NPS eq dB(A) medidos en el área de evisceración sin operación de la peladora y con toda la planta operando

Niveles de ruido en "zona limpia" junto línea de evisceración		
f (Hz)	toda planta operando	Sin peladora
63	54,2	52,1
125	64,2	61
250	76,2	66,6
500	85,4	74,4
1.000	84,1	76,3
2.000	79,2	75,2
4.000	75,3	72
8.000	71,3	64,6
<b>NPS eq dB(A)</b>	<b>88,9</b>	<b>81,1</b>

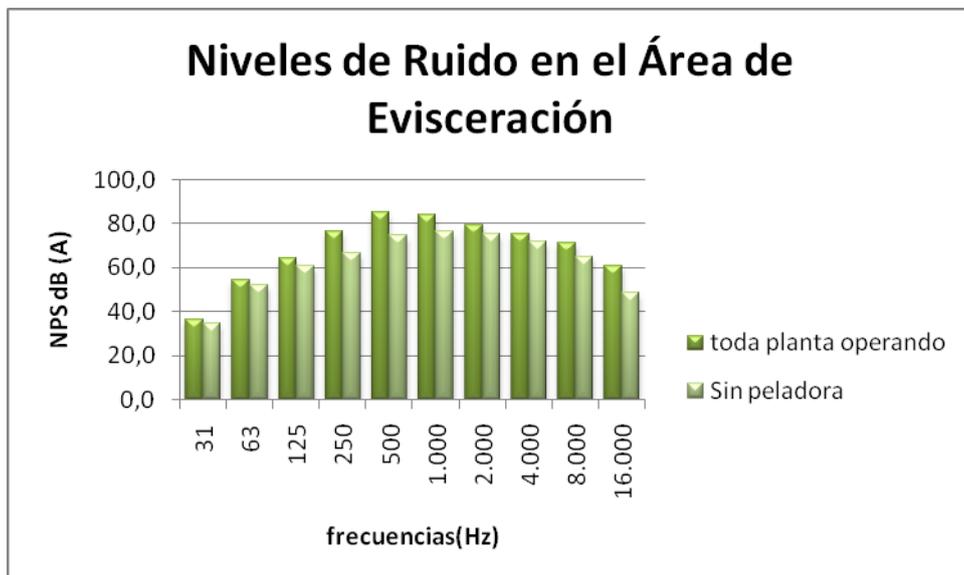


Ilustración 4-1 Comparación de los NPS eq dB(A) del área de evisceración sin operación de la peladora y con operación de toda la planta.

#### 4.1.2 Evaluación de los niveles de presión sonora emitidos por la fuente

Se midió el nivel de presión sonora equivalente en decibeles lineales y en las frecuencias comprendidas entre 63 a 8,000 hertzios en varios puntos alrededor de los ejes de la “peladora”, a una distancia comprendida entre 1 y 1,5 metros, con lecturas por duplicado en cada punto, en horario y días diferentes, para obtener un número suficiente de datos que permitió calcular el nivel de potencia acústica de la máquina.

Los datos obtenidos se resumen en las siguientes tablas:

**Tabla 4-5 NPS<sub>eq</sub> (dB) medidos al pie de la peladora a 1,5 metros**

<b>f (Hz)</b>	<b>Día 1 8:00 AM</b>	<b>Día 2 10:15 AM</b>	<b>Promedio</b>
31	79.5	82.1	80.8
63	83.9	84.3	84.1
125	85.2	86	85.6
250	93.9	93.6	93.8
500	102	101.5	101.8
1,000	96.3	95.2	95.8
2,000	89.2	88.9	89.1
4,000	83.9	84.9	84.4
8,000	80.2	81.4	80.8
16,000	73.8	73.8	73.8
<b>NPS<sub>eq</sub> dB</b>	<b>103.9</b>	<b>103.4</b>	<b>103.6</b>

**Tabla 4-6 NPSeq (dB) medidos al costado derecho de la peladora a 1 metro**

<b>f (Hz)</b>	<b>Día 1 8:10 AM</b>	<b>Día 2 9:38 AM</b>	<b>Promedio</b>
31	79.9	80.9	80.4
63	83.3	85.4	84.4
125	86.6	88.4	87.5
250	96.6	97.2	96.9
500	102.9	105.2	104.1
1,000	98.5	99.4	99.0
2,000	91.7	93	92.4
4,000	86.1	87.9	87.0
8,000	81.4	83.5	82.5
16,000	74	77.9	76.0
<b>NPSeq dB</b>	<b>105.3</b>	<b>107.1</b>	<b>106.2</b>

**Tabla 4-7 NPSeq (dB) medidos al costado izquierdo de la peladora a 1,5 metros**

<b>f (Hz)</b>	<b>Día 1 8:20 AM</b>	<b>Día 2 9:55 AM</b>	<b>Promedio</b>
31	82	81.8	81.9
63	88.3	88.4	88.4
125	87.9	88.1	88.0
250	92.9	91.8	92.4
500	100.5	101	100.8
1,000	95.2	95.3	95.3
2,000	89.4	89.6	89.5
4,000	85.4	85.5	85.5
8,000	80.3	80.4	80.4
16,000	71.6	71.5	71.6
<b>NPSeq dB</b>	<b>102.8</b>	<b>103.1</b>	<b>103.0</b>

**Tabla 4-8 NPSeq (dB) medidos en la cabecera de la peladora a 1,5 metros**

<b>f (Hz)</b>	<b>Día 1 8:30 AM</b>	<b>Día 2 11:10 AM</b>	<b>Promedio</b>
31	81.2	81.5	81.4
63	83.7	82.9	83.3
125	88.6	88.7	88.7
250	95.9	94.9	95.4
500	103.2	103.3	103.3
1,000	97.7	97.5	97.6
2,000	91.2	90.9	91.1
4,000	85.5	85.3	85.4
8,000	81.1	81.2	81.2
16,000	73.6	73.4	73.5
<b>NPSeq dB</b>	<b>105.3</b>	<b>105.2</b>	<b>105.2</b>

Finalmente se procedió a calcular un promedio aritmético de los valores obtenidos a los cuatro costados de la máquina, para determinar un valor final de presión sonora en dB lineales en cada una de las frecuencias.

**Tabla 4-9 Resumen de niveles de presión sonora equivalentes (dB) de la peladora evaluados a los costados de la máquina.**

<b>f (Hz)</b>	<b>Punto 1 Pie de máquina- trabajador</b>	<b>Punto 2 costado derecho-pared desangre</b>	<b>Punto 3 costado izquierdo- pared evisceración</b>	<b>Punto 4 cabecera de máquina</b>	<b>Promedio</b>
31	80.8	80.4	81.9	81.4	<b>81.1</b>
63	84.1	84.4	88.4	83.3	<b>85.0</b>
125	85.6	87.5	88.0	88.7	<b>87.4</b>
250	93.8	96.9	92.4	95.4	<b>94.6</b>
500	101.8	104.1	100.8	103.3	<b>102.5</b>
1,000	95.8	99.0	95.3	97.6	<b>96.9</b>
2,000	89.1	92.4	89.5	91.1	<b>90.5</b>
4,000	84.4	87.0	85.5	85.4	<b>85.6</b>
8,000	80.8	82.5	80.4	81.2	<b>81.2</b>
16,000	73.8	76.0	71.6	73.5	<b>73.7</b>
<b>NPSeq dB</b>	<b>103.6</b>	<b>106.2</b>	<b>103.0</b>	<b>105.2</b>	<b>104.5</b>

Los niveles obtenidos en cada una de las frecuencias audibles, muestran que el ruido producido por la peladora tiene sus componentes más altos en las frecuencias medias y altas. Es información es muy importante para el análisis de las medidas de control, ya que la propagación del sonido en el aire y a través de los obstáculos depende del espectro de frecuencias del ruido.

El rango de conversación de las personas está en los 250 a 2000 hertzios, y el tener niveles de presión sonora altos en estas frecuencias provenientes de las fuentes, dificulta la comunicación entre las personas que ocupan las instalaciones.

## 4.2 PROYECCION DE LOS NIVELES A LA NUEVA PLANTA

### 4.2.1 Cálculo de la potencia acústica de la fuente

Para la proyección de niveles a la nueva planta se consideró la inclusión de una peladora adicional de similares características a la evaluada en la planta actual. Por lo que se procedió a duplicar los niveles de presión sonora obtenidos en la tabla 4.9, para finalmente calcular el nivel de potencia acústica de la fuente aplicando la ecuación 2.4 de propagación del sonido en campo libre.

**Tabla 4-10 Nivel de Potencia Sonora en dB proyectado, de dos peladoras**

f (Hz)	Nivel de Presión Sonora dB		NPS dB peladoras total	Nivel de Potencia Sonora NWS dB
	Peladora 1	Peladora 2		
31	81,1	81,1	84,1	95,1
63	85,0	85,0	88,0	99,0
125	87,4	87,4	90,4	101,4
250	94,6	94,6	97,6	108,6
500	102,5	102,5	105,5	116,5
1.000	96,9	96,9	99,9	110,9
2.000	90,5	90,5	93,5	104,5
4.000	85,6	85,6	88,6	99,6
8.000	81,2	81,2	84,2	95,2
16.000	73,7	73,7	76,7	87,7
<b>NPSeq dB</b>	<b>104,5</b>	<b>104,5</b>	<b>107,5</b>	<b>118,5</b>

#### 4.2.2 Propagación del sonido desde la sala de pelado

A partir del dato de potencia sonora de las fuentes, de las características acústicas del recinto donde se encontrará la maquinaria y de las distancias que existen hacia las salas contiguas, se pudo proyectar cuáles serán los niveles de presión sonora tanto en la sala de evisceración, como en la zona de colgado de pollos vivos, y en base a esta información determinar las características de aislamiento acústico que deben ofrecer las paredes de la sala de pelado.

Partiendo de las dimensiones que tendrán las paredes, pisos y techos de la sala de pelado en la nueva planta, de los coeficientes de absorción de ruido de los materiales empleados para su construcción, se procedió a calcular la constante de cerramiento  $R$ , según la ecuación 2.18.

Finalmente se aplicó la ecuación 2.19 de propagación del sonido en recintos cerrados para calcular los niveles de ruido que llegarían a las salas de evisceración y colgado de pollos vivos simulando que no existen paredes que actúen como barreras.

Tabla 4-11 Cálculo de la Constante de Cerramiento de la sala de pelado

AREA DE PAREDES SALA DE PELADO		
Altura m	Largo m	Área m <sup>2</sup>
5	8.5	42.5
5	8.5	42.5
5	27.85	139.25
5	27.85	139.25
		<b>363.5</b>

ÁREA DE PISO Y TECHO SALA DE PELADO		
Largo m	Ancho m	Área m <sup>2</sup>
27.9	8.5	<b>236.7</b>

**PISO EPÓXICO**

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
S1	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7
$\alpha$ 1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
S1 $\alpha$ 1	11.8	11.8	23.7	23.7	23.7	11.8	11.8	11.8

**TECHO STEEL PANEL**

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
S2	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7
$\alpha$ 2		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
S2 $\alpha$ 2	0.0	30.8	21.3	21.3	21.3	26.0	26.0	0.0

**PARED HORMIGON BLOQUES PINTADOS**

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
S3	363.5	363.5	363.5	363.5	363.5	363.5	363.5	363.5
$\alpha$ 3		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
S3 $\alpha$ 3	0.0	36.4	32.7	29.1	32.7	36.4	14.5	0.0

Área total sala 836.9 m<sup>2</sup>

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
$\sum S_i \alpha_i$	11.8	79.0	77.7	74.1	77.7	74.2	52.4	11.8
$\bar{\alpha}$	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
<b>R</b>	<b>12</b>	<b>87</b>	<b>86</b>	<b>81</b>	<b>86</b>	<b>81</b>	<b>56</b>	<b>12</b>

Donde:

S: superficie del material en m<sup>2</sup>.

$\alpha$ : coeficiente de absorción acústica del material

R: constante de Cerramiento (ecuación 2-18)

**Tabla 4-12 Proyección de niveles de presión sonora hacia la sala de evisceración**

distancia en metros desde la peladora a línea evisceración 5 m  
 Coeficiente de Direccionalidad Q 2

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	NPS eq
NWS db	99.0	101.4	108.6	116.5	110.9	104.5	99.6	95.2	
NPS db	94.3	88.6	95.9	103.9	98.1	91.9	88.5	90.5	106.2
Atenuación oído	-26.0	-16.0	-9.0	-3.0	0.0	1.0	1.0	-1.0	
NPS dbA	68.3	72.6	86.9	100.9	98.1	92.9	89.5	89.5	103.6

**Tabla 4-13 Proyección de niveles de presión sonora hacia la sala de colgado de pollos vivos**

distancia en metros desde la peladora a línea colgado pollos 8.5 m  
 Coeficiente de Direccionalidad Q 2

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	NPS eq
NWS db	99.0	101.4	108.6	116.5	110.9	104.5	99.6	95.2	
NPS db	94.3	88.3	95.5	103.6	97.8	91.6	88.2	90.5	105.9
Atenuación oído	-26.0	-16.0	-9.0	-3.0	0.0	1.0	1.0	-1.0	
NPS dbA	68.3	72.3	86.5	100.6	97.8	92.6	89.2	89.5	103.3

Donde:

NWS: Nivel Potencia Sonora

NPS: Nivel Potencia Sonora (Ecuación 2.19)

Las tablas 4.12 y 4.13 muestran la necesidad de contar con paredes en la sala de pelado que brinden una pérdida de transmisión de sonido global de al menos 30 (dB) para que los niveles en la línea de evisceración y colgado de pollos vivos estén bajo los 75 (dB).

A partir de esta información se procedió a analizar las diferentes alternativas de aislamiento acústico para la sala de pelado en la nueva planta.

### 4.3 DISEÑO DE SOLUCIONES

Para controlar la transmisión de ruido desde la sala de pelado hacia las salas vecinas, se debe mejorar el aislamiento acústico de las paredes laterales, para lo cual éstas deben ser construidas con altura de piso a techo, y no como las que se mantienen en la planta actual a media altura (3,8 metros).

Se evaluaron las siguientes alternativas de aislamiento acústico:

1. Diseño y cálculo del aislamiento acústico que proporcionarían paredes simples de altura piso techo.
2. Diseño y cálculo del aislamiento acústico que proporcionarían paredes dobles con masa de aire.
3. Diseño y cálculo del aislamiento que proporcionarían paredes dobles con lana de vidrio en el interior de la cámara.

Para el diseño de todas las opciones antes mencionadas, se consideró los espacios huecos mínimos para el paso de las bandas transportadoras, de acuerdo al siguiente detalle:

**Tabla 4-14 Dimensiones de las paredes laterales de la sala de pelado y de los espacios huecos para el paso de las bandas transportadoras**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Largo M</b>	<b>Alto M</b>	<b>Área Total m<sup>2</sup></b>
Pared izquierda limita con línea evisceración	27.85	5	<b>139.25</b>
Espacio hueco en pared evisceración para banda transportadora	0.8	1.4	<b>1.12</b>
Pared derecha limita con zona de sacrificio y desangre	27.85	5	<b>139.25</b>
Espacio hueco en pared sacrificio para ingreso pollo muerto	0.5	1.4	<b>0.7</b>
Espacio hueco en pared sacrificio para banda de retorno	0.5	0.5	<b>0.25</b>

#### **4.3.1 Diseño y cálculo del aislamiento acústico proporcionado por paredes simples**

La primera alternativa que se analizó fue mantener paredes simples como en la planta actual, pero con la mejora de aumentar su altura hasta el techo.

Desde el punto de vista de aislamiento acústico, el funcionamiento de las paredes simples depende directamente de la masa superficial de las mismas, y de la frecuencia del ruido que incide sobre ellas.

Por lo tanto conociendo la masa superficial del material que se empleará en la construcción de las paredes y la descomposición de la presión sonora que incide sobre las mismas en cada una de las frecuencias se puede predecir el comportamiento acústico que tendrá la pared.

Al valor obtenido mediante la aplicación de la ley de masas, se aplicó un factor de corrección por efecto de la frecuencia de coincidencia, como ya se detalló en el capítulo II Marco Teórico, numeral 2.8.3.1.

Tomando en cuenta lo mencionado, y considerando la construcción de una pared simple con bloques de hormigón de 15 cm de espesor con una masa superficial de  $100 \text{ Kg/m}^2$ , y una frecuencia crítica de 127 hertzios, se pueden obtener los siguientes valores de aislamiento acústico:

**Tabla 4-15 Pérdida de transmisión de ruido de una pared simple de bloque de hormigón de 15 cm de espesor**

		FRECUENCIAS HZ							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
Ecuación 2-9	Aislamiento acústico según la ley de masas (dB)	28,0	33,9	40,0	46,0	52,0	58,0	64,0	70,1
	Corrección a la ley de masas por frecuencia crítica	-15,0	-15,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0
	Pérdida por transmisión corregido en db de una pared simple de bloque de 15 cm	13,0	18,9	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,1

**Tabla 4-16 Proyección de los resultados de aislamiento acústico de una pared simple**

		FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	NPSeq
Tabla 4-12	NPSeq (dB) proyectados para la sala de evisceración antes del uso de pared simple	94,3	88,6	95,9	103,9	98,1	91,9	88,5	90,5	<b>106,2</b>
Tabla 4-15	Pérdida por transmisión en (dB) de pared simple de 15 cm	13,0	18,9	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,1	
	NPSeq (dB) final en sala de evisceración con uso de pared simple	81,4	69,7	65,9	67,9	56,1	43,9	34,4	30,4	<b>81,9</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPS (dBA) sonora en sala de evisceración	55,4	53,7	56,9	64,9	56,1	44,9	35,4	29,4	<b>66,7</b>

La tabla 4.15 muestra los niveles de presión sonora que se transmitirán desde la sala de pelado a la sala de evisceración con el uso de una pared simple completa, sin considerar la presencia de espacios huecos para el paso de la banda transportadora que reduce el aislamiento acústico.

#### **4.3.1.1 Cálculo de la disminución de aislamiento debido a la presencia de fugas acústicas.**

Las paredes laterales que conforman la sala de pelado tienen aberturas para el ingreso y salida de la banda transportadora, que constituyen sitios ideales para que se produzcan fugas acústicas y el aislamiento de la pared disminuya. En la pared del lado derecho que limita con la zona de sacrificio y desangre se encuentran dos agujeros, el uno para el ingreso de la banda transportadora con los pollos hacia la escaldadora, y el otro para la salida de la banda al finalizar el proceso.

En la pared lateral del lado izquierdo, que limita con la línea de evisceración se encuentra el espacio para la salida del pollo pelado al resto del proceso productivo.

En las tablas 4.17 y 4.18 que se muestran a continuación se presentan los resultados del cálculo de la pérdida de transmisión global mediante la aplicación de la ecuación 2.10, para el conjunto pared simple + agujero para banda transportadora.

**Tabla 4-17 Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas de la pared simple colindante con la línea de evisceración**

Área m <sup>2</sup>	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
Tabla 4-15 138,18	Pérdida de transmisión de ruido de una pared simple de bloque	13,0	18,9	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,1	
1,12	Agujero en la pared para el paso de la banda transportadora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Ecuación 2-10 <b>139,3</b>	<b>Pérdida de transmisión equivalente del conjunto</b>	<b>12,4</b>	<b>16,8</b>	<b>20,4</b>	<b>20,8</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,8</b>

**Tabla 4-18 Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas de la pared simple colindante con el área de colgado de pollos vivos**

Área m <sup>2</sup>	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
Tabla 4-15 138,35	Pérdida de transmisión de ruido de una pared simple de bloque	13,0	18,9	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,1	
0,95	Agujero en la pared para el paso de la banda transportadora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Ecuación 2-10 <b>139,3</b>	<b>Pérdida de transmisión equivalente del conjunto</b>	<b>12,5</b>	<b>17,1</b>	<b>21,1</b>	<b>21,5</b>	<b>21,6</b>	<b>21,7</b>	<b>21,7</b>	<b>21,7</b>	<b>21,5</b>

**Tabla 4-19 Proyección de Niveles de Presión Sonora Equivalentes que se transmitirían desde la sala de pelado hacia la sala de evisceración, considerando el aislamiento acústico del conjunto pared simple afectado por las fugas acústicas**

		FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	NPSeq
Tabla 4-12	NPSeq (dB) proyectados para la sala de evisceración antes del uso de pared simple	94,3	88,6	95,9	103,9	98,1	91,9	88,5	90,5	<b>106,2</b>
Tabla 4-17	Pérdida por transmisión en (dB) de pared simple + agujero para banda transportadora	12,4	16,8	20,4	20,8	20,9	20,9	20,9	20,9	
	NPSeq (dB) final en sala de evisceración con uso de pared simple + agujero para banda transportadora	82,0	71,8	75,4	83,1	77,2	71,0	67,5	69,6	<b>86,9</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPSeq (dBA) en sala de evisceración	56,0	55,8	66,4	80,1	77,2	72,0	68,5	68,6	<b>82,8</b>

**Tabla 4-20 Proyección de Niveles de Presión Sonora Equivalentes que se transmitirían desde la sala de pelado hacia la sala de sacrificio, considerando el aislamiento acústico del conjunto pared simple afectado por las fugas acústicas.**

		FRECUENCIAS HZ								NPSeq
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
Tabla 4-13	NPSeq (dB) proyectados para la sala de colgado de pollos vivos antes del uso de pared simple	94,3	88,3	95,5	103,6	97,8	91,6	88,2	90,5	<b>105,9</b>
Tabla 4-18	Pérdida por transmisión en (dB) de pared simple + agujero para banda transportadora	12,5	17,1	21,1	21,5	21,6	21,7	21,7	21,7	
	NPS (dB) transmitido hacia la sala de colgado de pollos	81,8	71,2	74,4	82,1	76,2	69,9	66,6	68,8	<b>86,2</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPS (dBA) sonora en sala de colgado de pollos vivos	55,8	55,2	65,4	79,1	76,2	70,9	67,6	67,8	<b>81,8</b>

Se pudo verificar que el aislamiento que podría brindar una pared simple, se reduce notablemente por la presencia de agujeros para el paso de bandas transportadoras.

Esta caída en los niveles de aislamiento, fue similar tanto para la pared del lado derecho como para la pared del lado izquierdo, y considerando que los niveles de presión sonora obtenidos en la proyección hacia las dos salas son similares, para los cálculos de las siguientes alternativas de control, se trabajó únicamente con una pared.

#### 4.3.2 Diseño y cálculo del aislamiento acústico proporcionado por paredes dobles

Se analizó los resultados de aislamiento acústico que podría brindar un sistema de paredes dobles compuesto por los siguientes elementos:

- Primera pared construida con bloque de hormigón de 15 cm de espesor + enlucido y/o baldosa.
- Segunda pared construida con bloque de hormigón de 10 cm de espesor + enlucido y/o baldosa.
- Separación de 8 cm entre las paredes que forman la cámara de aire.
- Los dos elementos montados sobre una base elástica de un espesor mínimo de 4 milímetros. **Espesor total del conjunto:** 33 cm + enlucido o baldosa

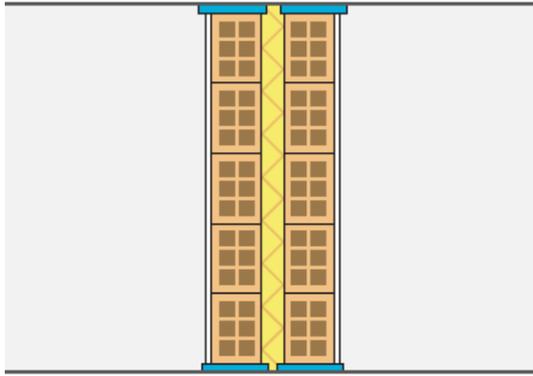


Ilustración 4-2 Ejemplo de un sistema de pared doble<sup>1</sup>

Para obtener los valores de aislamiento acústico de este tipo de paredes, se procedió a calcular en primer lugar las frecuencias críticas de este tipo de paredes mediante la aplicación de las ecuaciones 2-11 y 2-12.

Con los datos de las frecuencias de resonancia, y la frecuencia propia del sistema, se determinó el rango de frecuencias para la aplicación de la ecuación 2-13 o de la ecuación 2-14 para obtener la pérdida por transmisión de este tipo de paredes.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

---

<sup>1</sup> CONSTRUNARIO. *Sistemas de Aislamiento* [en línea] <<http://www.construnario.com/diccionario/swf/27159/cat%C3/sistemas%20de%20aislamiento.pdf>> [Consulta: 01 de mayo de 2011].

Tabla 4-21 Pérdida de transmisión de ruido por frecuencias de una pared doble + cámara de aire

Masa superficial Kg/m <sup>2</sup>	DESCRIPCION	Altura m	Largo m	ÁREA m <sup>2</sup>
100	Pared de hormigón de 15 cm	5	27,85	139,3
75	Pared de hormigón de 10 cm	5	27,85	139,3
	Espacio para banda transportadora	1,4	0,8	1,12

Separación capas 0,08 m  
K 0,1

Ecuación 2-12	<b>Frecuencia propia del sistema Fr</b>	22,3 hz
Ecuación 2-11	<b>Frecuencia de resonancia Fr1</b>	2.125 hz

		FRECUENCIAS HZ							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
Ecuación 2-9	TL(dB) de una pared de bloque de 15 cm según ley de masas	13,0	18,9	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,1
Ecuación 2-9	TL(dB) de una pared de bloque de 10 cm según ley de masas	10,5	16,4	27,5	33,5	39,5	45,5	51,5	57,6
	Pérdida por transmisión total del sistema de pared doble + cámara de aire	27,7	39,6	61,7	73,7	85,7	97,8	111,6	123,6

Ecuación 2-14

Ecuación 2-15

**Tabla 4-22 Proyección de Niveles de Presión Sonora Equivalentes que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico de un sistema de paredes dobles con cámara de aire**

		FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	NPSeq
Tabla 4-12	NPSeq (dB) proyectados para las salas laterales antes del uso de pared doble+ cámara de aire	94,3	88,6	95,9	103,9	98,1	91,9	88,5	90,5	<b>106,2</b>
Tabla 4-21	Pérdida por transmisión en (dB) del sistema de pared doble + cámara de aire	27,7	39,6	61,7	73,7	85,7	97,8	111,6	123,6	
	NPSeq (dB) final en salas laterales con uso de pared doble + cámara de aire	66,6	49,0	34,2	30,2	12,4	0,0	0,0	0,0	<b>66,7</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPS (dBA) sonora transmitido hacia las salas laterales	40,6	33,0	25,2	27,2	12,4	1,0	1,0	-1,0	<b>41,6</b>

### 4.3.2.1 Cálculo de la disminución de aislamiento de las paredes dobles debido a la presencia de fugas acústicas

El aislamiento que puede proporcionar un sistema de paredes dobles se ve reducido por la presencia de espacios huecos en las paredes que se constituyen en sitios propicios para fugas acústicas. A continuación se calcula este efecto por el paso de las bandas transportadoras:

**Tabla 4-23 Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas de un sistema de paredes dobles más cámara de aire**

Área m <sup>2</sup>	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
138,18	Pérdida por transmisión en (dB) del sistema de pared doble + cámara de aire	27,7	39,6	61,7	73,7	85,7	97,8	111,6	123,6	
1,12	Agujero en la pared para el paso de la banda transportadora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>139,3</b>	<b>Pérdida de transmisión equivalente del conjunto</b>	<b>20,1</b>	<b>20,9</b>							

Tabla 4-21

Ecuación 2-10

**Tabla 4-24 Proyección de Niveles de Presión Sonora Equivalentes que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico del conjunto de pared doble afectado por las fugas acústicas.**

		FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	NPSeq
Tabla 4-12	NPSeq (dB) proyectados para las salas laterales antes del uso de paredes dobles	94,3	88,6	95,9	103,9	98,1	91,9	88,5	90,5	<b>106,2</b>
Tabla 4-23	Pérdida por transmisión en (dB) de pared doble + agujero para banda transportadora	20,1	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	
	NPSeq (dB) final en salas laterales con uso de paredes dobles+ agujeros para banda transportadora	74,2	67,7	74,9	83,0	77,2	71,0	67,5	69,6	<b>85,3</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPS (dBA) sonora transmitido hacia las salas laterales	48,2	51,7	65,9	80,0	77,2	72,0	68,5	68,6	<b>82,7</b>

### **4.3.3 Diseño y cálculo del aislamiento acústico proporcionado por paredes dobles rellenas de material absorbente.**

La última alternativa analizada fue el uso de un sistema de paredes dobles con las mismas características de las señaladas en el numeral 4.3.2, pero incluyendo lana de vidrio en la cámara de aire.

La lana de vidrio es un material con propiedades absorbentes, que amortigua la resonancia que puede darse entre las paredes y evita o reduce la acumulación de sonido reverberante en la cavidad.

Para el cálculo del aislamiento que se puede alcanzar con este tipo de paredes se siguió la misma sistemática del cálculo en paredes dobles, con la diferencia de que se incluyeron los coeficientes de absorción acústica de la lana de vidrio que constan en la tabla 4-25.

Los resultados se muestran a continuación:

**Tabla 4-25 Coeficientes de absorción acústica de la lana de vidrio FRESCASA**

Frecuencias Hz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
<b>Coeficientes de Absorción de Ruido Lana de Vidrio Frescasa</b>	0,00	0,21	0,62	0,93	0,92	0,91	1,03	0,00

Masa superficial	DESCRIPCION	Altura m	Largo m	ÁREA m2
100	Pared de hormigón de 15 cm	5	27,85	<b>139,25</b>
75	Pared de hormigón de 10 cm	5	27,85	<b>139,25</b>
	Espacio para banda transportadora	1,4	0,8	<b>1,12</b>

Separación capas 0,08 m  
K 0,1

Ecuación 2-12	<b>Frecuencia propia del sistema Fr</b>	22,3 hz
Ecuación 2-11	<b>Frecuencia de resonancia Fr1</b>	2.125 hz

**Tabla 4-26 Pérdida de transmisión de ruido por frecuencias, de una pared doble + cámara de aire rellena de lana de vidrio**

		FRECUENCIAS HZ							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
Ecuación 2-9	Aislamiento acústico(dB) de una pared de bloque de 15 cm	13,0	18,9	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,1
Ecuación 2-9	Aislamiento acústico(dB) de una pared de bloque de 10 cm	10,5	16,4	27,5	33,5	39,5	45,5	51,5	57,6
	<b>Pérdida por transmisión total del sistema de pared doble + cámara de aire rellena de material absorbente</b>	<b>85,1</b>	<b>73,8</b>	<b>91,1</b>	<b>101,4</b>	<b>113,5</b>	<b>125,6</b>	<b>104,7</b>	<b>87,6</b>

Ecuación 2-14

Ecuación 2-14

**Tabla 4-27 Proyección de  $NPS_{eq}$  que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico de un sistema de paredes dobles + cámara de aire rellena de lana de vidrio.**

		FRECUENCIAS HZ								
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	$NPS_{eq}$
Tabla 4-12	$NPS_{eq}$ (dB) proyectados para las salas laterales antes del uso de paredes dobles	94,3	88,6	95,9	103,9	98,1	91,9	88,5	90,5	<b>106,2</b>
Tabla 4-26	Pérdida por transmisión total del sistema de pared doble + cámara de aire rellena de material absorbente	85,1	73,8	91,1	101,4	113,5	125,6	104,7	87,6	
	$NPS_{eq}$ (dB) final en salas laterales con uso de sistema de pared doble + cámara de aire rellena de material absorbente	9,2	14,8	4,7	2,5	0,0	0,0	0,0	2,9	<b>16,9</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPS (dBA) sonora transmitido hacia las salas laterales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,9	<b>9,6</b>

#### 4.3.3.1 Disminución del Aislamiento por fugas acústicas:

**Tabla 4-28 Reducción del Aislamiento acústico por presencia de fugas acústicas en el sistema de paredes dobles con lana de vidrio**

	Área m <sup>2</sup>	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIAS HZ							
			63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
Tabla 4-26	138,18	Pérdida por transmisión en (dB) del sistema de pared doble + cámara de aire rellena de material absorbente	85,1	73,8	91,1	101,4	113,5	125,6	104,7	87,6
	1,12	Agujero en la pared para el paso de la banda transportadora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ecuación 2-10	<b>139,3</b>	<b>Pérdida de transmisión equivalente del conjunto</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>	<b>20,9</b>

**Tabla 4-29 Proyección de Niveles de Presión Sonora Equivalentes que se transmitirían desde la sala de pelado hacia las salas laterales, considerando el aislamiento acústico del conjunto pared doble + cámara de aire afectado por las fugas acústicas**

		FRECUENCIAS HZ								NPSeq
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
Tabla 4-12	NPSeq (dB) proyectados para las salas laterales antes del uso de paredes dobles	94,3	88,6	95,9	103,9	98,1	91,9	88,5	90,5	<b>106,2</b>
Tabla 4-28	Pérdida por transmisión en (dB) de pared doble con lana de vidrio + agujero para banda transportadora	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	
	NPSeq (dB) final en salas laterales con uso de sistema de pared doble con material absorbente + agujeros para bandas transportadoras	73,4	67,7	74,9	83,0	77,2	71,0	67,5	69,6	<b>85,3</b>
	Atenuación del oído	-26,0	-16,0	-9,0	-3,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	
	NPS (dBA) sonora transmitido hacia la sala de evisceración	47,4	51,7	65,9	80,0	77,2	72,0	68,5	68,6	<b>82,7</b>

#### 4.3.4 Pérdida Total de Transmisión de Ruido de las alternativas analizadas:

**4-30 Pérdida de transmisión de ruido total de los diferentes tipos de paredes sin presencia de fugas acústicas**

	NPSeq (dB) transmitido desde la sala de pelado hacia las salas laterales		Pérdida de transmisión de ruido total en dB
	SIN PARED	CON PARED	
Pared Simple	106,2	81,9	<b>24,3</b>
Pared Doble	106,2	66,7	<b>39,5</b>
Pared doble rellena de lana de vidrio	106,2	19,1	<b>89,3</b>

**Tabla 4-31 Pérdida de transmisión de ruido total de los diferentes tipos de paredes considerando la afectación por fugas acústicas**

	NPSeq (dB) transmitido desde la sala de pelado hacia las salas laterales		Pérdida de transmisión de ruido total en dB
	SIN PARED	CON PARED	
Pared Simple	106,2	86,9	<b>19,3</b>
Pared Doble	106,2	85,3	<b>20,9</b>
Pared doble rellena de lana de vidrio	106,2	85,3	<b>20,9</b>

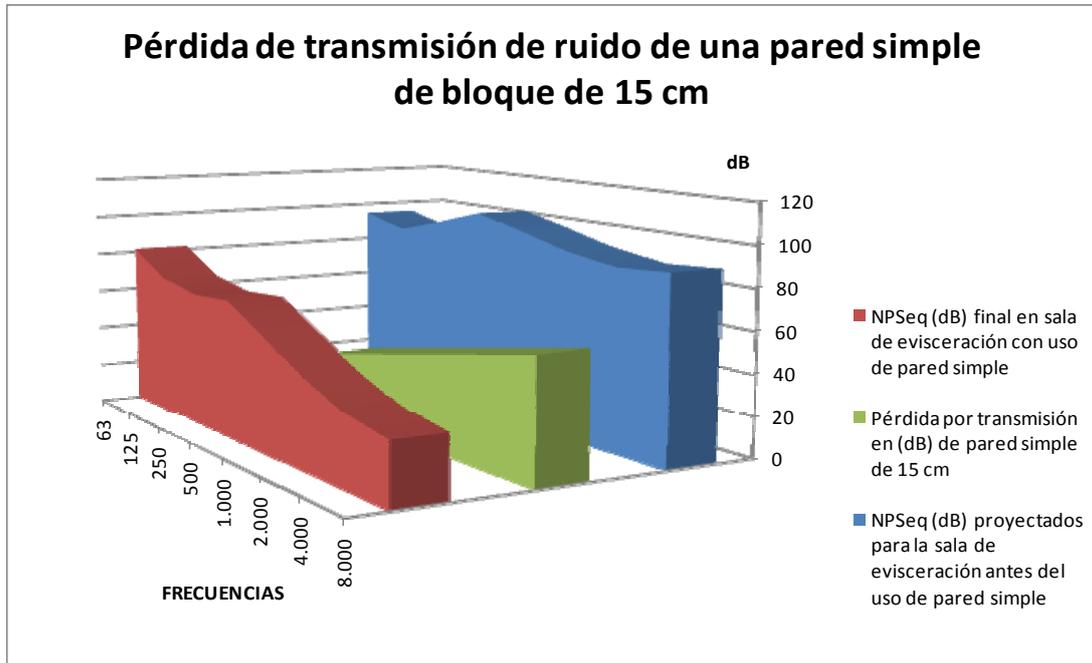
## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS PLANTEADAS

La mejor medida para el control del ruido en la vía de transmisión que puede aplicar la empresa POFASA es el aislamiento acústico de la sala de pelado en su nueva planta, ya que le permitiría proteger a un total de 35 empleados expuestos en las salas contiguas y a las personas que ingresan eventualmente a la planta.

Las ilustraciones 5-1, 5-2 y 5-3, muestran los niveles de aislamiento acústico por frecuencias que se pueden alcanzar con el uso de los distintos tipos de paredes analizados, en condiciones ideales de funcionamiento, es decir, que se siguieron todas las recomendaciones durante su construcción, y que no existen espacios abiertos en las mismas por donde puedan originarse “fugas de ruido”.

**Ilustración 5-1 Pérdida de transmisión de ruido proporcionada por una pared simple**



**Ilustración 5-2 Pérdida de transmisión de ruido proporcionado por una pared doble con cámara de aire**

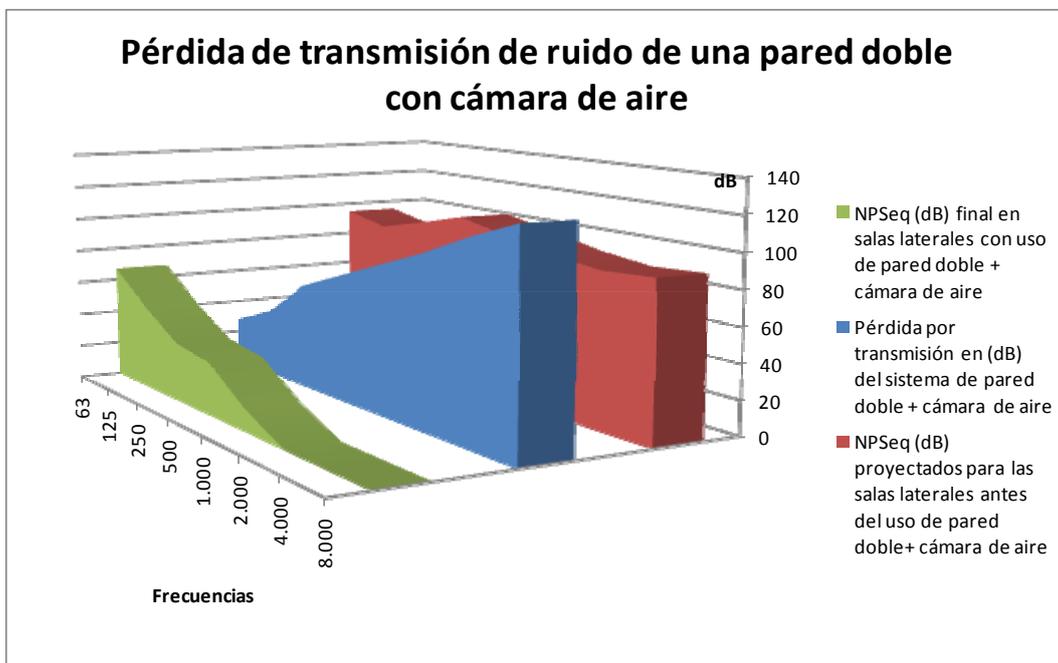
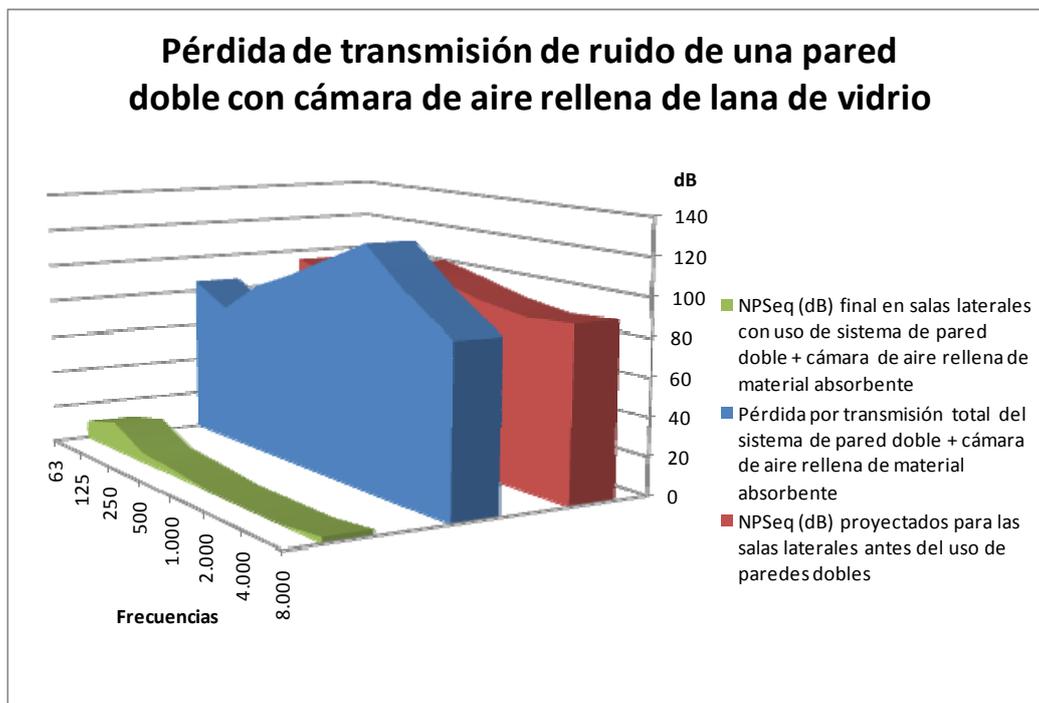
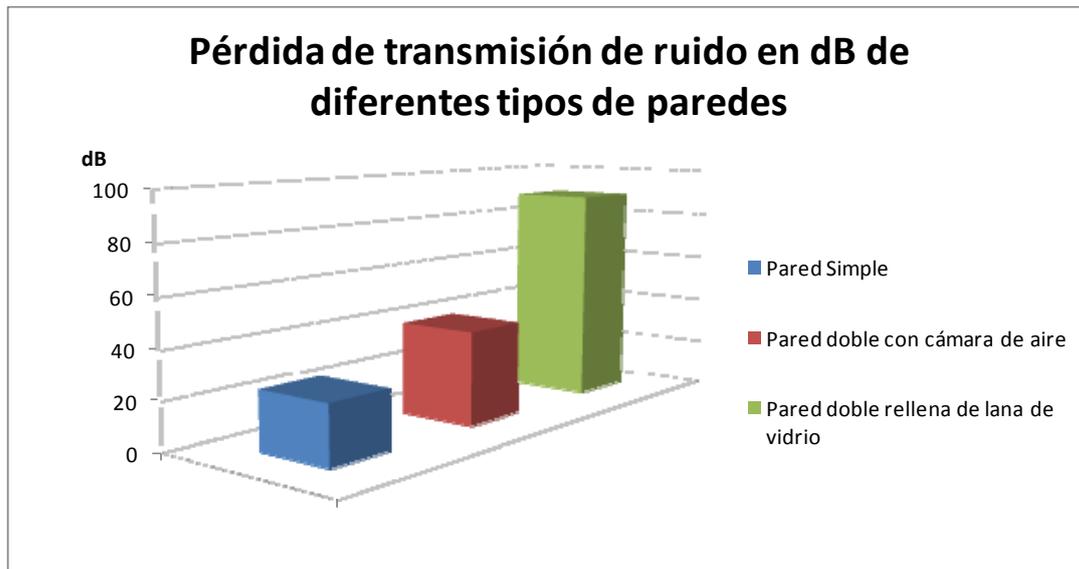


Ilustración 5-3 Pérdida de transmisión de ruido proporcionado por una pared doble rellena de lana de vidrio



Si se ordenan las alternativas antes propuestas para elegir la mejor opción, en base a su efectividad para la reducción de ruido en las áreas aledañas a la sala de pelado se obtendría lo siguiente:

- 1°. Construcción de un sistema de paredes dobles rellena de lana de vidrio; capaces de brindar una pérdida de transmisión total de 89,3 decibeles lineales.
- 2°. Construcción de un sistema de paredes dobles con masa de aire; capaces de brindar una pérdida de transmisión total de 39,5 decibeles lineales.
- 3°. Mantener paredes simples con altura piso-techo, con lo que se podría obtener una pérdida de transmisión de ruido de 24,3 decibeles lineales.



**Ilustración 5-4 Comparación de los resultados de pérdida de transmisión total de distintos tipos de paredes sin presencia de fugas acústicas**

Sin embargo para el presente estudio, hubo que considerar la necesidad de dejar espacios huecos en las paredes, para el paso de las bandas transportadoras que permiten el ingreso y salida de la materia prima.

Se evaluó el impacto que tendría la presencia de agujeros en la aislación acústica de cada tipo de pared analizada, y los resultados de se muestran en las siguientes ilustraciones:

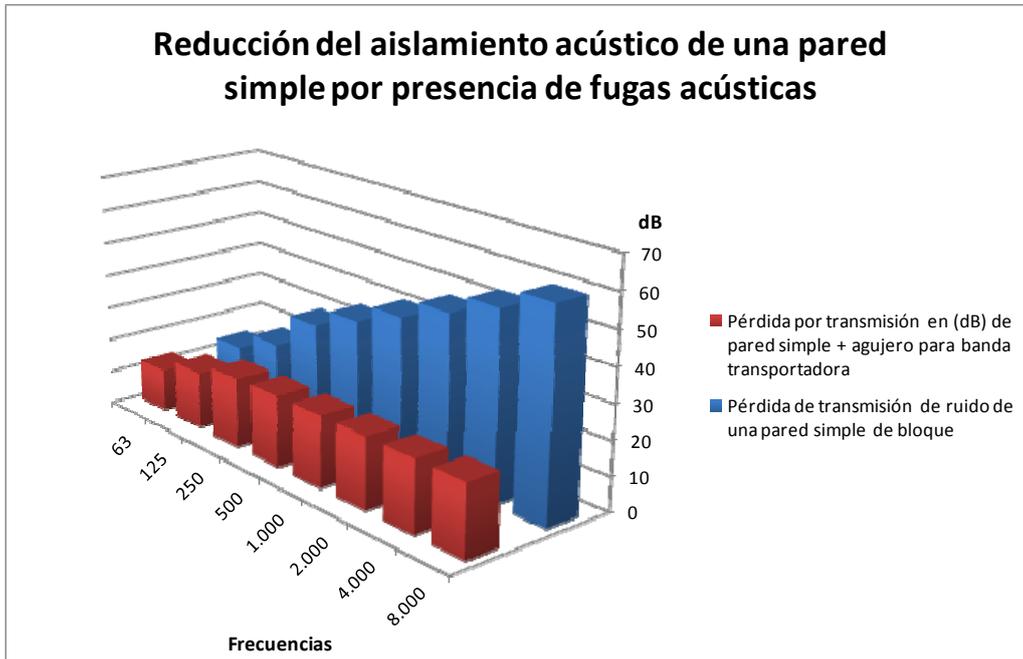


Ilustración 5-5 Reducción del aislamiento acústico de una pared simple por fugas acústicas

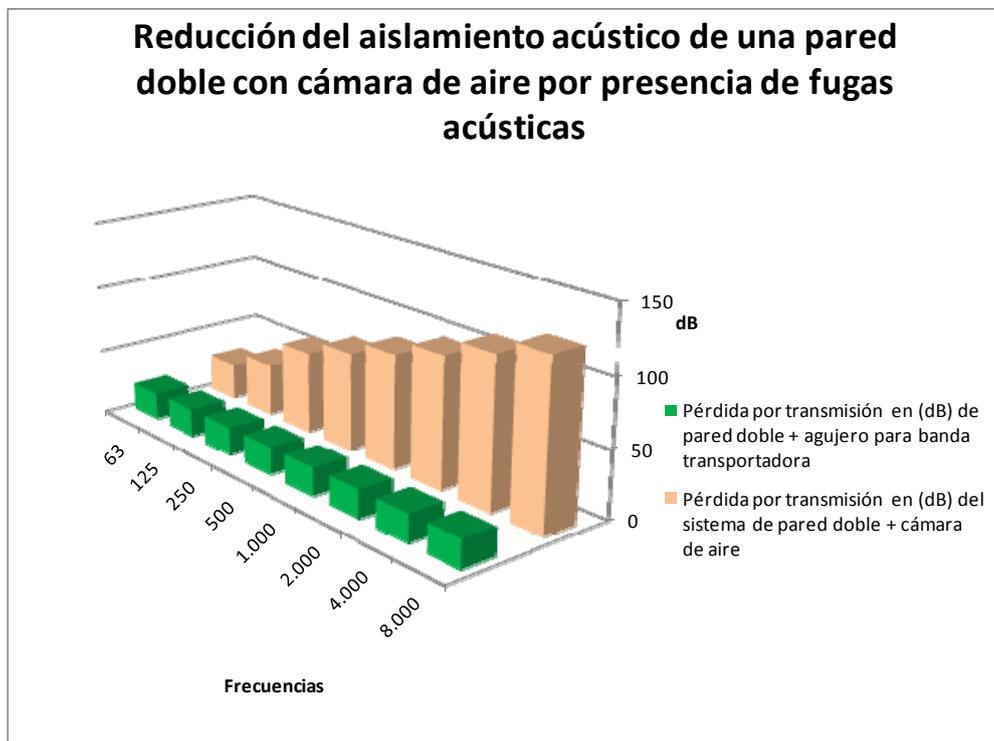
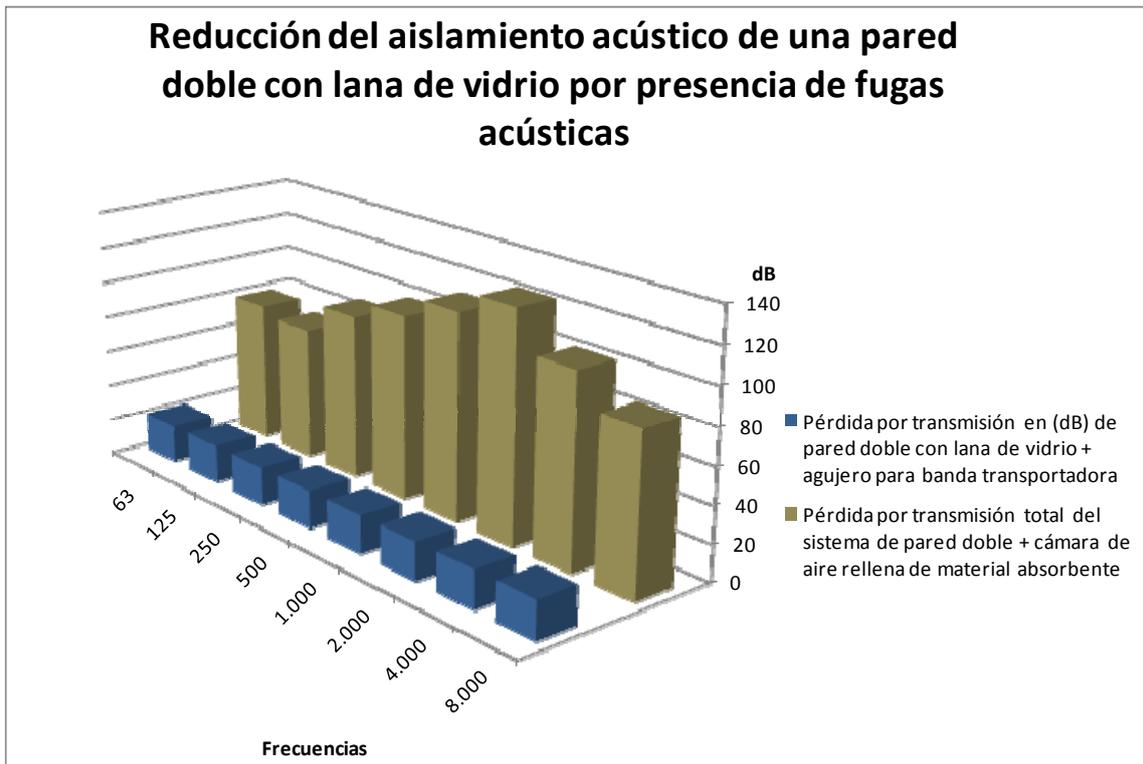


Ilustración 5-6 Reducción del aislamiento de una pared doble con cámara de aire por fugas acústicas



**Ilustración 5-7 Reducción del aislamiento acústico de una pared doble con lana de vidrio por fugas acústicas.**

Las ilustraciones 5-5, 5-6 y 5-7 muestran que los agujeros en las paredes debilitan totalmente las propiedades de aislación acústica de las mismas obteniéndose ya sea en paredes simples, sistemas de paredes dobles con cámara de aire rellenas de lana de vidrio, una pérdida máxima de transmisión de 21 decibeles lineales, que resultarían insuficientes, puesto que a las salas contiguas llegarían niveles de 83 dB(A), que por estar muy cercanos al límite máximo permisible de exposición laboral implicarían que se mantenga el uso obligatorio del equipo de protección personal como medida para precautelar la salud de los trabajadores.

## 5.2 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El costo que representaría la construcción de un sistema de paredes dobles para lograr el aislamiento acústico de la sala de pelado, es bajo, comparado con los beneficios de protección al riesgo de ruido, que se daría a los 35 trabajadores que permanecen habitualmente en las salas contiguas y al personal que ingresa eventualmente a la planta.

Tomando en cuenta que la construcción de paredes está considerada dentro del presupuesto de la nueva planta, la alternativa de paredes dobles representará un incremento en el valor del proyecto, equivalente a construir dos paredes adicionales a las ya proyectadas, y a ese valor se agregará el costo de la lana de vidrio y la mano de obra para su instalación.

En la tabla 5-2 que se muestra a continuación se detallan los costos referenciales para la construcción de una pared con el acabado final de recubrimiento de baldosa, para facilitar la limpieza diaria. En el costo están incluidos tanto los materiales como la mano de obra.

<b>DETALLE</b>	<b>Costo por metro cuadrado USD \$</b>
<b>LEVANTAMIENTO DE PAREDES</b>	
Materiales: bloque de concreto y cemento Costo de mano de obra por metro cuadrado	13,50
<b>ENLUCIDO</b>	
Material y mano de obra por metro cuadrado	9,50
<b>COLOCACIÓN DE BALDOSA</b>	
Materiales: baldosa, emporador, bondex Costo de mano de obra por metro cuadrado	19,00
<b>Costo Total por metro cuadrado para construcción de pared + acabados finales</b>	<b>42,00</b>

Tabla 5-1 Costos referenciales para construcción de una pared y acabados por metro cuadrado<sup>1</sup>

El incremento en la inversión para la construcción de las dos paredes laterales adicionales a las ya proyectadas más la lana de vidrio, se muestra en la tabla 5-3 a continuación:

Tabla 5-2 Costo Total de la Inversión para construcción del sistema de paredes dobles rellenas de lana de vidrio.

<b>Detalle</b>	<b>Área total m2</b>	<b>Costo por metro cuadrado</b>	<b>TOTAL</b>
2 Paredes laterales adicionales para el sistema de paredes dobles en la sala de pelado	278,6	42,00	11.701,20
Lana de Vidrio + mano de obra para colocación	278,6	9,00	2.507,40
<b>TOTAL</b>			<b>14.208,60</b>

<sup>1</sup> Fuente: Cámara de Construcción de Quito, Arq. Pedro Rocha.

El valor de inversión inicial que realizará POFASA al construir el sistema de paredes dobles rellenas de lana de vidrio, para lograr el acondicionamiento acústico de la sala de pelado, se irá recuperando de a poco con el ahorro que se generará al ya no necesitar comprar tapones auditivos para el personal que labora en las salas aledañas.

En la tabla 5-3 que se muestra a continuación se ha hecho un cálculo estimativo de cuánto se gasta anualmente en la compra de tapones auditivos, para el personal que labora en la línea de evisceración, enfriado y escurrido, y colgado de pollos vivos. Considerando que el reemplazo de los tapones auditivos se realice únicamente una vez por mes, se podrá obtener un ahorro en el año de USD \$ 1.386 como se muestra a continuación.

**Tabla 5-3 Costo total Anual estimado de compra de protectores auditivos**

ÁREA	No. Empleados que usan tapones auditivos	Cantidad de tapones auditivos al año	Costo de cada par de tapones	Total
Evisceración	24	288	3,5	1.008,00
Enfriado y escurrido	2	24	3,5	84,00
Colgado de pollos vivos	7	84	3,5	294,00
<b>TOTAL ANUAL</b>				<b>1.386,00</b>

El beneficio más importante que obtendrá la empresa al invertir en una medida de control de aislamiento acústico, y que resulta invaluable por todo lo que representa para el trabajador, es preservar la salud auditiva de su personal.

Sin embargo como ya se mencionó anteriormente, para que la construcción de un sistema de paredes dobles brinde los altos niveles de aislamiento acústico proyectados, y la inversión valga la pena, se requiere eliminar las aberturas para el paso de las bandas transportadoras y evitar las fugas acústicas que debilitarían el sistema.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

### 6.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la peladora es la fuente de ruido crítica en la planta de faenamiento de POFASA, ya que transmite hacia las salas contiguas, de colgado de pollos vivos, y la sala de evisceración, niveles de 93,4 dB(A) y 89,0 dB(A) respectivamente, de acuerdo a las mediciones realizadas en la planta actual.
- Para la nueva planta, tomando en cuenta la inclusión de una nueva peladora, se proyecta que los niveles en la sala de colgado de pollos vivos y de evisceración sean de 103,6 dB(A) y 103,3 dB(A) respectivamente, considerando la transmisión del sonido de forma directa desde la fuente hasta las salas mencionadas, sin que existan barreras de por medio.
- Se concluyó que no es factible aplicar una medida de acondicionamiento acústico de la sala de pelado, mediante el recubrimiento con material absorbente de las superficies de paredes, pisos y/o techos, debido a las exigencias higiénicas que requiere el proceso productivo y la gran cantidad de vapor de agua existente durante el proceso productivo
- El aislamiento acústico de la sala de pelado es la forma de control de ruido más eficaz que se puede aplicar y con la cual se brindará protección a los 35 trabajadores expuestos que laboran en las salas aledañas.

- La mejor alternativa de aislamiento acústico para la sala de pelado, es la aplicación de un sistema de paredes dobles con distintas masas, con cámara de aire rellena de lana de vidrio; mediante la cual se puede obtener una pérdida de transmisión total de 89,3 dB; siempre y cuando se suspendan los agujeros para el paso de las bandas transportadoras.
- La inversión que representaría para la empresa la construcción de un sistema de paredes dobles en la sala de pelado de la nueva planta es de alrededor de USD \$ 14.000; valor que se recuperaría a largo plazo con el ahorro proveniente de la eliminación del equipo de protección personal auditiva para los trabajadores de la planta; siempre y cuando el sistema de paredes se construya sin dejar espacios huecos en las mismas.
- Los espacios huecos en las paredes con un área de 1,12 metros cuadrados, para el paso de las bandas transportadoras, reducen significativamente los niveles de aislamiento acústico de las alternativas planteadas, lográndose obtener una pérdida de transmisión máxima de 21 dB.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Se deberá limitar el acceso del personal a la sala de pelado, para evitar la exposición innecesaria a niveles elevados de ruido.
- Los trabajadores que laboran dentro de la sala de pelado, deberán seguir usando equipo de protección personal auditiva para el desempeño de sus funciones, el cual deberá elegirse en función del espectro acústico determinado en las evaluaciones, para que brinde protección en las frecuencias medias y altas.

- Se deberá mantener en los puestos de trabajo dentro de la sala de pelado, la organización del trabajo por turnos, para que no sean siempre las mismas personas expuestas directamente al ruido de la peladora.
- Para aplicar la medida de aislamiento acústico mediante el sistema de paredes dobles, se recomienda evaluar la posibilidad de eliminar el paso de las bandas transportadoras a través de las paredes, y buscar alternativas para el avance de los pollos desde la sala de pelado hacia las demás fases del proceso.
- Al analizar la posibilidad de eliminar el paso de bandas transportadoras se deberá evaluar si esta medida puede provocar otro tipo de riesgos para los empleados, como por ejemplo riesgos de tipo ergonómico, si se decide transportar de forma manual el producto desde la sala de pelado hacia la línea de evisceración.
- Si no es posible eliminar el paso de las bandas transportadoras, no se recomienda que la empresa invierta recursos en la construcción de paredes dobles, ya que el aislamiento máximo esperado debido a las fugas de ruido, sería el mismo que se obtendría con la construcción de una pared simple con altura piso-techo.
- Para poder contrarrestar el efecto de los agujeros en las paredes, se deberán construir túneles para rodear a la banda transportadora en las salidas hacia las salas aledañas, y de esta forma conseguir que la energía se disipe, antes de lograr salir hacia las demás salas del proceso.

- Se deberá programar una evaluación de ruido en la nueva planta, para verificar en campo los niveles que se obtienen en las diferentes áreas luego de aplicar cualquiera de las alternativas planteadas.
- La elección del equipo de protección personal auditivo, deberá realizarse en base al perfil de ruido establecido en el estudio de bandas de octava.
- Se recomienda implementar un plan de seguimiento médico para los trabajadores que se encuentran expuestos al ruido de la peladora, que incluya la realización de audiometrías semestralmente, para detectar de manera temprana posibles afectaciones a la salud auditiva de los trabajadores.

## BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO, 2005, *Prevention of risks from occupational noise in practice: European week for safety and health at work*, European Agency for Safety and Health at Work, Bilbao.

AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO, 2005, *Reducing the risks from occupational noise*, European Agency for Safety and Health at Work, Luxembourg.

AGUILAR, José Carlos. Optimización del aislamiento acústico a ruido aéreo en sistemas de doble pared de yeso laminado y lana de roca. [en línea] [http://www.sea-acustica.es/WEB\\_ICA\\_07/fchrs/papers/tna-07-009.pdf](http://www.sea-acustica.es/WEB_ICA_07/fchrs/papers/tna-07-009.pdf) [consulta: 01 de mayo 2011].

BELL, Allan, 1969, *El Ruido Riesgo para la salud de los Trabajadores y Molestia para el público*, [en línea], Cuaderno de Salud Pública OMS, < [http://whqlibdoc.who.int/php/WHO\\_PHP\\_20\\_\(part1\)\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/php/WHO_PHP_20_(part1)_spa.pdf)> [consulta : 06 julio 2010], Bélgica.

BIBLIOTECA TÉCNICA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, 2000, *Evaluación y Prevención de Riesgos*, Grupo Editorial CEAC, tomo 1, España.

CONSEJO ANDINO DE MINISTROS DE RELACIONES EXTERIORES COMUNIDAD ANDINA, 2005, *Decisión 584 Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo*, Instituto Laboral Andino, Lima.

CONSTRUNARIO. *Sistemas de Aislamiento* [en línea] <<http://www.construnario.com/diccionario/swf/27159/cat%C3%A1logo%20t%C3%A9cnico/6%20%20sistemas%20complementarios%20integrados/sistemas%20de%20aislamiento.pdf>> [Consulta: 01 de mayo de 2011].

ESTELLÉS DÍAZ, Ricardo, 2005, *Curso de Acondicionamiento Acústico*, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

FIBERGLASS COLOMBIA, *Nota Técnica No. 37 Control del Ruido Industrial II*, [en línea] <<http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/notas/aislamiento/NTAisl-Ind37.pdf>> [consulta: 01 junio 2011].

GRIMALDI, John V. y SIMONDS, Rollin H, 1991, *La Seguridad Industrial su administración*, 5ª ed, México D.F.

HENAO, Fernando, 2008, *Riesgos Físicos I Ruido, Vibraciones y Presiones Anormales*, Ecoe Ediciones, Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO ESPAÑA, 2006, *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido*, [en línea] <<http://www.insht.es/portal/site>> [consulta 01 de mayo de 2011].

ISOVER. *Propagación del Sonido* [en línea]. Revista Club CLIMAVER, marzo 2006, número 19 < [http://www.isover.net/asesoria/revista\\_club/019/seccionacu.pdf](http://www.isover.net/asesoria/revista_club/019/seccionacu.pdf)> [consulta 01 de mayo de 2011].

KONG, Stephan, 1992, *Diseño de Sistemas de Trabajo*, Editorial Limusa, México.

MONDELO, Pedro R, GREGORI T. , ENRIQUE Y BARRAU B, Pedro; 2000, *Ergonomía 1: Fundamentos*. 3era Edición, Editorial AlfaOmega, México.

OCHOA, Juan y BOLAÑOS, Fernando, 1990, *Medida y control del ruido*. Editorial Marcombo SA, España.

PARRAGA, María y GARCIA, Teonila, 2005, *El ruido y el diseño de un ambiente acústico* . [en línea] Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima Perú < [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol8\\_n2/a13.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol8_n2/a13.pdf)> [consulta: 04 agosto 2010]

PÉREZ DE SILES MARÍN, A., 2001, “Aislamiento acústico” Tesis (en línea) Córdoba, España, Universidad de Córdoba. <<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1>> [consulta: 01 junio 2011].

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 1986, *Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores*, Quito.

REAL DECRETO 286 España, 2006, Norma Técnica de Prevención No. 270. *Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España, Madrid [en línea]. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/guia\\_tecnica\\_ruido.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/guia_tecnica_ruido.pdf) [consulta 01 septiembre 2010].

RUIZ, José Ramón, 2000, *¿Qué es el ruido?: Ergonomía*. España, Departamento de Economía, Hacienda y Empleo del Gobierno de Aragón.

SAMIR NAGI, Yousri Gerges, 1998, *Ruido Fundamentos y Control*, Brasil.

SEGUÈS, Fernando, 2002, *Conceptos Básicos del Ruido Ambiental*. Ministerio del Ambiente CEDEX. España.

SUTERE Alice, ENCICLOPEDIA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO OIT, 1998, *Riesgos Generales Ruido*, [en línea], Madrid, capítulo 47 <<http://www.jmcprl.net/OIT-%20completa/47.pdf>> [consulta 01 agosto 2010].

## **REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES.**

**Decreto Ejecutivo 2393, Registro Oficial 565 de 17 de Noviembre de 1986.**

### **CAPÍTULO V Medio Ambiente y Riesgos Laborales por factores Físicos, Químicos y Biológicos.**

- **Artículo 53 Condiciones generales ambientales: ventilación, temperatura y humedad.**

4.- En los procesos industriales donde existan o se liberen contaminantes físicos, químicos o biológicos, la prevención de riesgos para la salud se realizará evitando en primer lugar su generación, su emisión en segundo lugar, y como tercera acción su transmisión, y solo cuando resultaren técnicamente imposibles las acciones precedentes, se utilizarán los medios de protección personal, o la exposición limitada a los efectos del contaminante.

- **Artículo 55 Ruido y Vibraciones, Numerales 6 y 7**

6.- Se fija como límite máximo de presión sonora el de 85 decibeles escala A del sonómetro, medidos (sic) en el lugar en donde el trabajador mantiene habitualmente la cabeza, para el caso de ruido continuo con 8 horas de trabajo. No obstante, los puestos de trabajo que demanden fundamentalmente actividad intelectual, o tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, no excederán de 70 decibeles de ruido.

7.- Para el caso de ruido continuo, los niveles sonoros, medidos en decibeles con el filtro "A" en posición lenta, que se permitirán, estarán relacionados con el tiempo de exposición según la siguiente tabla:

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

Los distintos niveles sonoros y sus correspondientes tiempos de exposición permitidos señalados, corresponden a exposiciones continuas equivalentes en que la dosis de ruido diaria (D) es igual a 1.

En el caso de exposición intermitente a ruido continuo, debe considerarse el efecto combinado de aquellos niveles sonoros que son iguales o que excedan de 85 dB (A). Para tal efecto la Dosis de Ruido Diaria (D) se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula y no debe ser mayor de 1:

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

Donde:

C = Tiempo total de exposición a un nivel sonoro específico.

T = Tiempo total permitido a ese nivel.

En ningún caso se permitirá sobrepasar el nivel de 115 dB (A) cualquiera que sea el tipo de trabajo.



soluciones arquitectónicas

# Frescasa S.A.B.

## Tratamiento Térmico - Acústico



File R25157 - FORM A  
Unfaced Batts and Blankets  
Surface Burning Characteristics  
ISSUE NO: EL-6356  
FHC 25/50

### DESCRIPCIÓN

Es un aislante acústico-térmico, especialmente diseñado para ser instalado en los espacios entre la perflería de los Sistemas Constructivos Livianos.

El ancho de Frescasa S.A.B. coincide con la separación entre la perflería, logrando un mejor aprovechamiento del material y disminuyendo la cantidad de cortes. Viene listo para ser instalado inmediatamente, sin necesidad de hacer cortes adicionales, en anchos de 406mm (16") y 610mm (24"), y longitud de 2438mm (96").

Frescasa S.A.B. no se desliza, ni necesita elementos de sujeción, ya que ocupa por completo la distancia entre perfiles.

Frescasa S.A.B. se elabora en forma de manta con finas fibras de vidrio, resistentes, elásticas, aglutinadas entre sí por medio de una resina fenólica de fraguado termoestable, que le imparte alta estabilidad dimensional. Se produce en espesores de 2 1/2" y viene sin ningún tipo de recubrimiento.

### USOS

#### Control Acústico

Frescasa S.A.B. tiene un coeficiente de reducción de ruido  $NRC = 0.85$ , que lo hace ideal para el acondicionamiento acústico de recintos de trabajo, oficina y vivienda, así como en el tratamiento acústico de paredes exteriores e interiores de paneles divisorios.

#### Aislamiento Térmico

Frescasa S.A.B. se emplea tanto en vivienda como en instalaciones comerciales e industriales, para el control y mantenimiento de temperaturas confortables, e igualmente para regular y mantener determinadas condiciones especiales de humedad relativa, requeridas para algunas industrias.

### DESEMPEÑO ACÚSTICO

Frecuencias en Bandas de Octava

FRESCASA SAB 2 1/2" SIN PAPEL	Montaje	125	250	500	1000	2000	4000	NRC*
	4	0,21	0,62	0,93	0,92	0,91	1,03	0,85

Montaje 4 : Material ubicado cerca a un muro sólido, como una pared de ladrillo.  
(\* NRC = V alor típico esperado de acuerdo a la evaluación de productos de diseño comparable.

Productos para construir mejor calidad de vida



CERTIFICADO ISO 9001

Sistema de Gestión de la Calidad para la producción y venta de membranas impermeabilizantes modificadas (masado con o sin recubrimiento autoprotector) y emulsiones adhesivas. Cielo rasos en fibra de vidrio con acabado decorativo. Láminas y rollos finos en fibra de vidrio para la fabricación y recubrimiento interno y externo de conductos para transporte de aire acondicionado. Aislamiento térmico y acústico rígido, flexible y prefabricado.

Norma NTC - ISO 9001:2000  
Producto fabricado bajo un sistema de administración de calidad certificado de conformidad con ISO 9001.



Una empresa SAINT-GOBAIN

www.fiberglasscolombiam.com

### CARACTERÍSTICAS

- Absorción acústica.
- Aislante térmico.
- Incombustible.
- Peso liviano.
- Inorgánico.
- No crea bacterias ni hongos.
- No genera olores.
- Dimensionalmente estable.
- Fácil de instalar.
- Mantiene en el interior la temperatura confortable.
- Mantiene los niveles adecuados de humedad.
- Reduce la transmisión de sonidos y controla el ruido.

### ESPECIFICACIONES

PRESENTACIÓN	ANCHO	LARGO	ESPESOR	NRC	RESISTENCIA TÉRMICA (R)
Bulto	406mm (16")	2438mm (96")	2 1/2"	0.85	8
Bulto	610mm (24")	2438mm (96")	2 1/2"	0.85	8

### BENEFICIOS

#### Acústicos

Frescasa S.A.B. disminuye la transmisión de sonidos no deseados (ruido), protegiendo al usuario de ruidos internos y externos como:

#### Ruidos internos:

Personas en los pasillos de los edificios, conversaciones de los vecinos, máquinas en el edificio, tuberías sanitarias, ascensores, motores eléctricos, cuartos de música, salas de televisión, etc.

#### Ruidos externos:

Tráfico vehicular, industrias, embotelladoras, estadios, cornetas, discotecas, teatros, etc.

#### Térmicos

Ahorro en los gastos de energía, calefacción o aire acondicionado:  
Frescasa S.A.B. instalado adecuadamente protege los espacios interiores de casas y edificios con una barrera térmica que ayuda a reducir la costosa pérdida de energía. De esta forma, ayuda a los propietarios de casas y oficinas a ahorrar en su consumo de combustible y energía tanto en la temporada de calor como en la fría.

Temperaturas confortables todo el año.

Fecha de Actualización: Septiembre de 2008 • La información en este documento está sujeta a cambio sin previo aviso.  
Para mayor información, solicite y consulte la EDC (Especificación del Cliente) • Llame gratis al 01.8000.91.197.97, comuníquese al (57) 1.893.3030 o vía e-mail a contacto@saint-gobain.com



soluciones arquitectónicas

Productos para construir mejor calidad de vida



CERTIFICADO ISO 9001

Sistema de Gestión de la Calidad para la producción y venta de membranas impermeabilizantes modificadas (masado con o sin recubrimiento autoprotector) y emulsiones adhesivas. Cielo rasos en fibra de vidrio con acabado decorativo. Láminas y rollos finos en fibra de vidrio para la fabricación y recubrimiento interno y externo de conductos para transporte de aire acondicionado. Aislamiento térmico y acústico rígido, flexible y prefabricado.

Norma NTC - ISO 9001:2000  
Producto fabricado bajo un sistema de administración de calidad certificado de conformidad con ISO 9001.



Una empresa SAINT-GOBAIN

www.fiberglasscolombiam.com

# INFORME DE CALIBRACIÓN

<b>SOLICITANTE:</b> JORGE ANDRÉS GÓMEZ REYES Y/O MASHI CONSULTORES	<b>FECHA:</b> 2011-Marzo-16	
<b>DIRECCIÓN:</b> San Gabriel OE6-88 y Francisco Alava Of. No. 3 Quito, Ecuador	C. P. 17007	
<b>N° DE INFORME:</b> ICA -1236/11	<b>FOLIO:</b> 4913	<b>HOJA 1 DE:</b> 4
<b>INSTRUMENTO:</b> Sonómetro Integrador	<b>ID:</b> E001 M-LAB	<b>MARCA:</b> Quest
<b>MODELO:</b> 2900	<b>TIPO:</b> 2	<b>N° SERIE:</b> CDF040014

## CONDICIONES DE PRUEBA

**TEMPERATURA:** 22 °C      **HUMEDAD REL:** 47 %      **PRESIÓN BAR:** 824 hPa

**RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN:** Ver Informe

**INCERTIDUMBRE ESTIMADA:** Ver informe

**PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO:** PT-ACU-01: "Procedimiento para la calibración de Sonómetros" empleando el método de medición directa.

**PATRÓN DE REFERENCIA O TRABAJO EMPLEADO:** Fuente Acústica QUEST-CAL

**FECHA DE CALIBRACIÓN:** 2011-Marzo-16

**CALIBRACIÓN REALIZADA POR:** EL LABORATORIO MEYLAB S.A. DE C.V.

**DE ACUERDO CON LA NORMA:** IEC-60651

**NÚMERO DE ACREDITACIÓN ANTE ema A-03:** VIGENCIA A PARTIR DEL 20 DE OCTUBRE DE 2010

**CALIBRÓ:** T.S.U. ROBERTO ARREDONDO RODRÍGUEZ  
**TÉCNICO SIGNATARIO**



FIRMA

**REVISÓ Y APROBÓ:** Ing. Cuauhtzín Alejandro Rosales Peña Alfaro  
**JEFE DE LABORATORIO**



FIRMA

### Trazabilidad

El patrón de referencia es trazable al SI a través del CENAM, y la trazabilidad del patrón se logra a través de los procedimientos internos del laboratorio sustentados por un sistema de gestión de la calidad implementado en las mediciones.

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevalecientes durante la calibración.

11 1526

**I) RUIDO AUTOGENERADO**

El micrófono del sonómetro es sustituido por una impedancia eléctrica equivalente y la entrada cortocircuitada.

Ruido ponderación "A" = 22,8 dB (A)

Ruido modo lineal = 41,5 dB

**II) LINEALIDAD**

La linealidad del instrumento es determinada relativa a un Nivel de Presión Acústica (NPA) de referencia.

Nivel (dB)	NPA (dB)	Leq (dB)	Nivel (dB)	NPA (dB)	Leq (dB)	Nivel (dB)	NPA (dB)	Leq (dB)	Nivel (dB)	NPA (dB)	Leq (dB)
60	-0,2	0	74	-0,1	0	88	0	0	102	0	+0,1
61	-0,2	-0,1	75	-0,1	0	89	0	0	103	0	0
62	-0,2	0	76	-0,1	0	90	0	0	104	0	0
63	-0,2	-0,1	77	-0,1	0	91	0	0	105	0	+0,1
64	-0,2	-0,1	78	-0,1	0	92	0	0	106	0	0
65	-0,2	-0,1	79	-0,1	0	93	0	0	107	0	0
66	-0,2	-0,1	80	-0,1	0	94	0	0	108	0	+0,1
67	-0,2	-0,1	81	-0,1	0	95	0	0	109	0	0
68	-0,2	-0,1	82	-0,1	0	96	0	0	110	0	0
69	-0,1	0	83	0	0	97	0	0	111	0	+0,1
70	-0,1	0	84	0	0	98	0	0	112	0	0
71	-0,1	0	85	0	0	99	0	0	113	0	0
72	-0,1	0	86	0	0	100	0	0	114	0	0
73	-0,1	0	87	0	0	101	0	+0,1	115	0	0

Incertidumbre[60 dB] = ± 0,08 dB

Tolerancias prueba de linealidad IEC 60651 e IEC 60804			
Intervalo	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
Primario	± 0,7 dB	± 1,0 dB	± 1,5 dB
Secundario	± 1,0 dB	± 1,5 dB	± 2,0 dB

**III) MALLA PONDERADA "A" Y "MODO LINEAL"**

La respuesta a la frecuencia de la malla ponderada "A" y modo "Lineal" es determinada empleando una señal eléctrica de nivel constante y variando la frecuencia en bandas de octava para un intervalo de 31,5 Hz hasta 16 000 Hz.

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevalecientes durante la calibración.

**Ponderación "A"**

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>31,5</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1 000</b>	<b>2 000</b>	<b>4 000</b>	<b>8 000</b>	<b>16 000</b>
<b>Error (dB)</b>	+0,6	+0,4	+0,2	+0,1	+0,1	0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
<b>Incertidumbre (±dB)</b>	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

**Modo "Lineal"**

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>31,5</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1 000</b>	<b>2 000</b>	<b>4 000</b>	<b>8 000</b>	<b>16 000</b>
<b>Error (dB)</b>	+0,2	+0,1	0	0	0	0	0	0	0	-0,1
<b>Incertidumbre (±dB)</b>	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

<b>TOLERANCIAS PARA PRUEBAS PONDERADAS, IEC 60651 e IEC 60804</b>										
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>31,5</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1 000</b>	<b>2 000</b>	<b>4 000</b>	<b>8 000</b>	<b>16 000</b>
<b>Tipo 1 (dB)</b>	± 1,5	± 1,5	± 1,0	± 1,0	± 1,0	± 1,0	± 1,0	± 1,0	+1,5;-3,0	+ 3,0; -∞
<b>Tipo 2 (dB)</b>	± 3,0	± 2,0	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 2,0	± 3,0	± 5,0	+ 5,0; -∞
<b>Tipo 3 (dB)</b>	± 4,0	± 3,0	± 2,0	± 2,0	± 2,0	± 2,0	± 3,0	± 5,0	± 6,0	+ 6,0; -∞

**IV) RESPUESTAS TEMPORALES**

Son determinadas de acuerdo a la respuesta del sonómetro en función de la aplicación de una señal continua y una señal ráfaga de un cierto número de ciclos a una frecuencia y nivel

<b>Parámetro en medición</b>	<b>Error (dB)</b>	<b>Incertidumbre (± dB)</b>	<b>Tolerancia IEC 60651 e IEC 60804</b>		
			<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 2</b>	<b>Tipo 3</b>
<b>Respuesta Rápida</b>	-0,3	0,09	± 1,0	+1,0; -2,0	+1,0; -3,0
<b>Respuesta Lenta</b>	-0,7	0,09	± 1,0	± 2,0	± 2,0
<b>Respuesta Impulso</b>	-0,6	0,14	± 2,0	± 3,0	---
<b>Exactitud RMS</b>	0	0,06	± 0,5	± 1,0	± 1,5
<b>Tiempo de Promediación</b>	-0,1	0,08	± 1,0	± 1,5	± 1,5

<b>Parámetro en medición</b>	<b>Error (dB)</b>	<b>Tolerancia IEC 60651 e IEC 60804</b>		
		<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 2</b>	<b>Tipo 3</b>
<b>Indicación de Sobrecarga</b>	+0,1	± 0,5	± 1,0	± 1,5

**V) SENSIBILIDAD ABSOLUTA**

El instrumento completo, incluyendo micrófono, debe ser calibrado usando una señal acústica de nivel igual a 114,0 dB y una frecuencia de 1 000 Hz.

Calibración de la Sensibilidad Absoluta: 114,0 dB

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevaletentes durante la calibración.

**VI) RESPUESTA A LA FRECUENCIA PONDERADA "A"**

Se obtiene aplicando al micrófono una señal constante en nivel y variando la frecuencia por bandas de octava en el intervalo de 125 Hz hasta 4 000 Hz.

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1 000</b>	<b>2 000</b>	<b>4 000</b>
<b>Error (dB)</b>	+0,1	0	-0,1	0	-0,2	+0,3
<b>Incertidumbre (± dB)</b>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

TOLERANCIAS PARA PRUEBA PONDERADA "A", IEC 60651 e IEC 60804						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
<b>Tipo 1 (dB)</b>	± 1,0	± 1,0	± 1,0	± 1,0	± 1,0	± 1,0
<b>Tipo 2 (dB)</b>	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 2,0	± 3,0
<b>Tipo 3 (dB)</b>	± 2,0	± 2,0	± 2,0	± 2,0	± 3,0	± 5,0

**VII) RESPUESTA ASOCIADA A UN CALIBRADOR**

Se acopla el calibrador acústico asociado al instrumento y se registra el valor obtenido a la presión barométrica registrada en el laboratorio. (Consultar las instrucciones del fabricante y verificar la gráfica de corrección por presión barométrica del calibrador acústico empleado en el lugar donde se realice la medición).

Nivel de Presión Acústica: 114,1 dB

**INCERTIDUMBRE:** La incertidumbre se obtuvo multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de  $k=2$  correspondiente a un nivel de confianza del 95,45 % aproximadamente. La incertidumbre estándar fue estimada de acuerdo a NMX-CH-140:2002 IMNC.

**Nota:** Los resultados expresados en este informe de calibración son el promedio de 5 lecturas tomadas para cada una de las pruebas.

**OBSERVACIONES:** El nivel de presión acústica antes del ajuste fue de 114,2 dB y el valor ajustado se informa en la prueba V) Sensibilidad absoluta. El micrófono acoplado al instrumento es modelo QE 7052 Serie 26584. Este documento "Informe de Calibración" tiene validez en su forma original (Integro en su número total de páginas) con las firmas del personal responsable por la calibración. Es propiedad del cliente; su reproducción es responsabilidad del mismo. Los períodos de calibración son responsabilidad del cliente.

**INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA**

Generador de forma de onda  
HP33120A  
N° Serie: US34020868

Fuente Acústica  
QUEST-CAL  
N° Serie: KZ6100001

Atenuador  
HP355D  
N° Serie: 2522A46606

Calibrador  
Quest Mod: QC-20  
N° Serie: QF7090038

La trazabilidad del patrón de trabajo se mantiene a través del patrón de referencia Pistófono Marca: B & K Modelo: 4220 calibrado por el CENAM con No. de certificado CNM-CC-510-176/2010, incertidumbre  $\pm 0,06$  dB y el generador HP Modelo 33120A calibrado por CANHEFERN con No. de informe CNFR-AE-16082-01

Fin del informe

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevalecientes durante la calibración.

**ANEXO INFORMATIVO (No forma parte integral del informe de calibración)**

No. de informe: ICA -1236/11

En el presente anexo se informa sobre la respuesta lineal del instrumento en los intervalos secundarios, realizando la prueba en incrementos de 10 dB desde el valor mínimo observado hasta el valor máximo del intervalo de prueba insertando una señal de 4 000 Hz.

**INTERVALO INFERIOR**

Nivel (dB)	NPA (dB)
50-110	
55	0
65	-0,2
75	-0,2
85	-0,2
95	-0,2
105	-0,1
110	0

**INTERVALO SUPERIOR**

Nivel (dB)	NPA (dB)
70-130	
70	0
80	-0,2
90	-0,2
100	-0,2
110	-0,2
120	-0,3
130	-0,2

# INFORME DE CALIBRACIÓN

<b>SOLICITANTE:</b> JORGE ANDRÉS GÓMEZ REYES Y/O MASHI CONSULTORES	<b>FECHA:</b> 2011-Marzo-16	
<b>DIRECCIÓN:</b> San Gabriel OE6-88 y Francisco Alava Of. 3 Quito, Ecuador C. P. 17007		
<b>Nº DE INFORME:</b> ICA - 1237/11	<b>FOLIO:</b> 4913	<b>HOJA 1 DE:</b> 4
<b>INSTRUMENTO:</b> Filtro	<b>ID:</b> E-003 M-LAB	<b>MARCA:</b> Quest
<b>MODELO:</b> OB-100	<b>TIPO:</b> 2	<b>Nº SERIE:</b> HWF030026
EL FILTRO HA SIDO CALIBRADO EN CONJUNTO CON EL SONÓMETRO;	<b>Marca:</b> Quest	<b>Modelo:</b> 2900 <b>No. Serie:</b> CDF040014

## CONDICIONES DE PRUEBA

**TEMPERATURA:** 22 °C      **HUMEDAD REL:** 47 %      **PRESIÓN BAR:** 824 hPa

**RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN:** Ver Informe

**INCERTIDUMBRE ESTIMADA:** Ver Informe

**PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO:** PT-ACU-04 "Procedimiento para la calibración de Filtros de bandas" empleando el método de medición directa

**PATRÓN DE TRABAJO EMPLEADO:** Generador HP33120A

**FECHA DE CALIBRACIÓN:** 2011-Marzo-16

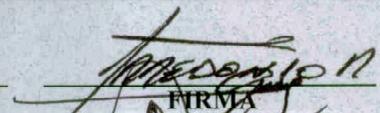
**CALIBRACIÓN REALIZADA POR:** EL LABORATORIO MEYLAB S.A. DE C.V.

**DE ACUERDO CON LA NORMA:** CEI/IEC 1260

**NÚMERO DE ACREDITACIÓN ANTE ema A-03:** VIGENCIA A PARTIR DEL 20 DE OCTUBRE DE 2010

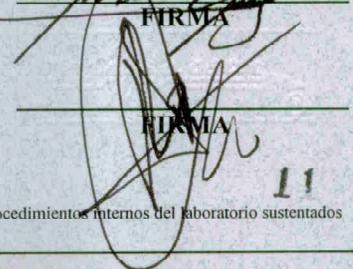
**CALIBRÓ:**

T.S.U. ROBERTO ARREDONDO RODRÍGUEZ  
TÉCNICO SIGNATARIO

  
FIRMA

**REVISÓ Y APROBÓ:**

Ing. Cuauhtzin Alejandro Rosales Peña Alfaro  
JEFE DE LABORATORIO

  
FIRMA

### Trazabilidad

El patrón de referencia es trazable al SI a través del CENAM, y la trazabilidad del patrón de trabajo se logra a través de los procedimientos internos del laboratorio sustentados por un sistema de gestión de la calidad implementado en las mediciones.

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevalecientes durante la calibración.

11 1527

Filtro con banda central 2 000 Hz				4 000 Hz			8 000 Hz		
Atenuación esperada (dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. (± dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. (± dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. (± dB)
< -55	250,00	-62,4	0,06	500,00	-62,4	0,06	1000,0	-62,4	0,06
< -41	500,00	-46,3	0,06	1000,0	-46,3	0,06	2000,0	-46,4	0,06
< -17	1000,0	-22,1	0,06	2000,0	-22,1	0,08	4000,0	-22,2	0,06
-5,5 a -1,6	1414,2	-3,7	0,06	2828,4	-3,8	0,06	5656,9	-3,8	0,06
-5,5 a 0,5	1476,8	-1,8	0,06	2953,7	-1,9	0,06	5907,3	-1,9	0,06
-1,6 a 0,5	1542,2	-0,7	0,08	3084,4	-0,7	0,06	6168,8	-0,7	0,06
-0,8 a 0,5	1681,8	0,0	0,07	3363,6	-0,1	0,06	6727,2	-0,1	0,06
-0,6 a 0,5	1834,0	-0,1	0,06	3668,0	-0,2	0,06	7336,0	-0,2	0,06
-0,5 a 0,5	2000,0	-0,2	0,06	4000,0	-0,3	0,06	8000,0	-0,3	0,06
-0,6 a 0,5	2181,0	-0,2	0,06	4362,0	-0,3	0,06	8724,1	-0,2	0,06
-0,8 a 0,5	2378,4	-0,2	0,06	4756,8	-0,3	0,07	9513,7	-0,2	0,06
-1,6 a 0,5	2593,7	-0,9	0,06	5187,4	-1,1	0,06	10374,7	-1,0	0,06
-5,5 a 0,5	2708,5	-2,2	0,07	5417,0	-2,3	0,06	10834,0	-2,2	0,06
-5,5 a -1,6	2828,4	-4,1	0,06	5656,9	-4,2	0,06	11313,7	-4,1	0,08
< -17	4000,0	-22,2	0,08	8000,0	-22,1	0,08	16000,0	-21,8	0,06
< -41	8000,0	-45,3	0,08	16000,0	-44,9	0,06	32000,0	-43,2	0,06
< -55	16000,0	-59,1	0,07	32000,0	-55,6	0,08	64000,0	-49,5	0,08

Filtro con banda central 16 000 Hz			
Atenuación esperada (dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. (± dB)
< -55	2000,0	-62,4	0,06
< -41	4000,0	-46,6	0,06
< -17	8000,0	-22,2	0,06
-5,5 a -1,6	11313,7	-3,7	0,06
-5,5 a 0,5	11814,6	-1,7	0,08
-1,6 a 0,5	12337,7	-0,6	0,08
-0,8 a 0,5	13454,3	0,0	0,06
-0,6 a 0,5	14672,1	-0,2	0,06
-0,5 a 0,5	16000,0	-0,2	0,06
-0,6 a 0,5	17448,1	0,0	0,06
-0,8 a 0,5	19027,3	0,0	0,07
-1,6 a 0,5	20749,4	-0,7	0,06
-5,5 a 0,5	21668,1	-1,9	0,08
-5,5 a -1,6	22627,4	-3,7	0,06
< -17	32000,0	-21,5	0,08
< -41	64000,0	-40,8	0,06
< -55	128000,0	-62,5	0,07

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DISTORSIÓN NO LINEAL

FRECUENCIA CENTRAL (Hz)	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000	TOLERANCIA DE ACUERDO A IEC 1260 ±0,5 dB
VALOR ESPERADO (dB)	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	114,0	
VALOR OBTENIDO (dB)	114,3	114,3	114,2	114,2	114,1	114,0	113,8	113,7	113,7	113,8	
ERROR (dB)	+0,3	+0,3	+0,2	+0,2	+0,1	0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevaletientes durante la calibración.

**VERIFICACIÓN A LA CALIBRACIÓN DEL FILTRO EN BANDAS DE OCTAVA Y SU DISTORSIÓN**

La atenuación del filtro es obtenida aplicando una señal de referencia al sonómetro y ajustando el filtro en la misma frecuencia. Entonces, la frecuencia de la señal de referencia es variada y la atenuación obtenida registrada. Esto es realizado para cada banda de octava disponible. La atenuación de la frecuencia central para cada octava debe encontrarse dentro del valor de  $\pm 0,5$  dB esto asegura su adecuado nivel de distorsión.

Filtro con banda central 31,5 Hz				63 Hz			125 Hz		
Atenuación esperada (dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. ( $\pm$ dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. ( $\pm$ dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. ( $\pm$ dB)
< -55	3,906	-62,4	0,06	7,813	-62,4	0,06	15,625	-62,4	0,06
< -41	7,813	-46,3	0,06	15,625	-45,9	0,06	31,250	-46,0	0,08
< -17	15,625	-22,1	0,06	31,250	-21,6	0,08	62,500	-21,8	0,08
-5,5 a -1,6	22,097	-3,4	0,06	44,194	-2,9	0,06	88,388	-3,2	0,08
-5,5 a 0,5	23,075	-1,3	0,06	46,151	-1,1	0,08	92,302	-1,2	0,06
-1,6 a 0,5	24,097	-0,1	0,06	48,194	0,1	0,06	96,388	0,0	0,06
-0,8 a 0,5	26,278	0,4	0,11	52,556	0,5	0,08	105,11	0,4	0,06
-0,6 a 0,5	28,656	0,3	0,06	57,313	0,3	0,06	114,63	0,3	0,06
-0,5 a 0,5	31,250	0,3	0,06	62,500	0,3	0,06	125,00	0,2	0,08
-0,6 a 0,5	34,078	0,3	0,06	68,157	0,3	0,08	136,31	0,3	0,06
-0,8 a 0,5	37,163	0,4	0,06	74,325	0,5	0,07	148,65	0,4	0,06
-1,6 a 0,5	40,526	-0,2	0,08	81,052	-0,2	0,08	162,10	-0,1	0,08
-5,5 a 0,5	42,320	-1,4	0,06	84,641	-1,4	0,06	169,28	-1,4	0,08
-5,5 a -1,6	44,194	-3,5	0,06	88,388	-3,4	0,06	176,78	-3,3	0,06
< -17	62,50	-22,1	0,06	125,00	-22,0	0,08	250,00	-21,9	0,06
< -41	125,00	-46,1	0,06	250,00	-46,1	0,08	500,00	-45,9	0,08
< -55	250,00	-62,4	0,06	500,00	-62,4	0,06	1000,0	-62,4	0,06

Filtro con banda central 250 Hz				500 Hz			1 000 Hz		
Atenuación esperada (dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. ( $\pm$ dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. ( $\pm$ dB)	Frec. de prueba (Hz)	Atenuación Obtenida (dB)	Incert. ( $\pm$ dB)
< -55	31,250	-62,4	0,06	62,50	-62,4	0,06	125,00	-62,4	0,06
< -41	62,500	-46,1	0,08	125,00	-46,4	0,06	250,00	-46,2	0,07
< -17	125,00	-21,9	0,06	250,00	-22,3	0,06	500,00	-22,0	0,06
-5,5 a -1,6	176,78	-3,3	0,10	353,55	-3,8	0,06	707,11	-3,6	0,06
-5,5 a 0,5	184,60	-1,4	0,06	369,21	-1,7	0,06	738,41	-1,6	0,06
-1,6 a 0,5	192,78	-0,2	0,08	385,55	-0,4	0,06	771,11	-0,4	0,07
-0,8 a 0,5	210,22	0,4	0,06	420,45	0,3	0,06	840,90	0,2	0,08
-0,6 a 0,5	229,25	0,2	0,08	458,50	0,2	0,06	917,00	0,0	0,06
-0,5 a 0,5	250,00	0,2	0,06	500,00	0,1	0,06	1000	0,0	0,06
-0,6 a 0,5	272,63	0,2	0,06	545,25	0,2	0,06	1090,5	0,0	0,06
-0,8 a 0,5	297,30	0,3	0,08	594,60	0,2	0,07	1189,2	0,0	0,06
-1,6 a 0,5	324,21	-0,2	0,06	648,42	-0,2	0,06	1296,8	-0,6	0,08
-5,5 a 0,5	338,56	-1,2	0,06	677,13	-1,3	0,06	1354,3	-1,9	0,06
-5,5 a -1,6	353,55	-3,1	0,06	707,11	-3,2	0,08	1414,2	-3,8	0,08
< -17	500,00	-21,7	0,06	1000,0	-21,7	0,06	2000,0	-22,1	0,06
< -41	1000,0	-45,9	0,12	2000,0	-45,8	0,07	4000,0	-45,5	0,08
< -55	2000,0	-62,4	0,06	4000,0	-62,4	0,06	8000,0	-60,7	0,06

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevaletientes durante la calibración.

**INCERTIDUMBRE:**

La incertidumbre se obtuvo multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de  $k=2$  correspondiente a un nivel de confianza del 95,45 % aproximadamente. La incertidumbre estándar fue estimada de acuerdo a NMX-CH-140:2002 IMNC.

**Nota:** Los resultados expresados en este informe de calibración son el promedio de 5 lecturas tomadas para cada una de las pruebas.

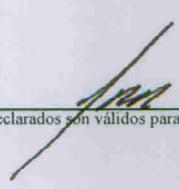
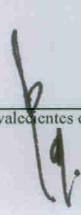
**OBSERVACIONES:** Este documento "Informe de Calibración" tiene validez en su forma original (Integro en su número total de páginas) con las firmas del personal responsable por la calibración. Es propiedad del cliente; su reproducción es responsabilidad del mismo. Los periodos de calibración son responsabilidad del cliente.

 Indica fuera de tolerancia

**INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA**

ATENUADOR, Modelo: HP355D, N° Serie: 2522A46606

PATRÓN DE REFERENCIA, Generador de onda, Modelo: HP33120A N° Serie: US34020868, Calibró: CANHEFERN,  
No. de informe CNFR-AE-16082-01

  Fin del informe

---

Los resultados declarados son válidos para las condiciones prevalentes durante la calibración