

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
AGROINDUSTRIA**

**ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE CONTROL DE  
RUIDO EN CINCO INSTALACIONES CRÍTICAS DE LA EMPRESA  
METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE  
DE QUITO EMAAP-Q**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MÁSTER (M.Sc) EN  
SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL**

**FERNANDA KATERINE FREIRE COLLANTES**  
[fk\\_freire@hotmail.com](mailto:fk_freire@hotmail.com)

**DIRECTOR: ING. FRANCISCO SALGADO**  
[fsalgadot@hotmail.com](mailto:fsalgadot@hotmail.com)

**QUITO, MARZO 2010**

© Escuela Politécnica Nacional 2 010  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Fernanda Katerine Freire Collantes, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Fernanda Katerine Freire Collantes

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fernanda Katerine Freire Collantes, bajo mi supervisión.

---

Ing. Francisco Salgado  
**DIRECTOR DE TESIS**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xvii</b>
<b>1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 Ruido	1
1.1.1 Presión Sonora	1
1.1.2 Potencia Acústica	5
1.1.3 Intensidad Acústica	6
1.1.4 Adición de Niveles Sonoros	7
1.1.5 Bandas de Frecuencia	8
1.1.6 Tipos de Ruido	
1.2 Efectos del Ruido en la Salud	12
1.2.1 Efectos de la Exposición a Ruido en la Audición	13
1.2.2 Efectos no Auditivos de la Exposición a Ruido	14
1.2.3 Factores de Riesgo Asociados al Ruido	15
1.3 Equipos para Medición de Ruido	17
1.4 Control de Ruido	20
1.4.1 Control Técnico del Ruido	20
1.4.1.1 <i>Reducción de la Emisión de Ruido</i>	21
1.4.1.2 <i>Reducción en la Transmisión</i>	22
1.4.1.3 <i>Reducción en el Receptor</i>	24
1.4.2 Control Mediante Medidas Organizativas	24
1.5 Marco Legal	25
1.5.1 Ruido y Salud Ocupacional	25
1.5.2 Ruido y Medio Ambiente	28
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
2.1 Selección de Instalaciones Críticas de Generación de Ruido	31
2.2 Identificación de Procesos y Fuentes de Generación Elevada de Ruido	32
2.3 Determinación de Trabajadores Expuestos	33
2.4 Monitoreo de Ruido	34

2.5	Control de Ruido	36
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>41</b>
3.1	Selección de Cinco Instalaciones Críticas	41
3.2	Identificación de Procesos y Fuentes de Generación Elevada de Ruido en las Cinco Instalaciones Seleccionadas	57
3.3	Determinación de Trabajadores Expuestos	59
3.3.1	Planta de Bellavista	59
3.3.2	Planta de Noroccidente	61
3.3.3	Planta de Checa	63
3.3.4	Central Hidroeléctrica El Carmen	64
3.3.5	Central Recuperadora del Sistema Papallacta	65
3.4	Monitoreo de Ruido	66
3.4.1	Planta de Bellavista	66
3.4.2	Planta de Noroccidente	68
3.4.3	Planta de Checa	70
3.4.4	Central Hidroeléctrica El Carmen	72
3.4.5	Central Recuperadora del Sistema Papallacta	73
3.5	Determinación del Nivel de Exposición a Ruido en Trabajadores	75
3.6	Propuestas de Control de Ruido	80
3.6.1	Control de Ruido Ocupacional	80
3.6.2	Control de Ruido Ambiental	87
3.6.2.1	<i>Planta de Potabilización Bellavista</i>	87
3.6.2.2	<i>Planta de Potabilización Noroccidente</i>	94
3.6.2.3	<i>Planta de Potabilización Checa</i>	109
3.6.2.4	<i>Central Hidroeléctrica El Carmen</i>	113
3.6.2.5	<i>Central Recuperadora del Sistema Papallacta</i>	127
3.6.3	Resumen de Propuestas de Control de Ruido Ambiental	135
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>140</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>143</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>145</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.1:</b> Escalas de Ponderación A y C	3
<b>Tabla 1.2:</b> Tiempo de exposición máximo permisible a diferentes niveles de ruido, según el INSHT.	25
<b>Tabla 1.3:</b> Tiempo de exposición máximo permisible a diferentes niveles de ruido por jornada de trabajo, según el INSHT.	27
<b>Tabla 1.4:</b> Número de impulsos a diferentes niveles de presión sonora máxima, permisibles por jornada de trabajo.	28
<b>Tabla 1.5:</b> Nivel de presión sonora equivalente máxima permisible según tipo de zona de uso de suelo.	29
<b>Tabla 3.1:</b> Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q.	41
<b>Tabla 3.2:</b> Nivel de presión sonora equivalente ambiental en diferentes fuentes emisoras de las Plantas de Potabilización de Puengasí y El Placer.	49
<b>Tabla 3.3:</b> Procesos y fuentes generadoras de ruido en las cinco instalaciones seleccionadas.	58
<b>Tabla 3.4:</b> Distribución del personal de la Planta de Bellavista.	60
<b>Tabla 3.5:</b> Distribución del personal de la Planta de Noroccidente.	61
<b>Tabla 3.6:</b> Distribución del personal de la Planta de Checa.	63
<b>Tabla 3.7:</b> Distribución del personal de la Central Hidroeléctrica El Carmen	64

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 3.8:</b> Distribución del personal en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.	65
<b>Tabla 3.9:</b> Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Planta de Bellavista.	67
<b>Tabla 3.10:</b> Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Planta de Bellavista.	67
<b>Tabla 3.11:</b> Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Planta de Bellavista.	68
<b>Tabla 3.12:</b> Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Planta de Bellavista, medido en dirección a la fuente.	68
<b>Tabla 3.13:</b> Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Planta de Noroccidente.	69
<b>Tabla 3.14:</b> Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Planta de Noroccidente.	69
<b>Tabla 3.15:</b> Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Planta de Noroccidente.	70
<b>Tabla 3.16:</b> Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Planta de Noroccidente, medido en dirección a la fuente.	70
<b>Tabla 3.17:</b> Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Planta de Checa.	71
<b>Tabla 3.18:</b> Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Planta de Checa.	71
<b>Tabla 3.19:</b> Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Planta de Checa, medido en dirección a la fuente.	72



	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 3.20:</b> Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Central Hidroeléctrica El Carmen.	72
<b>Tabla 3.21:</b> Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Central Hidroeléctrica El Carmen.	72
<b>Tabla 3.22:</b> Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Central Hidroeléctrica El Carmen.	73
<b>Tabla 3.23:</b> Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Central Hidroeléctrica El Carmen, medido en dirección a la fuente.	73
<b>Tabla 3.24:</b> Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.	74
<b>Tabla 3.25:</b> Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.	74
<b>Tabla 3.26:</b> Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.	75
<b>Tabla 3.27:</b> Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Central Recuperadora del Sistema Papallacta, medido en dirección a la fuente.	75
<b>Tabla 3.28:</b> Dosificación y tiempo máximo de exposición al nivel de ruido existente en las áreas críticas de las cinco instalaciones seleccionadas.	77
<b>Tabla 3.29:</b> Nivel de ruido diario equivalente por puesto de trabajo en las cinco instalaciones críticas de la EMAAP-Q.	79
<b>Tabla 3.30:</b> Datos de atenuaciones conseguidas con protectores auditivos tipo orejeras, proporcionados por especificaciones de fabricantes.	82
<b>Tabla 3.31:</b> Atenuaciones reales conseguidas con protectores auditivos tipo Orejeras.	83

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 3.32:</b> Reducción del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) percibido, mediante el uso de protectores auditivos tipo orejera, Planta de Bellavista.	84
<b>Tabla 3.33:</b> Reducción del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) con el uso de protectores auditivos tipo orejeras, Central Hidroeléctrica El Carmen.	85
<b>Tabla 3.34:</b> Reducción del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) con el uso de protectores auditivos tipo orejeras, Central Recuperadora Papallacta.	85
<b>Tabla 3.35:</b> Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Planta de Bellavista.	87
<b>Tabla 3.36:</b> Resultados de cálculos a diferentes frecuencias aplicando pérdidas por transmisión del acero como material de confinamiento.	90
<b>Tabla 3.37:</b> Resultados de cálculos del nivel de presión sonora a diferentes frecuencias a 15 m de distancia del generador cuando éste ha sido confinado, Planta de Bellavista.	91
<b>Tabla 3.38:</b> Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora a 5 m de distancia del área de carga y descarga de cloro, y la bodega, Planta de Bellavista.	92
<b>Tabla 3.39:</b> Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora implementando una barrera rígida en el cerramiento del área de caga y descarga de cloro, y la bodega, Planta de Bellavista.	93
<b>Tabla 3.40:</b> Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Planta de Noroccidente.	94
<b>Tabla 3.41:</b> Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.	96

<b>Tabla 3.42:</b>	Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, sustituyendo el techo de zinc por losa de hormigón, Planta de Noroccidente.	98
<b>Tabla 3.43:</b>	Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, sustituyendo el techo de zinc por celotex, Planta de Noroccidente.	99
<b>Tabla 3.44:</b>	Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, utilizando una barrera rígida en el camino de la transmisión, Planta de Noroccidente.	102
<b>Tabla 3.45:</b>	Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido por la dosificación de cloro hacia la zona de almacenamiento de cloro gas, en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.	104
<b>Tabla 3.46:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente desde la zona de almacenamiento de cloro gas, ubicada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.	106
<b>Tabla 3.47:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el camino de la propagación, bombas del Sistema Cochabamba-Atucucho, Planta de Noroccidente.	109
<b>Tabla 3.48:</b>	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Planta de Checa.	110
<b>Tabla 3.49:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, a 3 m de distancia de las bombas de filtros, Planta de Checa.	110

<b>Tabla 3.50:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, a 1 m de distancia del área de adición de sulfato de aluminio, Planta de Checa.	112
<b>Tabla 3.51:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para determinación del NPS a 8 m del área de cloración, Planta de Checa.	113
<b>Tabla 3.52:</b>	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Central Hidroeléctrica El Carmen.	113
<b>Tabla 3.53:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora a 38 m de la turbina, sector transformadores, Central Hidroeléctrica El Carmen.	115
<b>Tabla 3.54:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora a 38 m de la turbina, con implementación de barrera rígida, cerramiento sector transformadores, Central Hidroeléctrica El Carmen.	115
<b>Tabla 3.55:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina, alojada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Central Hidroeléctrica El Carmen.	117
<b>Tabla 3.56:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina en el sector de la puerta posterior, con influencia de la caída de agua, bajo las condiciones actuales, Central Hidroeléctrica El Carmen.	119
<b>Tabla 3.57:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina, alojada en un espacio cerrado, reemplazando ventanas simples por ventanas dobles, Central Hidroeléctrica El Carmen.	120
<b>Tabla 3.58:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido por la turbina, al ambiente, si se implementa una barrera rígida en el camino de la transmisión, Central Hidroeléctrica El Carmen.	122

<b>Tabla 3.59:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora a 15 m de distancia de la caída de agua, Central Hidroeléctrica El Carmen.	124
<b>Tabla 3.60:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido a 15 m de distancia de la caída de agua, utilizando aglomerado de madera como material de confinamiento, Central Hidroeléctrica El Carmen.	125
<b>Tabla 3.61:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido a 15 m de distancia de la caída de agua, utilizando planchas de hormigón como material de confinamiento, Central Hidroeléctrica El Carmen.	126
<b>Tabla 3.62:</b>	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	128
<b>Tabla 3.63:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, turbina, sector transformadores, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	129
<b>Tabla 3.64:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora a 15 m de distancia de la caída de agua, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	130
<b>Tabla 3.65:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido por la caída de agua, si utiliza planchas de hormigón como material de confinamiento, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	131
<b>Tabla 3.66:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora, si se implementa una barrera rígida en el camino de la transmisión, caída de agua, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	132
<b>Tabla 3.67:</b>	Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora si se implementa una barrera rígida en el camino de la transmisión, sector válvula disipadora, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	135

<b>Tabla 3.68:</b>	Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Planta de Bellavista	135
<b>Tabla 3.69:</b>	Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Planta de Noroccidente.	136
<b>Tabla 3.70:</b>	Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Planta de Checa.	137
<b>Tabla 3.71:</b>	Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Central Hidroeléctrica El Carmen.	137
<b>Tabla 3.72:</b>	Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Central Recuperadora Sistema Papallacta.	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.1:</b> Curvas de Ponderación A y C	5
<b>Figura 1.2:</b> Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es continuo.	9
<b>Figura 1.3:</b> Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es fluctuante.	10
<b>Figura 1.4:</b> Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es intermitente.	10
<b>Figura 1.5:</b> Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es impulsivo.	11
<b>Figura 1.6:</b> Ejemplo de forma de onda de un ruido blanco.	11
<b>Figura 1.7:</b> Ejemplo de encerramiento de la fuente con absorción sonora en el interior.	22
<b>Figura 1.8:</b> Ejemplo de encerramiento de la fuente con materiales sólidos o de gran peso.	23
<b>Figura 2.1:</b> Atenuación por barrera rígida en función del número de Fresnel.	39
<b>Figura 3.1:</b> Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Toctiuco comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	50
<b>Figura 3.2:</b> Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Bellavista comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	51
<b>Figura 3.3:</b> Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Noroccidente comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	51

<b>Figura 3.4:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Rumipamba comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	52
<b>Figura 3.5:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Conocoto comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	52
<b>Figura 3.6:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de El Troje comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	53
<b>Figura 3.7:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Chilibulo comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	53
<b>Figura 3.8:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Chilibulo Alto comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	54
<b>Figura 3.9:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Yaruquí comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	54
<b>Figura 3.10:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Checa comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	55
<b>Figura 3.11:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Guayllabamba comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	55
<b>Figura 3.12:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Central Recuperadora Sistema Papallacta comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	56
<b>Figura 3.13:</b>	Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Central Hidroeléctrica El Carmen comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.	56



- Figura 3.14:** Variación del nivel de presión sonora con la frecuencia con y sin implementación de barrera rígida, carga de carga y descarga de cloro y bodega, Planta de Bellavista. 94
- Figura 3.15:** Comparación de la variación del nivel de presión sonora con la frecuencia, bajo condiciones actuales, e implementación de barrera rígida, sector turbina, Central Hidroeléctrica El Carmen. 123
- Figura 3.16:** Comparación entre la variación del nivel de presión sonora con la frecuencia, bajo condiciones actuales, y utilizando aglomerado de madera o planchas de hormigón como material de confinamiento, caída de agua, Central Hidroeléctrica El Carmen. 127
- Figura 3.17:** Comparación entre la variación del nivel de presión sonora con la frecuencia bajo condiciones normales y utilizando confinamiento de la fuente o implementación de barrera rígida, sector caída de agua, Central Recuperadora Sistema Papallacta. 133

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

		<b>PÁGINA</b>
<b>Fotografía 1.1:</b>	Ejemplo de sonómetro integrador	19
<b>Fotografía 1.2:</b>	Ejemplo de dosímetro	20
<b>Fotografía 1.3:</b>	Ejemplo de barrera acústica de carretera (Alemania)	23
<b>Fotografía 3.1:</b>	Ubicación del generador eléctrico respecto del sitio de medición , Planta de Bellavista.	88
<b>Fotografía 3.2:</b>	Ejemplo de cabina de isonorización a utilizarse en el generador eléctrico, Planta de Bellavista.	89
<b>Fotografía 3.3:</b>	Central Hidroeléctrica El Carmen, área de Transformadores	114
<b>Fotografía 3.4:</b>	Válvula disipadora de energía, Central Reguladora Sistema Papallacta.	134

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b>	
Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009.	145
<b>ANEXO II</b>	
Coefficientes de Absorción de Diferentes Materiales de Construcción	152
<b>ANEXO III</b>	
Pérdidas por Transmisión de Diferentes Materiales de Construcción	153
<b>ANEXO IV</b>	
Curvas para el Cálculo de la Pérdida por Transmisión Resultante al Considerar Dos Superficies de Materiales Distintos	154
<b>ANEXO V</b>	
Ejemplo de Cálculo del Nivel de Ruido Diario Equivalente en dB(A)	155
<b>ANEXO VI</b>	
Especificaciones Técnicas de Diferentes Tipos de Protectores Auditivos	156

## RESUMEN

El desarrollo de la presente Tesis tiene por objetivo analizar y evaluar las condiciones actuales de operación en cinco instalaciones críticas de la EMAAP-Q en cuanto a la generación de ruido y su afectación a la salud y al ambiente, a fin de establecer propuestas de acciones de control que permitan cumplir con los límites establecidos en las normativas correspondientes.

De las 20 plantas de potabilización y 2 centrales hidroeléctricas que opera la EMAAP-Q, se han seleccionado a las Plantas de Bellavista, Noroccidente y Checa, y a las Centrales Hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora del Sistema Papallacta, debido a su generación elevada de ruido, evaluada en función de la información existente en esta Empresa desde el año 2007, referente a las mediciones de ruido ambiental que se realiza de manera trimestral, en cumplimiento de la Ordenanza Metropolitana N° 213.

En estas cinco instalaciones, se han identificado los procesos y fuentes emisoras que representan un peligro potencial para la salud de los trabajadores y que ocasionan impactos al ambiente, para luego realizar mediciones del nivel de presión sonora, estableciendo áreas y condiciones críticas a nivel ambiental y ocupacional, información que ha permitido evaluar el cumplimiento o incumplimiento a las normativas aplicables, ambientales y ocupacionales. A partir de estos datos se han presentado propuestas de control del ruido técnica y financieramente factibles de implementarse en la EMAAP-Q.

Como soluciones más eficientes se encuentran: la construcción de barreras rígidas, modificación del recinto mediante el empleo de materiales que mejoran su absorción acústica, confinamiento de la fuente, utilización de equipos de protección individual para el personal expuesto, y medidas administrativas.

## **INTRODUCCIÓN**

El continuo crecimiento industrial, producto del avance tecnológico actual ha contribuido considerablemente al incremento del nivel de ruido en la comunidad, afectando a la salud de los trabajadores expuestos a altos niveles de ruido durante su jornada laboral, y a la población en general debido a la propagación sonora hacia el ambiente externo.

Frente al ruido industrial y sus efectos dañinos sobre la salud y el ambiente, en nuestro país se han adoptado una serie de medidas enfocadas hacia la prevención de riesgos, mediante la aplicación de leyes, normativas y reglamentos.

El ruido constituye un efecto no deseado dentro de toda actividad, por lo que debe ser considerado como un factor de contaminación ambiental relevante, ya que, al propagarse por el aire, el agua o el suelo, modifica los ecosistemas y perjudica la calidad de vida de las personas, causando daños irreparables a la salud, por lo que es necesario dedicar esfuerzos y recursos para su control hasta niveles aceptables.

Resulta importante para la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito EMAAP-Q tomar acciones respecto a los niveles actuales de emisión de ruido tanto en el ámbito ocupacional como ambiental en sus instalaciones, de modo que se cuente con una evaluación que permita reducir este nivel de ruido hasta alcanzar el cumplimiento de las normativas aplicables, y realizar un adecuado seguimiento que determine posibles riesgos y proponga acciones para combatirlos. Estos requerimientos se pretenden cubrir con el desarrollo de la presente Tesis, a fin de mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 RUIDO

El sonido consiste en una variación de presión sobre la presión atmosférica, con frecuencia relativamente elevada, producida por la vibración de un cuerpo, que se transmite en un medio, ya sea sólido, líquido o gaseoso y que el oído humano puede detectar como una sensación percibida a través del órgano auditivo. El ruido se define como el sonido peligroso, molesto, inútil o desagradable (Falagán *et al.*, 2000).

Las magnitudes características que permiten la cuantificación del ruido son la presión sonora y la frecuencia. La presión sonora se relaciona con la percepción de volumen o intensidad de sonido y la frecuencia con la percepción del tono (INSHT, 2005).

### 1.1.1. PRESIÓN SONORA

Es una medida de la amplitud de las variaciones de presión, cuanto mayor sean el aumento o la disminución respecto al valor medio mayor será la presión sonora y mayor será la sensación de volumen. En términos matemáticos se define con la ecuación:

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt} \quad [1.1]$$

Donde:

p(t) valor instantáneo de la presión sonora

p valor de la presión sonora

t tiempo instantáneo

T tiempo total

La importancia de esta magnitud reside en que la cantidad de energía sonora que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo es directamente proporcional al cuadrado de la presión sonora eficaz, o sea que al medir o citar la presión sonora se está hablando de la cantidad de energía sonora que llega a un lugar (por ejemplo, el oído de un trabajador).

El oído humano es capaz de percibir aproximadamente presiones sonoras desde 20μPa (umbral de audición) hasta 200Pa (umbral de dolor), este rango tan amplio resulta incómodo y es habitual utilizar una escala logarítmica relativa, cuya unidad es el decibelio (dB). La definición de esta escala es:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad [1.2]$$

Donde:

$L_p$  = nivel de presión sonora (dB)

$p$  = presión sonora (Pa)

$p_0$  = 20μPa

Con la definición de esta escala, el valor mínimo de sensibilidad auditiva corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB y el umbral de dolor resulta ser 140 dB (INSHT, 2005).

Otro motivo para utilizar una escala logarítmica se basa en el hecho de que el oído humano tiene una respuesta al sonido que se parece a una función logarítmica, es decir, la sensación que se percibe es proporcional al logaritmo de la excitación recibida. Este hecho es muy fácil de comprobar, ya que el colocar juntas dos fuentes de ruido idénticas no producen el doble de sensación que una sola.

De todas las escalas propuestas, la denominada “escala A” es prácticamente la única que se usa, ya que experimentalmente se ha comprobado que los niveles

sonoros medidos utilizando esta escala se correlacionan bastante bien con las pérdidas auditivas inducidas por ruido.

También es frecuente que los instrumentos de medida dispongan la escala C, que equivale en la práctica a la medida sin ponderación (lineal).

Los valores de las escalas A y C se indican en la tabla y gráfico siguientes:

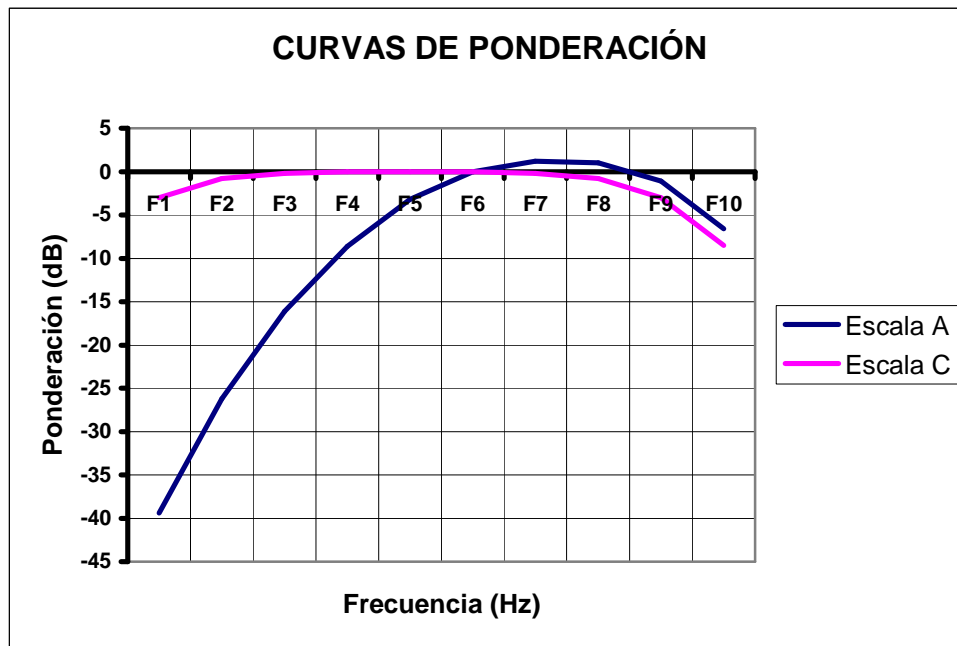
**Tabla Nº 1.1.** Escalas de Ponderación A y C

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Ponderación A (dB)</b>	<b>Ponderación C (dB)</b>
20	-50,5	-6,2
25	-44,7	-4,4
31.5	-39,4	-3
40	-34,6	-2
50	-30,2	-1,3
63	-26,2	-0,8
80	-22,5	-0,5
100	-19,1	-0,3
125	-16,1	-0,2
160	-13,4	-0,1
200	-10,9	0
250	-8,6	0



**Continuación Tabla N°1.1. Escalas de Ponderación A y C**

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Ponderación A (dB)</b>	<b>Ponderación C (dB)</b>
315	-6,6	0
400	-4,8	0
500	-3,2	0
630	1,9	0
800	-0,8	0
1000	0	0
1250	0,6	0
1600	1	-0,1
2000	1,2	-0,2
2500	1,3	-0,3
3150	1,2	-0,5
4000	1	-0,8
5000	0,5	-1,3
6300	-0,1	-2
8000	-1,1	-3
10000	-2,5	-4,4
12500	-4,3	-6,2
16000	-6,6	-8,5



F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz	16 000 Hz

**Figura N° 1.1.** Curvas de Ponderación A y C

### 1.1.2. POTENCIA ACÚSTICA

Es la cantidad de energía sonora que radia una fuente sonora en la unidad de tiempo y se mide en watts, aunque es común utilizar una escala logarítmica relativa de nivel de potencia sonora, que se designa con el símbolo  $L_w$  y cuya unidad es el dB:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [1.3]$$

Donde

$L_w$  nivel de potencia sonora (dB)

$W$  potencia sonora (watts)

$W_0$  valor de referencia = 1pW ( $10^{-12}$  W)

La potencia sonora indica la totalidad de energía sonora emitida en la unidad de tiempo por una fuente acústica determinada y por tanto es una característica de la propia fuente, independientemente de cómo y dónde esté situada (INSHT, 2005).

### 1.1.3. INTENSIDAD ACÚSTICA

Es la cantidad de energía que en la unidad de tiempo atraviesa una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la propagación de las ondas sonoras. Es la propiedad del sonido que hace que éste se oiga fuerte o débil, cuanto más fuertes sean las compresiones y dilataciones de las capas de aire, más intenso será el sonido. En la escala de intensidades el umbral auditivo es de  $10 - 12 \text{ w/m}^2$  y el umbral de dolor es  $25 \text{ w/m}^2$ .

A medida que la onda sonora se va alejando de la fuente que la origina, cubre una mayor superficie, con lo que su intensidad disminuye hasta hacerse imperceptible.

La intensidad acústica está expresada por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad \text{w/m}^2 \quad [1.4]$$

Donde

$p^2$             valor eficaz de la presión sonora

$\rho$              densidad del medio

$c$              velocidad del sonido

También puede definirse con la siguiente expresión:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB} \quad [1.5]$$

La intensidad de referencia comúnmente utilizada es  $10^{-12} \text{ w/m}^2$ .

La potencia acústica y la intensidad acústica se encuentran relacionadas en la siguiente ecuación:

$$W = 4\pi r^2 I \quad [1.6]$$

(Falagán *et al.*, 2000).

#### 1.1.4. ADICIÓN DE NIVELES SONOROS

Cuando se requiere determinar el nivel de ruido resultante debido a la producción simultánea de ruidos de nivel conocido, las magnitudes no son directamente aditivas al tratarse de escalas logarítmicas, por lo que la presión sonora resultante de la superposición de dos o más sonidos está dada por:

$$p_T^2 = \sum p_i^2 \quad [1.7]$$

Expresada en términos de nivel de presión sonora es la siguiente:

$$L_{p_T} = 10 \log \sum 10^{L_{p_i}/10} \quad [1.8]$$

Donde:

$L_{p_T}$  nivel de presión sonora resultante

$L_{p_i}$  niveles sonoros de los componentes

En muchas ocasiones no es posible determinar el ruido generado por una máquina o instalación en forma independiente de otros ruidos, lo que se conoce como ruido de fondo. En estos casos se puede estimar el nivel sonoro del ruido generado por la máquina o instalación midiendo el nivel sonoro con la máquina en funcionamiento y con la máquina parada y restando los niveles (INSHT, 2005).

Para obtener la diferencia de dos niveles sonoros se emplea la siguiente expresión:

$$L_{p_0} = 10 \log \left( 10^{L_{pT}/10} - 10^{L_{pF}/10} \right) \quad [1.9]$$

Donde:

$L_{p_0}$  nivel sonoro de la instalación objeto a medir (dB)

$L_{pT}$  nivel sonoro total (dB)

$L_{pF}$  nivel sonoro de fondo (dB)

### 1.1.5. BANDAS DE FRECUENCIA

Para decidir las medidas de atenuación que deben adoptarse ante un problema de ruido, es necesario conocer no sólo el nivel de presión acústica, sino que es preciso conocer además cómo la energía acústica se distribuye en cada uno de los rangos de frecuencia que componen el sonido o ruido problema.

El margen de frecuencias audibles (20Hz a 20kHz) se divide en bandas. Una banda es un intervalo de frecuencias definido por una frecuencia inferior y una frecuencia superior (Falagán *et al.*, 2000)

En acústica es habitual utilizar bandas proporcionales en las que la frecuencia superior es proporcional a la frecuencia inferior, la más utilizada es la banda de octava en la que la frecuencia superior es el doble de la inferior. El nombre de octava se deriva del hecho de que una de estas divisiones abarca las ocho notas de la escala diatónica musical. Se denomina frecuencia central de la banda a la media geométrica de las frecuencias extremas, y que se utiliza para denominar la banda. Así la banda con frecuencias extremas de 707 Hz y 1414 Hz se denomina banda de octava de 1000 Hz.

También es frecuente utilizar bandas de 1/3 de octava que se obtienen al dividir una banda de octava en tres partes, en consecuencia la relación entre frecuencia superior e inferior de una banda de tercio de octava será  $\sqrt[3]{2}$  (INSHT, 2005).

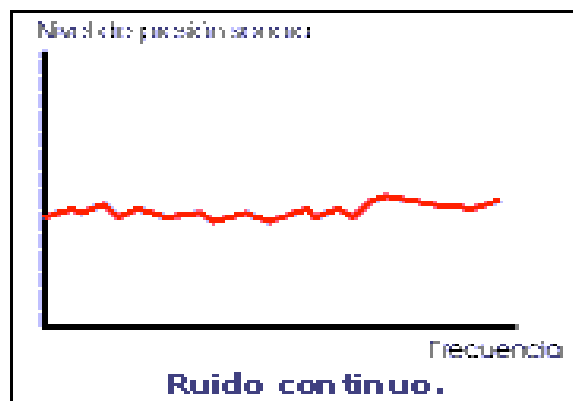
En un sonido cualquiera el nivel de presión acústica total es la suma logarítmica de los niveles de las distintas bandas de frecuencia.

### 1.1.6. TIPOS DE RUIDO

Atendiendo a la forma de presentación temporal los ruidos se clasifican en:

#### ***Ruido continuo estable***

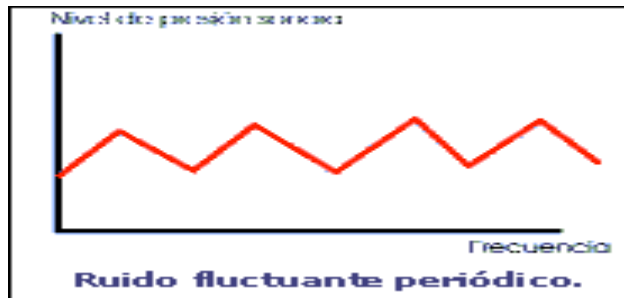
Es aquel cuyo nivel de presión sonora permanece casi constante con fluctuaciones inferiores o iguales a 5 dB(A) durante un periodo de medición de un minuto. Se caracteriza por niveles de presión sonora que no presentan cambios rápidos o repentinos.



**Figura Nº 1.2.** Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es continuo.

#### ***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 (Robledo, 2007)



**Figura Nº 1.3.** Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es fluctuante.

### ***Ruido Intermitente***

Presenta características estables o fluctuantes durante un segundo o más, seguidas por interrupciones mayores o iguales a 0,5 segundos (Corzo, 2003)

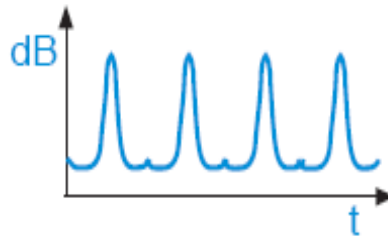


**Figura Nº 1.4.** Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es intermitente.

### ***Impulsivo o de 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 (Robledo, 2007).

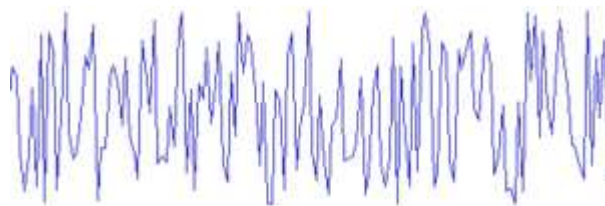
Existen fuentes de ruido artificiales o generadores de ruido que emiten ruido blanco o rosa. Estos generadores de ruido son utilizados en acústica para realizar ciertas mediciones como aislamiento acústico, insonorización, reverberación, etc.



**Figura N° 1.5.** Variación del nivel de presión sonora con el tiempo cuando el ruido es impulsivo.

### ***Ruido Blanco***

El ruido blanco, denominado así por asociación con la luz blanca, se caracteriza por su distribución uniforme en el espectro audible (20 Hz a de 20 kHz). Es decir, es un ruido cuya respuesta en frecuencia es plana, lo que significa que su intensidad (amplitud de sonido) es constante para todas las frecuencias.



**Figura N° 1.6.** Ejemplo de forma de onda de un ruido blanco.

### ***Ruido rosa o rosado***

La respuesta en frecuencia del ruido rosa no es plana, su intensidad decae 3 decibelios por octava.



El ruido rosa que emiten los generadores de ruido se utiliza con filtros de 1/3 de banda de octava para medir la acústica de salas. Se elige 1/3 de octava para el filtro porque es a partir de ahí cuando el oído es capaz de detectar irregularidades en la respuesta en frecuencia).

### ***Ruido marrón***

No es un ruido muy común pero existente en la naturaleza. El ruido marrón compuesto principalmente por ondas graves y medias (Wikipedia, 2009).

## **1.2 EFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD**

El ruido produce efectos tanto sobre la audición como sobre otros órganos y sistemas del cuerpo humano.

La acción de un ruido intenso sobre el organismo se manifiesta de varias formas, por acción refleja o por repercusión sobre el psiquismo del individuo, con las siguientes consecuencias:

- Acción sobre el aparato circulatorio: aumento de presión arterial, ritmo cardíaco y vaso-constricción periférica.
- Acción sobre el sistema muscular aumentando la tensión, sobre el aparato digestivo produciendo inhibición del mismo, sobre el aparato respiratorio modificando el ritmo, etc.

Todas estas acciones son pasajeras y se producen inconscientemente y con independencia de la sensación de desagrado o malestar.

En el orden psicológico el ruido causa generalmente molestia y desagrado, dependiendo de factores objetivos y subjetivos. El desagrado es más fuerte cuando los ruidos son intensos y de alta frecuencia, los ruidos discontinuos e inesperados molestan más que los habituales, el tipo de actividad desarrollada por el individuo tiene también influencia en el desagrado que éste experimenta, etc.

El ruido dificulta la comunicación e impide percibir las señales y avisos de peligro, hecho que puede ser también causa de accidentes (Falagán *et al.*, 2000)

### **1.2.1 EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A RUIDO EN LA AUDICIÓN**

Una única exposición a un ruido brusco e intenso de nivel de pico muy elevado (disparo, explosión, etc.) puede producir la rotura de tímpano o daños en la cadena de huesos del oído medio y ocasionar una disminución de la capacidad auditiva. Este tipo de hipoacusia se llama de transmisión y no hay daños en el órgano de Corti. Admite tratamiento curativo y generalmente es reversible, salvo complicaciones.

Más importantes, dado que son más graves y afectan a mayor número de personas, son los efectos auditivos de ruidos menos intensos, pero más persistentes, que pueden provocar sobre el oído daños a largo plazo.

La consecuencia de la exposición continuada a ruido es la pérdida de sensibilidad o disminución de la capacidad auditiva, la misma que puede ser temporal o permanente.

La pérdida temporal se produce inmediatamente después de una exposición a ruido intenso y se recupera el estado normal de audición al cabo de unas horas. Este efecto se produce como consecuencia de los mecanismos fisiológicos de defensa frente a una agresión externa; el efecto neto es una disminución de la capacidad auditiva, pero al cesar la agresión se recupera lentamente el funcionamiento normal y por ello la capacidad auditiva se recupera en un plazo de pocas horas.

La pérdida permanente de capacidad auditiva se produce como consecuencia de una exposición a ruido intensa y prolongada (varios años) y es debida a la destrucción de los terminales del nervio auditivo del caracol. Se trata de una hipoacusia de percepción ya que, aunque toda la cadena de transmisión se mantiene en perfecto estado, falla el elemento encargado de transformar el

fenómeno ambiental en sensación nerviosa. Esta alteración de la audición ocurre lentamente, de tal manera que primero aparecen una serie de síntomas a los que no se da importancia, como son la dificultad para oír ruidos cotidianos como el timbre de la puerta, el televisor a un volumen normal; suelen aparecer dificultades de relación con los demás, aumento de la irritabilidad, así como otros síntomas de difícil relación con el ruido, pero que están relacionados con una posible lesión auditiva.

El proceso de destrucción de las terminales nerviosas del oído interno es muy lento, y no todas se lesionan a la vez ni de la misma manera, generalmente son las sensibles a los tonos agudos de frecuencia próxima a 4kHz las primeras en dañarse, extendiéndose progresivamente la lesión al resto de frecuencias.

La hipoacusia inducida por ruido es bilateral y casi siempre simétrica, es decir, afecta a los dos oídos por igual, es irreversible, es decir, no se puede recuperar la audición a los límites normales; y no evolutiva, ya que habitualmente no progresa al cesar la exposición (INSHT, 2005).

### **1.2.2. EFECTOS NO AUDITIVOS DE LA EXPOSICIÓN A RUIDO**

Además de la pérdida auditiva, también se atribuyen al ruido una serie de efectos fisiológicos negativos, tales como:

#### ***Respiratorios:***

La exposición a ruido puede ocasionar un aumento de la frecuencia respiratoria que cesa al cesar la exposición.

#### ***Cardiovasculares:***

Aumento de trastornos tales como hipertensión arterial y arteriosclerosis.

#### ***Digestivos:***

Aumento de la incidencia de úlceras gastroduodenales y de la acidez.

**Visuales:**

Alteraciones de la agudeza visual, el campo visual y la visión cromática.

**Sistema nervioso:**

Alteraciones en el electroencefalograma, trastornos del sueño, cansancio, irritabilidad, inquietud, inapetencia sexual.

**Endocrinos:**

Alteraciones en el funcionamiento normal de diversas glándulas como la hipófisis, tiroides, suprarrenales, etc. ocasionando variaciones de la concentración en la sangre de las hormonas que segregan.

En estas alteraciones de tipo no auditivo, la relación causa-efecto con el ruido, no es única, sino que posiblemente el ruido es un factor que contribuye, junto con otros factores, a los efectos citados y no está clara la importancia relativa de cada uno de ellos.

También tiene importancia el efecto que ocasiona el ruido de disminuir la capacidad de atención y el aumento del tiempo de reacción, lo que favorece el aumento de errores y el consiguiente incremento de accidentes de trabajo (INSHT, 2005).

**1.2.3. FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS AL RUIDO**

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

***Nivel de intensidad del ruido***

Niveles sonoros inferiores a 80 dB, no son peligrosos para la audición durante períodos largos 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 lo tanto debe evitarse.

### ***Rango de frecuencias***

Los tonos agudos resultan ser más traumáticos que los graves. Se requiere menos intensidad de sonido para que un tono agudo tenga el mismo efecto traumático que uno grave ya que llega antes al umbral de audición.

### ***Exposición diaria***

La exposición diaria de varias horas, durante muchos años, crea lesiones definitivas en forma progresiva, por lo tanto, 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.

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

Mientras más prolongada sea la exposición a ruido, mayor resulta ser el riesgo. La sordera se agrava en forma progresiva con el transcurso del tiempo.

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

Considerando ruidos de características comparables o de intensidades sonoras y espectros de frecuencia iguales y para una exposición total idéntica, los ruidos por impacto son más nocivos que los ruidos continuos.

### ***Susceptibilidad individual***

Influye en la rapidez de instalación 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.

## **Género**

Parece ser que las mujeres son menos susceptibles a pérdidas auditivas que los hombres.

## **Edad**

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

## **Afecciones anteriores del oído**

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

(Robledo, 2007)

## **1.3. EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE RUIDO**

Entre los aparatos más utilizados para mediciones de ruido se encuentran:

### **Sonómetros**

Es el instrumento para las mediciones acústicas más simple y está diseñado para determinar el nivel sonoro con intercalación de unos adecuados circuitos de ponderación de frecuencias.

Un sonómetro está constituido, esencialmente por los siguientes elementos:

*Micrófono:* transductor que transforma las variaciones de presión en variaciones idénticas de una magnitud eléctrica (normalmente una tensión), dispone de un conjunto de circuitos electrónicos para acondicionar la señal y obtener su valor eficaz.

*Amplificador de señal:* debe tener una ganancia estable y suficiente que cubra el margen dinámico del micrófono.

*Atenuador:* consiste en una red de resistencias eléctricas calibradas y ajustadas insertadas en el amplificador para disminuir el nivel de la señal eléctrica.

*Filtros de ponderación (A,C, Lineal):* están conformados por circuitos de atenuación predeterminadas A y C cuyo objetivo es el de indicar un valor aproximado del nivel sonoro total. La respuesta humana al ruido varía con la intensidad y la frecuencia.

Además de la posibilidad de seleccionar la escala de ponderación, los sonómetros disponen de un selector para elegir la velocidad de respuesta. Las normas de ensayo definen tres velocidades de respuesta: lenta, rápida e impulsiva, esta característica es una indicación del tiempo que tarda el instrumento en indicar el valor correcto del nivel sonoro de una señal estable, y se definen para saltos bruscos del nivel sonoro tanto en aumento como en disminución. Los valores normalizados son: 1 segundo para respuesta lenta, 125 ms para rápida y 35 ms en ascenso y 1s en descenso para impulsiva (INSHT, 2005).

### ***Analizadores de frecuencia***

Cuando el valor eficaz de una señal sonora no es suficiente para describir adecuadamente un ruido con el fin de analizar sus causas o sus efectos, se debe disponer de un analizador de frecuencia. Estos aparatos indican la distribución del sonido en función de su frecuencia, lo cual permite el análisis de las características de un ruido.

El análisis o distribución espectral del ruido se debe hacer en el rango de frecuencia de interés en banda de octava o de un tercio de octava.

Para la banda de octava: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz

Para un tercio de octava: 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 4000, 5000, 6300, y 8000 Hz.

### ***Sonómetros integradores***

Algunos instrumentos actuales disponen de funciones adicionales como memorias, posibilidad de elaborar los datos, conexión a computadores para volcado de series de mediciones y elaboración posterior, etc.

Una de las funciones más útiles es el cálculo del nivel sonoro equivalente, que se define como el nivel que debería tener un ruido de nivel constante para que la cantidad de energía sonora sea la misma que la del ruido real, suponiendo que ambos tienen la misma duración, a este tipo de sonómetro se lo conoce como integrador.



**Fotografía 1.1.** Ejemplo de sonómetro integrador

### ***Medidor de impacto:***

Mide las características de sonido de impacto: intensidad acústica y tiempo de duración del impacto.

### ***Dosímetro:***

Cuando el ruido presente frecuentes variaciones en el nivel de presión sonora con respecto al tiempo, se deben emplear dosímetros integradores.



Un dosímetro es un aparato que integra de forma automática los dos parámetros importantes desde el punto de vista higiénico: el nivel de presión acústica y el tiempo de exposición, obteniéndose directamente lecturas de riesgo expresadas en porcentajes de la dosis máxima permitida legalmente para ocho horas diarias de exposición al riesgo.

El dosímetro se debe utilizar cuando el trabajador está expuesto a niveles de ruido diferentes, dadas las características de su oficio, por desplazamiento a diferentes áreas o sitios de trabajo, o por la utilización de diferentes equipos durante la jornada laboral.

El dosímetro está compuesto por un micrófono y circuitos similares a los sonómetros, siendo sus componentes: micrófono, filtro de ponderación A y preamplificador, amplificador, detector de nivel eficaz, detector de alto y bajo nivel de ruido, contador e integrador (Robledo, 2007).



**Fotografía N° 1.2.** Ejemplo de dosímetro

## **1.4. CONTROL DE RUIDO**

### **1.4.1. CONTROL TÉCNICO DEL RUIDO**

Para minimizar los efectos perjudiciales que el ruido tiene para los trabajadores, en la medida de lo posible deben adoptarse medidas tendentes a disminuir el nivel de ruido al que están expuestos; ello se puede conseguir disminuyendo la generación de ruido en el origen (foco), disminuyendo el nivel

de presión acústica en el ambiente desde el origen al receptor (transmisión) y disminuyendo el nivel de presión acústica en el trabajador (receptor).

#### **1.4.1.1 REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE RUIDO**

Para disminuir el ruido emitido por una máquina o instalación es necesario tener presente que el ruido es consecuencia de la vibración de un sólido o de turbulencias en el flujo de un fluido, por tanto cualquier medida para disminuir vibraciones o turbulencias tendrá un respuesta inmediata en la disminución del nivel sonoro, por lo que el mantenimiento preventivo resulta básico para evitar la aparición de niveles sonoros elevados en las máquinas o instalaciones.

Dentro de las acciones que pueden disminuir el nivel de ruido se pueden citar:

- Modificar los procesos para evitar aplicaciones de fuerzas de elevada intensidad durante poco tiempo utilizando en su lugar sistemas de aplicación de fuerzas de menor intensidad durante un tiempo mayor (atornillar en lugar de clavar, doblar mediante presión en lugar de golpear, corte progresivo en lugar de corte instantáneo).
- Cerramientos totales o parciales de una máquina, o parte de ella, para impedir la emisión de ruido hacia el exterior.
- Recubrimiento de superficies metálicas con materiales viscoelásticos o pinturas especiales (caucho o látex) para amortiguar las vibraciones de esas superficies.
- Fijar la máquina ruidosa (vibrante) al suelo del local a través de un anclaje que garantice una buena atenuación de las vibraciones que ella misma genera en su funcionamiento, evitando así que entren en vibración otras superficies cercanas, que a su vez se convierten en nuevas fuentes de ruido.

- Transmisión por correas, cuya anchura se consiga a base de varias bandas independientes, en lugar de una transmisión cuya anchura se consigue con una única cinta, (INSHT, 2005).

#### 1.4.1.2. REDUCCIÓN EN LA TRANSMISIÓN

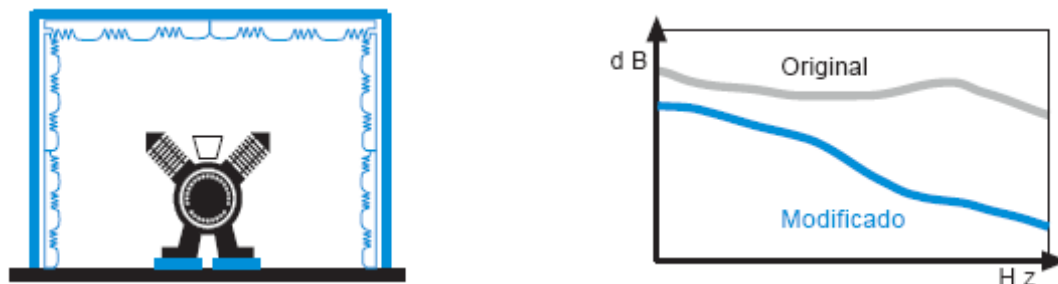
Entre los procedimientos aplicables para controlar el ruido por la vía aérea de la propagación, está el modificar las condiciones de transmisión y la propagación de la onda sonora entre la fuente y el receptor. Tales procedimientos incluyen:

##### ***Ubicar de manera adecuada las fuentes de ruido***

La posición de una fuente de ruido puede provocar diferentes niveles de ruido, dependiendo de las características del local, la orientación y la ubicación que se le dé con respecto a superficies.

##### ***Acondicionamiento acústico de superficies reflectoras de un recinto***

Consiste en disminuir la energía de las ondas sonoras directa y reflejada, absorbiéndola en sus repetidos choques con materiales acústicos adecuados.



**Figura N° 1.7.** Ejemplo de encerramiento de la fuente con absorción sonora en el interior

##### ***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

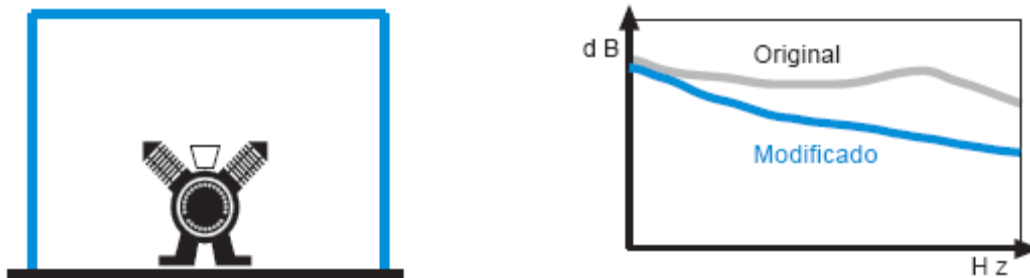
de onda del sonido, del ángulo de reflexión de la onda, del material de construcción y su espesor.



**Fotografía N° 1.3.** Ejemplo de barrera acústica de carretera (Alemania)

### ***Encerramiento de la fuente***

Confinando la onda sonora parcial o totalmente por medio de una envoltura de material aislante del sonido. La reducción es función de la frecuencia del sonido y de la masa por unidad de área del material.



**Figura N° 1.8.** Ejemplo de encerramiento de la fuente con materiales sólidos o de gran peso

### ***Aislamiento del receptor en cabinas***

Se considerará el encerramiento del receptor en cabinas con acondicionamiento acústico, como alternativa de dificultad técnica para aislar de la fuente emisora (Robledo, 2007).

### **1.4.1.3. REDUCCIÓN EN EL RECEPTOR**

Se puede, en primer lugar, diseñar un cerramiento isonorizado que encierre todo el puesto de trabajo y que esté construido con los materiales que presenten una absorción óptima frente al ruido, teniendo en cuenta no sólo las paredes, sino también el suelo y el techo como puntos a proteger frente a la propagación del ruido.

Se puede proporcionar al trabajador un equipo de protección individual (EPI) auditiva (cascos auriculares, tapones) que, correctamente elegidos con el fin de ofrecer la mayor atenuación posible frente a cada tipo de ruido (en función de su intensidad y de su espectro de frecuencias), consiguen que el nivel de presión acústica ponderado percibido por el trabajador sea menor.

La protección individual frente al ruido (orejeras o tapones) sólo debe considerarse como medida complementaria en aquellos casos en que no sea técnicamente posible reducir el nivel sonoro hasta niveles seguros, también mientras se implantan las medidas tendentes a reducirlo, o en algunas circunstancias especiales (acceso esporádico a salas de máquinas, por ejemplo)(INSHT, 2005).

### **1.4.2. CONTROL MEDIANTE MEDIDAS ORGANIZATIVAS**

Sin modificar el nivel de ruido ponderado, para disminuir el nivel de ruido diario equivalente, se puede reducir los tiempos de exposición al ruido, mediante la rotación de los puestos de trabajo. En efecto, el nivel de ruido diario equivalente incluye en su definición el tiempo diario de exposición, de forma que la reducción de este tiempo implica una reducción del nivel de exposición a razón de 3dBA cada vez que se reduce el tiempo a la mitad (INSHT, 2005).

**Tabla N° 1.2.** Tiempo de exposición máximo permisible a diferentes niveles de ruido, según el INSHT.

<b>Nivel equivalente dBA</b>	<b>Duración de la exposición (h/día)</b>	<b>Nivel diario equivalente dBA</b>
90	8	90
92	5	90
93	4	90
95	2.5	90
96	2	90
97	1.5	90
98	1.25	90
99	1	90
100	0.75	90

## **1.5. MARCO LEGAL**

### **1.5.1. RUIDO Y SALUD OCUPACIONAL**

En nuestro país a nivel de ruido ocupacional se aplica el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Decreto Ejecutivo 2393 del Código del Trabajo, en el que consta:

1. La prevención de riesgos por ruidos y vibraciones se efectuará aplicando la metodología expresada en el apartado 4 del artículo 53;

2. El anclaje de máquinas y aparatos que produzcan ruidos o vibraciones se efectuará con las técnicas que permitan lograr su óptimo equilibrio estático y dinámico, aislamiento de la estructura o empleo de soportes antivibratorios;
3. Las máquinas que produzcan ruidos o vibraciones se ubicarán en recintos aislados si el proceso de fabricación lo permite, y serán objeto de un programa de mantenimiento adecuado que aminore en lo posible la emisión de tales contaminantes físicos;
4. Se prohíbe instalar máquinas o aparatos que produzcan ruidos o vibraciones, adosados a paredes o columnas excluyéndose los dispositivos de alarma o señales acústicas;
5. Los conductos con circulación forzada de gases, líquidos o sólidos en suspensión, especialmente cuando estén conectados directamente a máquinas que tengan partes en movimiento siempre y cuando contribuyan notablemente al incremento del ruido y vibraciones, estarán provistos de dispositivos que impidan la transmisión de las vibraciones que generan aquellas mediante materiales absorbentes en sus anclajes y en las partes de su recorrido que atraviesen muros o tabiques;
6. Se fija como límite máximo de presión sonora es de 85 decibeles escala A del sonómetro, medidos en el lugar en donde el trabajador mantiene habitualmente la cabeza, para el caso de ruido continuo con 8 horas de trabajo. No obstante, los puestos de trabajo que demanden fundamentalmente 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:

**Tabla N° 1.3.** Tiempo de exposición máximo permisible a diferentes niveles de ruido por jornada de trabajo, según el INSHT.

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

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 exposiciones intermitentes 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:

$$D = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn} \quad [1.10]$$

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 115dB(A) cualquiera que sea el tipo de trabajo.

**Ruido de impacto:**

Se considera ruido de impacto a aquel cuya frecuencia de impulso no sobrepasa de un impacto por segundo y aquel cuya frecuencia sea superior, se considera continuo.

Los niveles de presión sonora máxima de exposición por jornada de trabajo de 8 horas dependerá del número total de impactos en dicho período de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla Nº 1.4.** Número de impulsos a diferentes niveles de presión sonora máxima, permisibles por jornada de trabajo.

Número de impulsos o impactos por jornada de 8 horas	Nivel de presión sonora máxima (dB)
100	140
500	135
1 000	130
5 000	125
10 000	120

(Decreto Ejecutivo 2393, 1986)

**1.5.2. RUIDO Y MEDIO AMBIENTE**

Según la Norma Técnica para el Control de Ruido Causado por Fuentes Fijas y Móviles, de la Ordenanza Metropolitana Nº 213, el nivel de ruido máximo

permisible en fuentes fijas no podrá transgredir los horarios ni exceder los niveles máximos expresados en dB(A), que se fijan en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 1.5.** Nivel de presión sonora equivalente máxima permisible según tipo se zona de uso de suelo.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE: NPSeq (Db)	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona de Equipamientos y Protección Ecológica	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial Múltiple	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Industrial 1	60	50
Zona Industrial 2	65	55
Zona Industrial 3, 4, 5	70	60

Equipamientos se refiere al suelo destinado a actividades e instalaciones que generen bienes y servicios que posibiliten la recreación, cultura, salud, educación, transporte, servicios públicos e infraestructura. Uso de Protección Ecológica, es el suelo destinado al mantenimiento o recuperación de ecosistemas por razones de calidad ambiental y de equilibrio ecológico.

Zona Residencial Múltiple corresponde a áreas de centralidad en las que coexisten residencia, comercio, industria de bajo y mediano impacto, servicios y equipamientos compatibles o condicionados.

Zona Industrial 2, corresponde a industria de tipología de mediano impacto ambiental.

Zona Industrial 3, 4, 5, corresponde a industria de tipología de alto impacto, peligrosa y mixta.

(DMA, 2008)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. SELECCIÓN DE INSTALACIONES CRÍTICAS DE GENERACIÓN DE RUIDO

La Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito EMAAP-Q, a través del Departamento de Gestión Ambiental, cuenta con registros trimestrales de caracterizaciones de ruido ambiental, realizadas desde el año 2007 en 19 Plantas de Potabilización de Agua, desde el año 2008 en la Central Hidroeléctrica de El Carmen y durante el año 2009 se incluyen monitoreos en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta (Ver Anexo I).

El promedio logarítmico de estos datos se utiliza como referencia para determinar las instalaciones críticas de generación de ruido ambiental que sobrepasan los límites máximos permisibles y que su situación requiere un tratamiento particular. La ecuación empleada para el cálculo del nivel de presión sonora equivalente es la siguiente:

$$NPS_{promedio} = 10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} 10^{\frac{dB_n}{10}} \right] \quad [2.1]$$

Donde:

- $NPS_{promedio}$  nivel de presión sonora equivalente promedio periodo 2007 - 2009
- $dB_n$  nivel de presión sonora en cada periodo de medición considerado.
- $n$  número total de monitoreos registrados por cada fuente en el periodo 2007 -2009 .

Se desprecian los valores reportados en febrero de 2007 en la mayoría de los casos, debido a que no existe corrección de ruido de fondo producido por interferencias con las fuentes circundantes.

Se realizan gráficas comparativas entre los valores promedios y los valores límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica para el Control de Ruido Causado por Fuentes Fijas y Móviles de la Ordenanza Metropolitana N° 213, y se determinan las instalaciones que además de incumplir con la normativa ambiental de ruido, en más del 50% de sus fuentes emisoras superan 50 dB(A), y que además son objeto de control por parte de las Entidades de Seguimiento de la Secretaría de Ambiente.

## **2.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS Y FUENTES DE GENERACIÓN ELEVADA DE RUIDO**

Mediante inspecciones a las instalaciones seleccionadas, se identifican los sitios de medición de ruido, cuyo componente principal de operación es la acción mecánica.

Para realizar esta identificación es necesario preparar previamente el trabajo a realizarse, para lo que se requieren una serie de actividades que se detallan a continuación:

### ***Actividades previas a la visita de reconocimiento***

- Establecimiento del objetivo de la visita.
- Recopilación de información referente al sitio de la visita.
- Realizar contactos preliminares con los interesados, para definir la fecha y hora de la visita.

### ***Actividades durante la visita de reconocimiento***

Para el reconocimiento de los procesos y fuentes de generación de ruido, es necesario el acompañamiento del supervisor u operador encargado de la instalación, considerando los siguientes puntos:

- El orden del recorrido debe seguir el proceso productivo, desde el ingreso del agua cruda hasta la distribución.
- Elaborar los diagramas de ubicación de la maquinaria y equipos.
- Las anotaciones deben ser completas y realizadas en el sitio de inspección.
- Observar los hábitos y costumbres de los trabajadores y tratar de complementar la información requerida con ellos.
- Observar los sistemas utilizados para el control del riesgo.

### ***Actividades posteriores al reconocimiento***

Se definen los procesos y fuentes generadoras de ruido que por su importancia ameritan un estudio más detallado mediante evaluaciones ambientales para determinar el riesgo real y fundamentar acciones y recursos de control.

### **2.3. DETERMINACIÓN DE TRABAJADORES EXPUESTOS**

En la identificación de la exposición a ruido en los lugares de trabajo, se cubren todos los pasos desde el inicio del proceso hasta la obtención del producto final, esto requiere de la comprensión de todas las etapas del proceso, para poder estimar con alguna precisión en qué momento se genera ruido, en qué sitio y por cuánto tiempo están expuestos los trabajadores.

En esta etapa se identifican las exigencias de los diferentes turnos diurnos o nocturnos, así como los turnos de trabajo con más de 8 horas diarias y los períodos semanales totales de trabajo.

El nivel de ruido diario equivalente está definido por la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_q + 10 \log \frac{T}{8} \quad [2.2]$$

Siendo  $L_q$  el nivel de ruido continuo equivalente durante la jornada de trabajo y  $T$  la duración diaria de dicha jornada en horas.

El nivel de ruido diario equivalente es un indicador global de la exposición a ruido ya que combina los dos factores que determina el riesgo: la intensidad media del ruido y la duración de la exposición.

#### **2.4. MONITOREO DE RUIDO**

El monitoreo se realiza con el empleo de un sonómetro, con la siguiente descripción:

EQUIPO:	Sonómetro
TIPO:	Tipo 2
INTERVALOS DE TOMA DE DATOS:	Desde 1segundo hasta 1 hora
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO:	mínimo 700 registros
RANGO DE MEDICIÓN:	0 – 140dB
NORMAS:	IEC y ANSI actualizadas
OPCIÓN DE BANDAS DE OCTAVA	
CANALES:	A, C, Z

Para que la lectura coincida con el valor real del nivel sonoro, la medición se realiza de forma que el resultado sea representativo, para lo cual se requiere del análisis particular de cada caso a fin de establecer las condiciones en que debe realizarse la medición.

Para determinar el número mínimo de puntos en las mediciones de ruido, se consideran las siguientes situaciones:

- a) Necesidad de conocer la exposición ocupacional.
  
- b) Necesidad de conocer el ruido generado o proveniente de una máquina o equipo para orientar el control.

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

- Para oficios distintos y grupos no homogéneos, las mediciones se realizan a todos los oficios o personas expuestas, mediante el nivel de presión sonora equivalente  $L_{eq}$  en ponderación 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.
- Al ser el ruido continuo, se realizan dos mediciones por punto en la misma jornada y en tiempos diferentes, si estas mediciones presentan diferencias menores a 0,5 dB(A), se consideraron como aceptables.
- Para la realización de análisis de frecuencia se escogen entre tres y cuatro puntos de mayor nivel de presión sonora y en éstos se hace el análisis de las bandas comprendidas entre 63 y 8 000Hz.

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

- Para evaluaciones para la aplicación de métodos de control o comprobación de los existentes, las mediciones se realizan en sitios cercanos a las fuentes generadoras con lecturas en varios puntos y desplazamiento del micrófono alrededor de la fuente emisora.
- El número mínimo de puntos para las mediciones alrededor de los ejes de la fuente emisora es de cuatro, con lecturas por duplicado en cada punto.
- Las mediciones se toman a una distancia de 1 m de la fuente emisora de ruido.



- El número de mediciones es mayor cuando las mediciones se realizan en fuentes con emisión de ruido fluctuante y/o cuando en un mismo sitio se encuentran amplias variaciones de los niveles de presión sonora.

(Robledo, 2007)

### ***Medición de Ruido Ambiental***

Las mediciones se realizan siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica para el Control de Ruido Causado por Fuentes Fijas y Móviles, de la Ordenanza Metropolitana N° 213:

- La medición del nivel de ruido de la fuente fija se realiza en el exterior del límite físico, lindero o línea de fábrica del predio o pared perimetral.
- El micrófono del instrumento de medición se ubica en dirección a la fuente emisora, a una altura entre 1 y 1.5 m del suelo, y a una distancia de por lo menos 3 m de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido, evitando la exposición a vibraciones mecánicas.
- Para determinar el ruido de fondo, se sigue igual procedimiento de medición que el descrito para la fuente fija, con la excepción de que el instrumento apuntará en dirección contraria a la fuente evaluada.

## **2.5. CONTROL DE RUIDO**

Una vez identificadas las fuentes emisoras y realizados los monitoreos de ruido, se establecen las condiciones actuales de operación de cada una de ellas y se determina el mejor mecanismo de control ya sea en la fuente, en el medio o en el receptor.

Se verifica la posibilidad de determinar algún tipo de control en la fuente, de ser el caso, cambio o modificación del proceso generador de ruido, reducir la

velocidad de operación, evitar grandes superficies emisoras o modificar el diseño de las existentes.

Entre los procedimientos aplicables para controlar el ruido por vía aérea de propagación, está el modificar las condiciones de transmisión y la propagación de la onda sonora entre la fuente y el receptor. Tales procedimientos incluyen:

### ***Ubicar de manera adecuada las fuentes generadoras de ruido***

La posición de una fuente de ruido puede provocar diferentes niveles de ruido, dependiendo de las características del local, la orientación y la ubicación que se le dé con respecto a otras superficies (factor de directividad).

### ***Acondicionamiento acústico de superficies reflectoras de un recinto***

Tratar de disminuir la energía de las ondas sonoras directa y reflejada, absorbiéndola en sus repetidos choques con materiales acústicos adecuados.

Se emplean las siguientes ecuaciones:

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \quad [2.3]$$

Donde:

A = absorción acústica total

S<sub>i</sub> = superficie interior ocupada por un material i

α<sub>i</sub> = coeficiente de absorción del material i (ver Anexo II)

$$NPS = NWS + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad [2.4]$$

$$R = \frac{S_T * \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad [2.5]$$

Donde:

R = constante de cerramiento del local

$$S_T = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i}{S_T} \quad [2.6]$$

### ***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.

Se emplean las siguientes ecuaciones:

$$NPS = NWS - 20\log(r) - 11 - A + 10\log(Q) \quad [2.7]$$

Donde:

NPS = Nivel de presión sonora

NWS = Nivel de potencia sonora

r = distancia (m)

A = exceso de atenuación debida a causas ambientales

Q = Factor de direccionalidad (Q = 1 para ambos casos)

Q, tiene valores usuales de 1, 2, 4 y 8, dependiendo de si la fuente sonora está ubicada respectivamente, en el centro, sobre una superficie, en la intersección de dos planos, o en la intersección de tres planos.

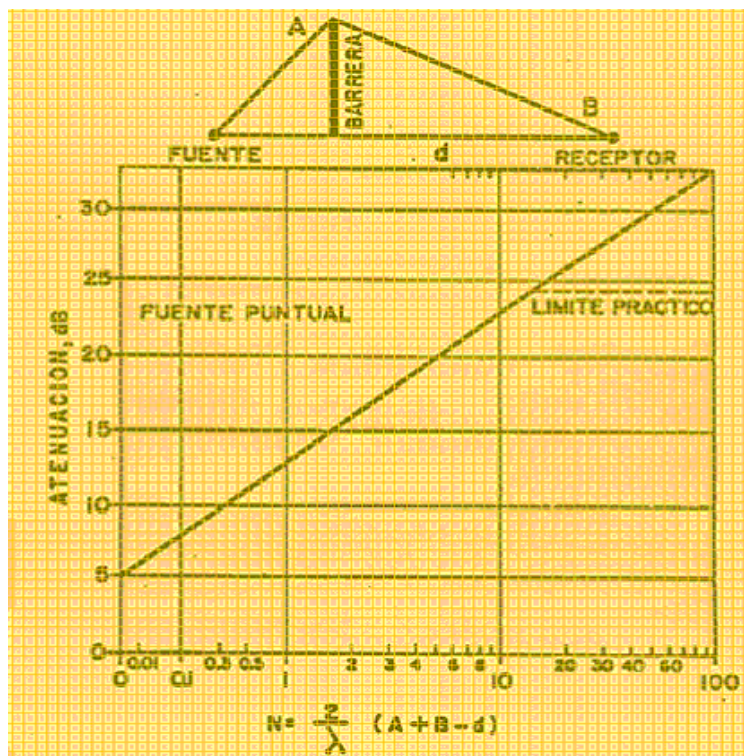
$$N = \frac{2}{\lambda}(A + B - d) \quad [2.8]$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

[2.9]

Donde:

- N número de Fresnel
- $\lambda$  longitud de onda
- c velocidad del sonido
- f frecuencia



**Figura N° 2.1.** Atenuación por barrera rígida en función del número de Fresnel

El límite práctico corresponde a la atenuación de 24 dB.

Con el número de Fresnel y el gráfico, se obtiene el valor de la atenuación conseguida con el uso de una barrera rígida.

### ***Encerramiento de la fuente***

Mediante confinamiento de la onda sonora parcial o totalmente por medio de una envoltura de material aislante del sonido. La reducción es función de la frecuencia del sonido y de la masa por unidad de área del material.

Se aplican los coeficientes de pérdidas por transmisión de diferentes materiales (ver Anexo III y IV).

***Aislamiento del receptor en cabinas:***

Se considerará el encerramiento del receptor en cabinas con acondicionamiento acústico, como alternativa siempre y cuando exista la dificultad técnica para aislar la fuente emisora.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. SELECCIÓN DE CINCO INSTALACIONES CRÍTICAS

Los datos promedio reportados, a nivel ambiental, por fuente generadora de ruido en cada instalación de la EMAAP-Q, y su respectiva comparación con el valor límite máximo permisible según la Norma Técnica para el Control de Ruido Causado por Fuentes Fijas y Móviles de la Ordenanza Metropolitana N° 213, se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

PLANTA DE TRATAMIENTO	PUNTO DE MUESTREO	Leq dB(A)	Valor Norma dB(A)
El Placer	Tanque El Placer Medio	<b>49,0</b>	45
	Dosificación de Cloro	<b>49,2</b>	45
	Bombas	<b>49,4</b>	45
	Caída de Agua Norte	<b>49,0</b>	45
	Caída de Agua Sur	<b>47,6</b>	45
	Tanque de Floculación	<b>53,2</b>	45
	Bombas y Compresores Oeste	<b>49,6</b>	45

**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>Valor Norma dB(A)</b>
Planta Toctiuco	Ingreso Agua Cruda	<b>48,6</b>	45
	Bombas de Sulfato de Aluminio	<b>46,6</b>	45
	Dosificación de Sulfato de Aluminio	<b>45,3</b>	45
	Filtros Lentos	44,5	45
	Válvulas y Bombas de distribución	<b>46,1</b>	45
Planta Rumipamba	Ingreso Agua Cruda	<b>47,7</b>	45
	Tanque de Reserva	44,0	45
	Floculadotes	44,4	45
	Área de sedimentación	<b>46,8</b>	45
	Área de filtros	43,8	45
	Carga y Descarga de Cloro	<b>47,1</b>	45
Planta Tumbaco	Área de Carga y Descarga de Cloro	46,9	50
	Área de Sedimentación	46,3	50
	Área de Filtros	44,6	50
	Ingreso Agua Cruda	<b>65,5</b>	50

**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

PLANTA DE TRATAMIENTO	PUNTO DE MUESTREO	Leq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Planta Calluma	Área entre Cloración y Filtro	62,7	65
	Esquina de área de Cloración	60,7	65
	Área de Cloración	57,3	65
	Área de filtros	58,0	65
Planta Tababela	Área de Carga y Descarga de Cloro	52,8	65
	Área de sedimentación y filtros	53,6	65
	Área de filtros	61,3	65
	Ingreso de Agua Cruda	47,7	65
Planta Yaruquí	Área de Bombas de Retrolavado	<b>53,3</b>	50
	Área de Cloración	<b>52,1</b>	50
	Área entre Floculación y Sedimentación	47,1	50
	Ingreso de Agua Cruda	47,1	50



**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>Valor Norma dB(A)</b>
Planta Checa	Ingreso de agua cruda	<b>59,6</b>	50
	Área de sedimentación y filtros	<b>52,6</b>	50
	Filtros hidráulicos	<b>63,0</b>	50
	Área de Cloración	49,3	50
Planta El Quinche	Ingreso de Agua Cruda	52,4	55
	Área entre Sedimentadores y Filtros	52,1	55
	Área de Cloración	48,1	55
	Área de Bombas de Retorno	53,3	55
Planta Guayllabamba	Ingreso Agua Cruda	<b>46,0</b>	45
	Área de Sedimentación y Filtros	41,8	45
	Clarificador	<b>52,4</b>	45
	Bombas	<b>48,3</b>	45

**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>Valor Norma dB(A)</b>
Planta Noroccidente	Área Generador Hidroeléctrico	<b>53,8</b>	45
	Cámara de descarga turbina	<b>60,6</b>	45
	Ingreso de Agua Cruda	<b>61,4</b>	45
	Área de dosificación de polímero	<b>49,4</b>	45
	Área de retrolavado de filtros	<b>49,3</b>	45
	Área de cloración	<b>56,0</b>	45
	Cámara de válvulas	<b>55,5</b>	45
	Bomba Sistema Cochapamba-Atucucho	<b>51,6</b>	45
Planta Bellavista	Área de Soplantes	<b>65,0</b>	45
	Área Cercana al Generador	<b>63,6</b>	45
	Área de Cloración	<b>53,2</b>	45
	Área de Válvulas	42,4	45
	Área de dispersores	<b>54,3</b>	45
	Área de compuertas de acueducto	<b>52,4</b>	45
	Área de Compuertas de ingreso Planta	<b>48,5</b>	45
	Taller	<b>50,3</b>	45

**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

PLANTA DE TRATAMIENTO	PUNTO DE MUESTREO	Leq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Planta El Troje	Generador	<b>72,1</b>	45
	Área de cloro (puente grúa)	44,5	45
	Área de filtros	<b>47,7</b>	45
	Cámara de bombeo	38,4	45
	Galería de válvulas	40,6	45
	Ingreso de agua cruda a floculadores	44,1	45
	Ingreso de agua cruda a la planta	44,9	45
	Ingreso de agua cruda a la pileta	37,0	45
	Salida de agua pileta	<b>50,7</b>	45
	Desborde al canal del Pita	42,2	45
Planta Chilibulo	Área de sulfato	<b>50,9</b>	45
	Laboratorio	44,3	45
	Carga y Descarga de Cloro	<b>49,3</b>	45
	Área de Sedimentación y Filtros	<b>53,1</b>	45
	Tanque de distribución	<b>45,7</b>	45
	Bombas de retrolavado	<b>48,1</b>	45
	Generador de emergencia	<b>70,3</b>	45

**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

PLANTA DE TRATAMIENTO	PUNTO DE MUESTREO	Leq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Planta Chilibulo Alto	Área de Sedimentación y Filtros	<b>48,8</b>	45
	Área de Bomba	<b>53,6</b>	45
	Área de Carga y Descarga de Cloro	<b>46,9</b>	45
	Laboratorio	41,1	45
Planta Puengasí	Mezclador rápido clarificador 5-8	<b>45,1</b>	45
	Mezclador rápido clarificador 1-4	48,0	45
	Taller mecánico	<b>50,8</b>	45
	Generador eléctrico	<b>60,9</b>	45
	Retrolavado de filtros	<b>50,7</b>	45
	Clarificador 1-4	<b>51,1</b>	45
	Clarificador 5-8	<b>46,0</b>	45
	Válvulas de salida	<b>46,8</b>	45

**Continuación Tabla N°3.1.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental promedio del periodo 2007 – 2009, cuyos datos fueron medidos a 3 m de distancia del cerramiento en dirección a cada fuente emisora de la EMAAP-Q

PLANTA DE TRATAMIENTO	PUNTO DE MUESTREO	Leq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Planta Conocoto	Área de Bombas de Retrolavado	<b>47,0</b>	45
	Dosificación de Sulfato de Aluminio	<b>49,2</b>	45
	Área de descarga de floculadotes	<b>50,4</b>	45
	Área entre Floculación y Sedimentación	<b>49,4</b>	45
	Área entre Sedimentación y filtros lentos	<b>47,8</b>	45
	Área de Cloración	<b>46,2</b>	45
	Área de Bombas de distribución	<b>47,7</b>	45
Central Hidroeléctrica El Carmen	Transformador 1	<b>57,4</b>	45
	Transformador 2	<b>60,3</b>	45
	Caída de Agua	<b>65,7</b>	45
	Generador Hidroeléctrico	<b>62,0</b>	45
	Generador Eléctrico	<b>60,0</b>	45
Recuperadora Papallacta	Transformador	<b>61,1</b>	45
	Turbina-generador	<b>68,3</b>	45
	Pileta de compensación	<b>60,6</b>	45

NOTA: los datos resaltados en negrilla sobrepasan el límite máximo permisible establecido para ruido ambiental.

Se manejan como casos especiales a las Plantas de Tratamiento de El Placer y Puengasí, debido a que se aprecia que el ruido de fondo generado por el crecimiento comercial y urbanístico de las zonas en las que se encuentran ubicadas estas Plantas de Tratamiento, produce niveles de ruido superiores a los generados por las mismas.

Cabe mencionar que los puntos de medición de ruido para el año 2009, fueron reevaluados debido a que en su mayoría correspondían a caídas de agua de origen natural sin la intervención de acción mecánica, y en otros casos los puntos se unificaron debido a que operan simultáneamente y se encuentran ubicados en una misma zona. Las mediciones de ruido ambiental externo a estas Plantas de Tratamiento, con sus nuevos puntos de medición, dan como resultado la siguiente información:

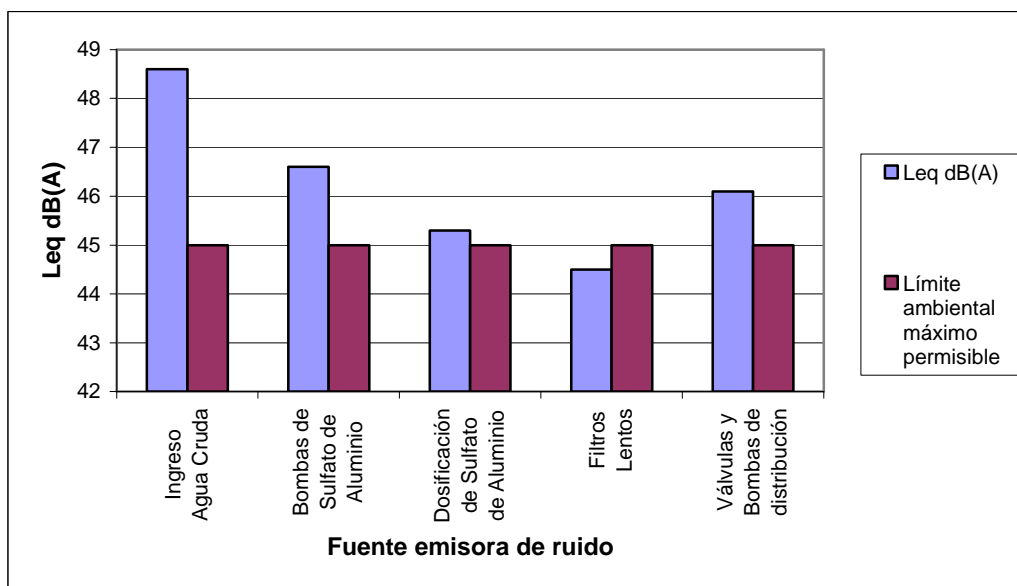
**Tabla N° 3.2.** Nivel de presión sonora equivalente ambiental en diferentes fuentes emisoras de las Plantas de Potabilización de Puengasí y El Placer

Planta de Tratamiento de Agua	Puntos de muestreo	abril-mayo NPS eq dB(A)	Ruido Ambiental Externo a la Planta	julio-ago NPS eq dB(A)	Ruido Ambiental Externo a la Planta
Puengasí	Mezclado rápido clarificador	43,9		44,3	
	Válvulas de salida	41,5		42,2	
	Clarificador	<b>52,5</b>	<b>62,2</b>	<b>53,1</b>	<b>60,5</b>
	Generador	<b>62,1</b>	<b>66,4</b>	<b>63,0</b>	<b>64,2</b>
El Placer	Dosificación de Cloro	<b>53,7</b>	<b>58,1</b>	<b>52,5</b>	<b>56,1</b>
	Área de bombas	<b>49,1</b>	<b>50,7</b>	<b>49,9</b>	<b>52,3</b>
	Área de Sedimentación y filtración	<b>49,8</b>	<b>51,0</b>	<b>50,2</b>	<b>52,4</b>
	Bombas y Compresores Este	<b>52,8</b>	<b>54,5</b>	<b>52,3</b>	<b>54,5</b>
	Generador	<b>54,9</b>	<b>54,9</b>	<b>54,1</b>	<b>54,6</b>

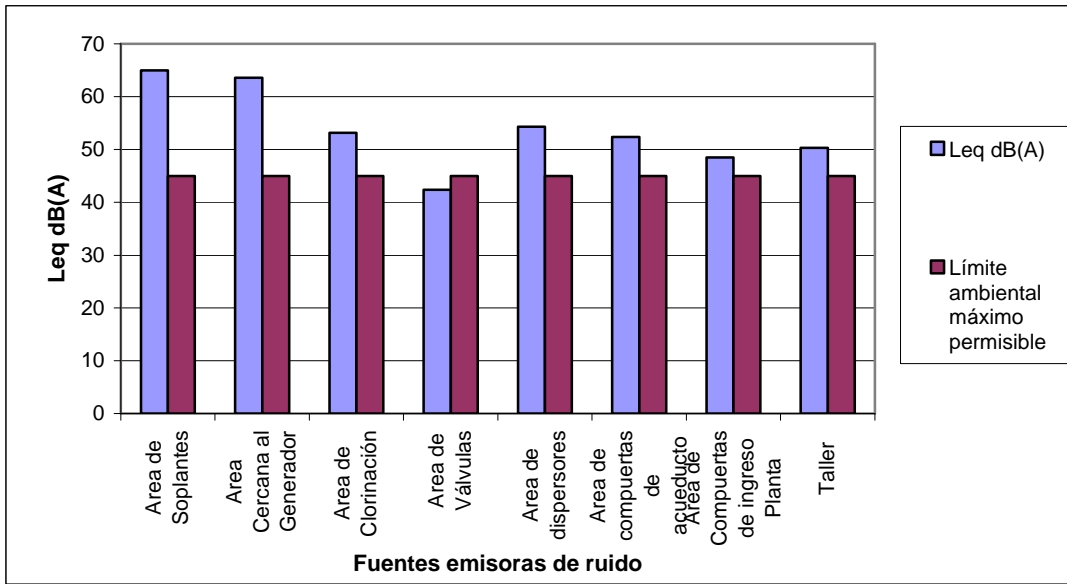
En ambos casos se verifica que el valor establecido como límite máximo permisible de 45 dB(A) se encuentra muy por debajo del valor ambiental registrado en estas zonas, por lo que cualquier medida a implementarse dentro de estas plantas de potabilización resultaría inaplicable.

Para las plantas de potabilización y centrales hidroeléctricas que superan el límite máximo permisible según la normativa ambiental, se establece la relación entre los valores promedios reportados por fuente emisora y el valor normado, encontrándose los siguientes gráficos:

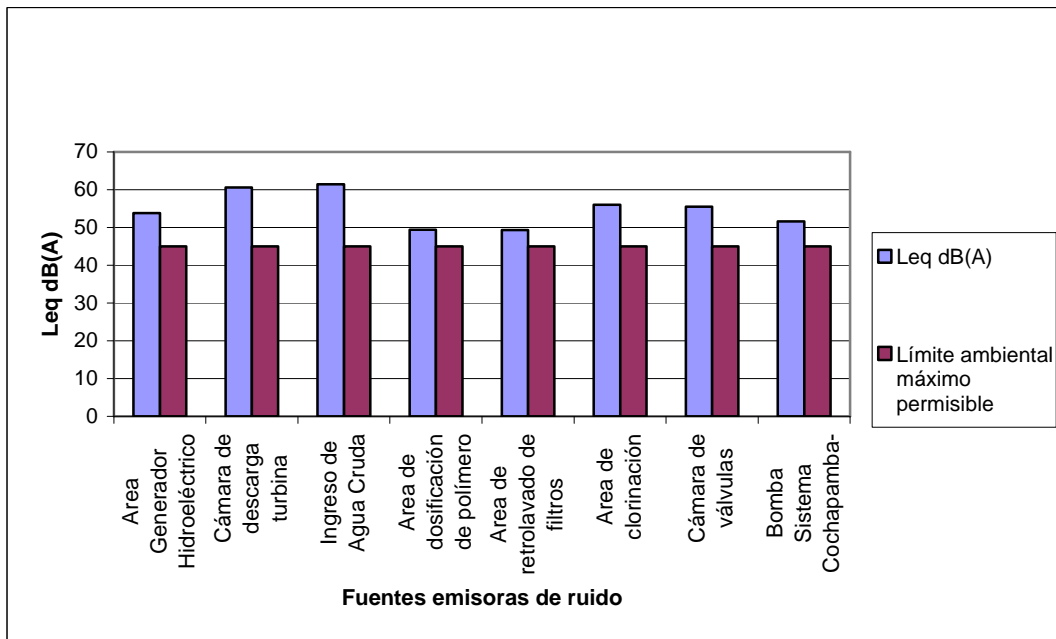
Para las plantas de potabilización y centrales hidroeléctricas que superan el límite máximo permisible según la normativa ambiental, se establece la relación entre los valores promedios reportados por fuente emisora y el valor normado, encontrándose las siguientes figuras:



**Figura N° 3.1.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Toctiuco comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.

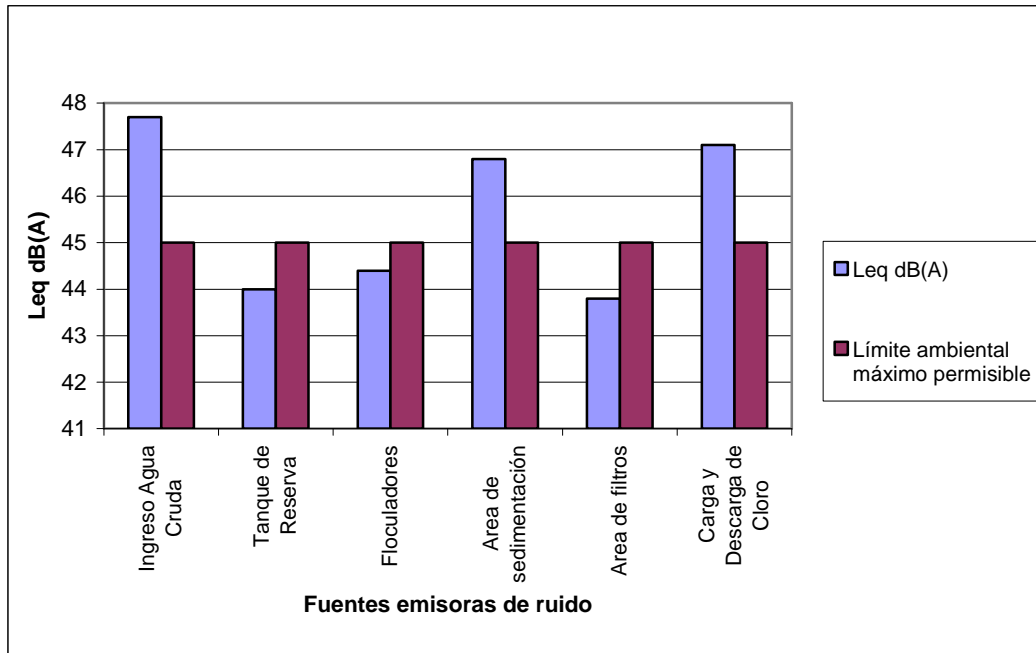


**Figura Nº 3.2.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Bellavista comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.

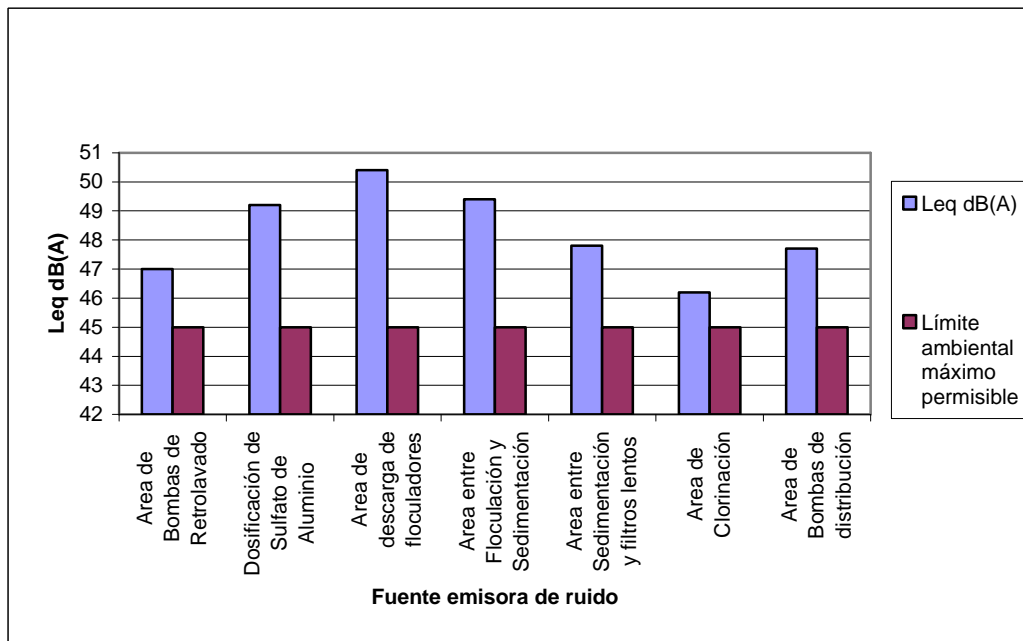


**Figura Nº 3.3.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Noroccidente comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.

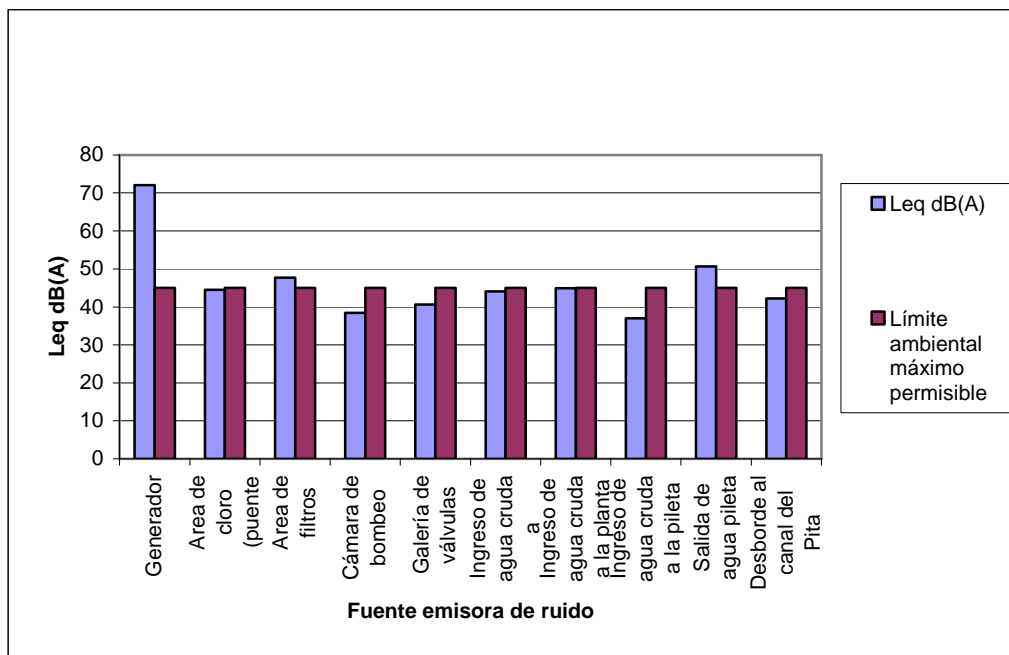




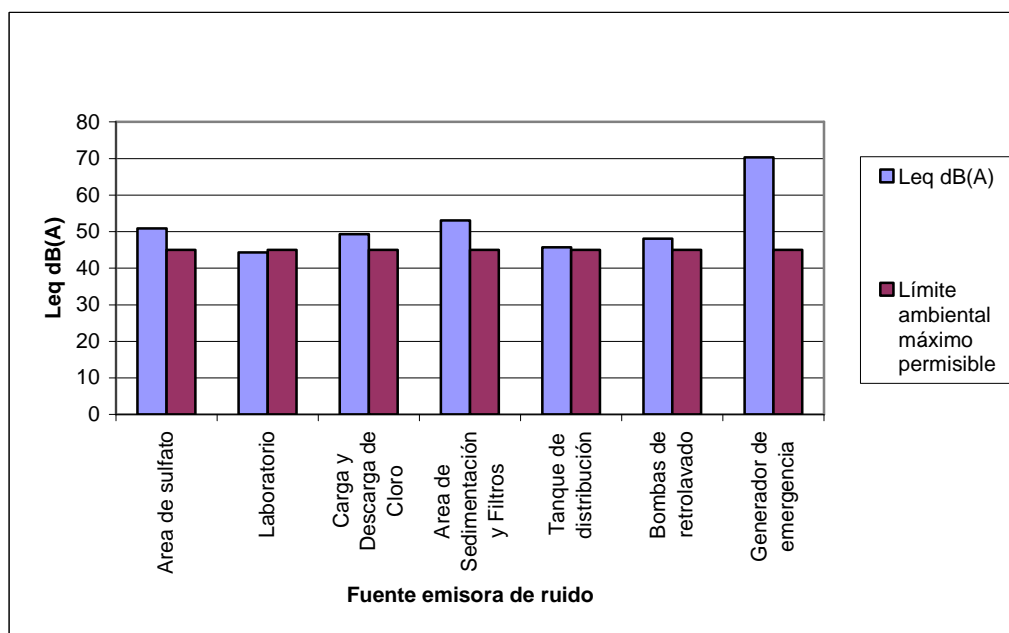
**Figura Nº 3.4.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Rumipamba comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



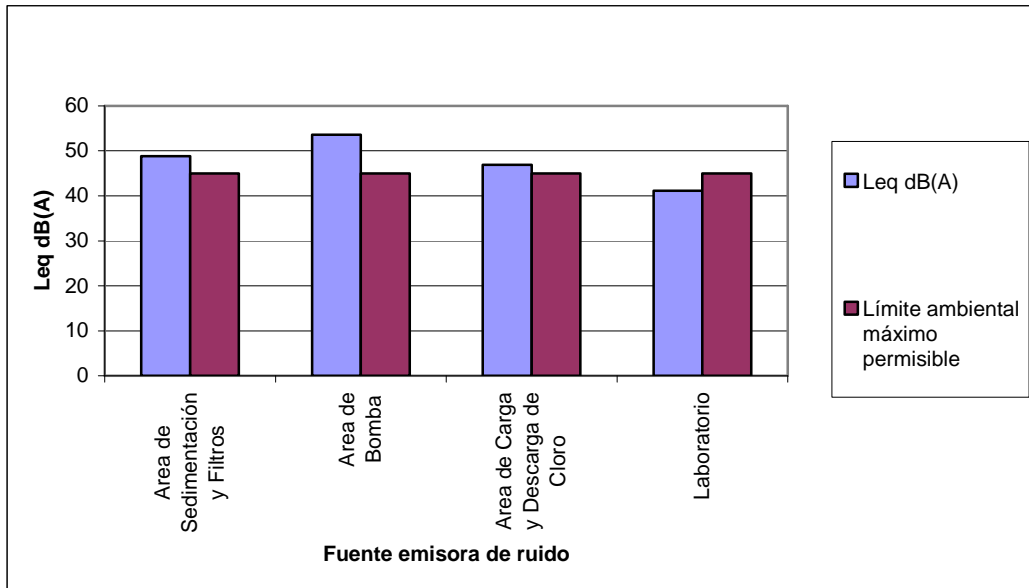
**Figura Nº 3.5.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Conocoto comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



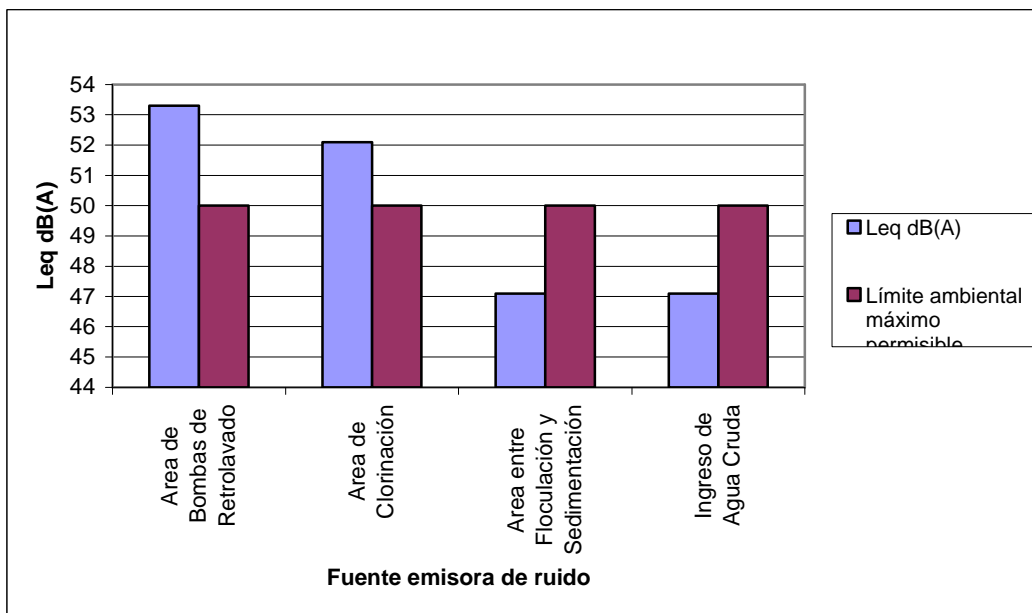
**Figura N° 3.6.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de El Troje comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



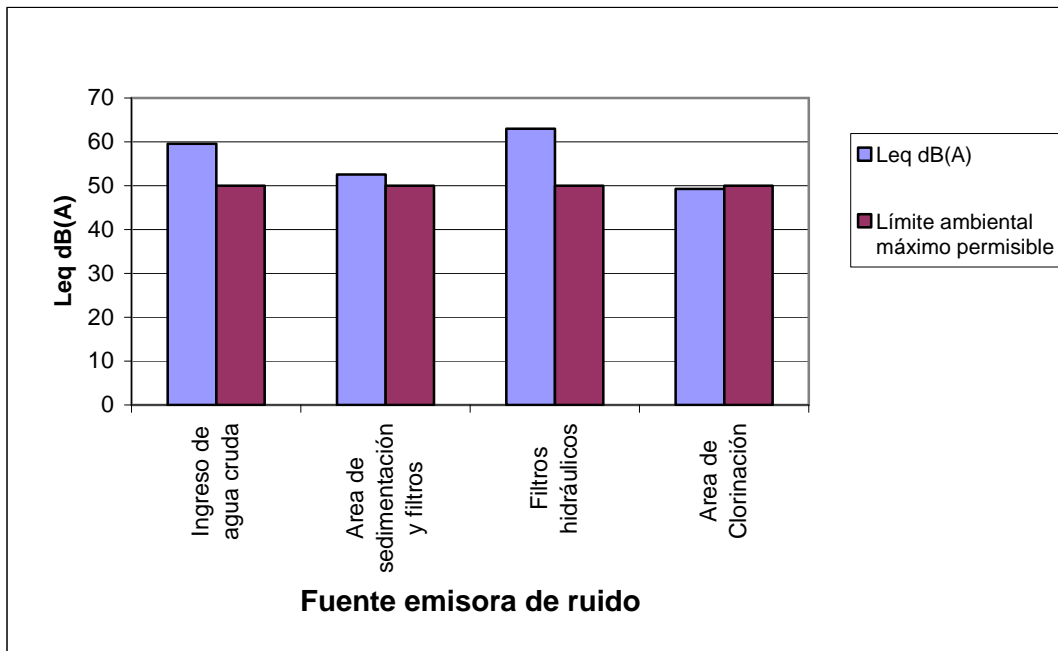
**Figura N° 3.7.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Chilibulo comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



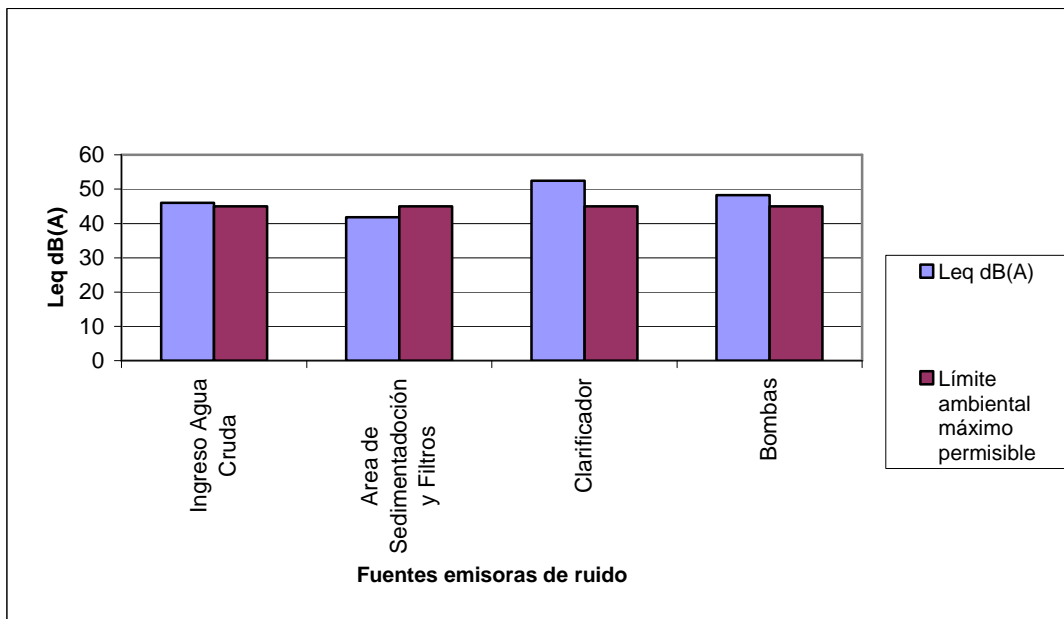
**Figura Nº 3.8.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Chilibulo Alto comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



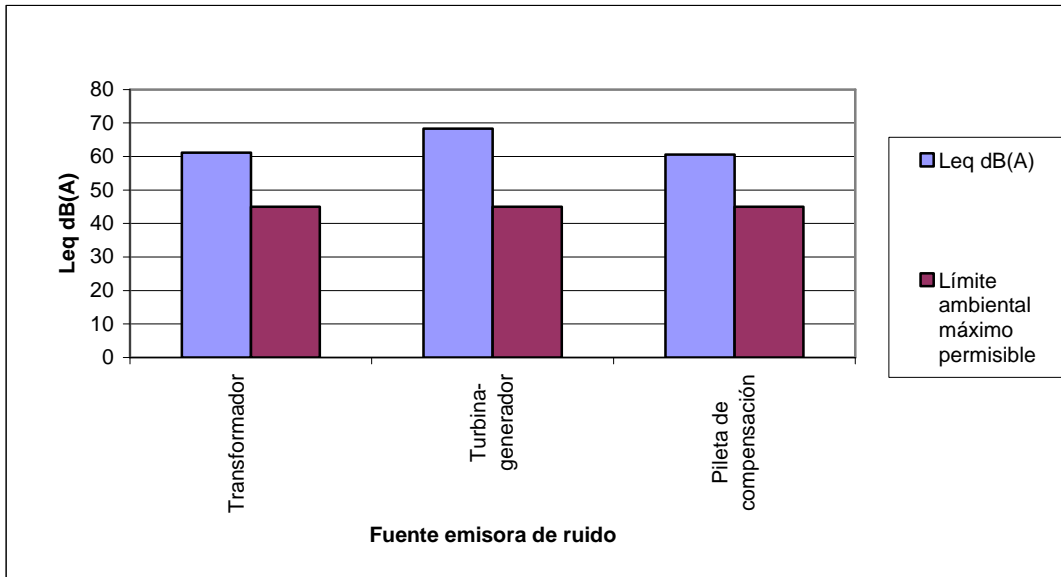
**Figura Nº 3.9.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Yaruquí comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



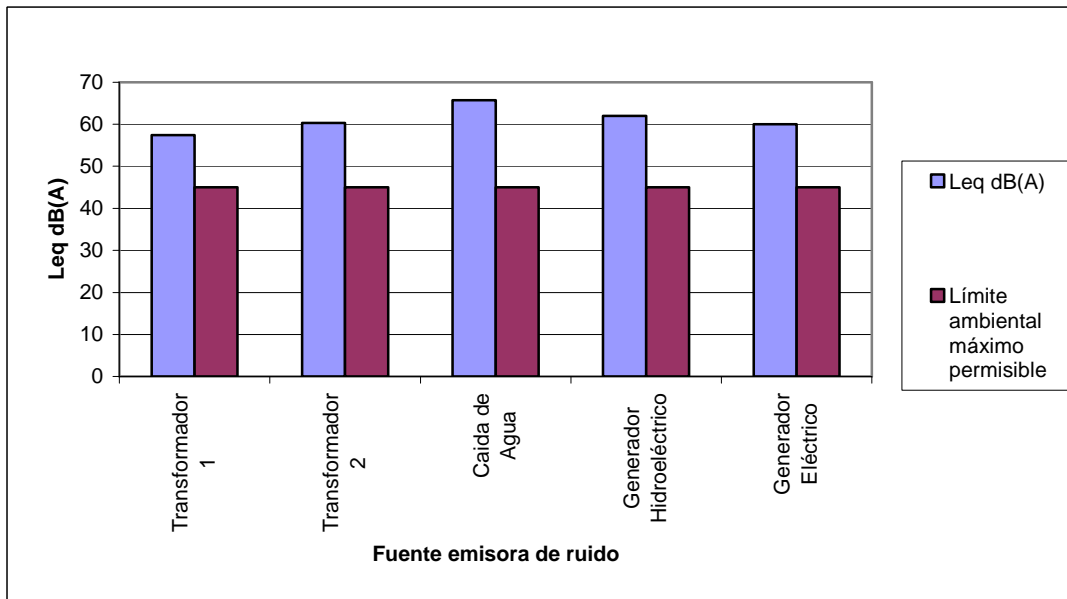
**Figura Nº 3.10.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Checa comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



**Figura Nº 3.11.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Planta de Guayllabamba comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



**Figura Nº 3.12.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Central Recuperadora Sistema Papallacta comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.



**Figura Nº 3.13.** Nivel de presión sonora equivalente por fuente emisora de la Central Hidroeléctrica El Carmen comparada con el valor límite máximo permisible a nivel ambiental.

De las figuras presentadas anteriormente se puede observar que superan el límite máximo permisible según la normativa ambiental, en todas las fuentes emisoras, las instalaciones:

Noroccidente

Conocoto

Central Recuperadora del Sistema Papallacta

Central Hidroeléctrica El Carmen

Sin embargo, considerando que el valor de 45 dB(A) resulta muy restrictivo para estudios a nivel ambiental y ocupacional, se han seleccionado las instalaciones que además de incumplir con la normativa ambiental de ruido, en más del 50% de sus fuentes emisoras, superan 50 dB(A), y cuyo personal de mantenimiento, operación y administrativo es permanente o cumple una jornada laboral completa en la misma instalación.

Bajo este criterio, las cinco instalaciones seleccionadas para el presente estudio son:

Noroccidente

Bellavista

Checa

Central Recuperadora del Sistema Papallacta

Central Hidroeléctrica El Carmen

### **3.2. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS Y FUENTES DE GENERACIÓN ELEVADA DE RUIDO EN LAS CINCO INSTALACIONES SELECCIONADAS**

Mediante inspecciones a las cinco instalaciones seleccionadas, se identifican los siguientes procesos y fuentes de generación de ruido:

**Tabla N° 3.3.** Procesos y fuentes generadoras de ruido en las cinco instalaciones seleccionadas.

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>FUENTES DE GENERACIÓN DE RUIDO</b>	<b>PROCESO DE GENERACIÓN DE RUIDO</b>
Bellavista	Área de soplantes, dispersores y taller	Lavado de filtros, mantenimiento
	Generador	Generación eléctrica
	Área de dispersores y adición de cloro	Desinfección
	Sala de Válvulas	Distribución
Noroccidente	Generador Hidroeléctrico	Generación eléctrica
	Cámara de descarga Turbina	Generación eléctrica / ingreso de agua al sistema de potabilización
	Cuarto de Cloro	Desinfección
	Bombas de Sistema Cohapamba-Atucucho	Distribución
Checa	Área de adición de sulfato	Coagulación
	Filtros hidráulicos	Filtración / lavado de filtros
	Área de cloración	Desinfección
Central Hidroeléctrica El Carmen	Transformador 1	Generación eléctrica
	Transformador 2	Generación eléctrica
	Caída de Agua	Generación eléctrica
	Generador Hidroeléctrico	Generación eléctrica
	Generador Eléctrico	Generación eléctrica

**Continuación Tabla Nº 3.3.** Procesos y fuentes generadoras de ruido en las cinco instalaciones seleccionadas.

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>FUENTES DE GENERACIÓN DE RUIDO</b>	<b>PROCESO DE GENERACIÓN DE RUIDO</b>
Recuperadora Papallacta	Transformador	Generación eléctrica
	Turbina-generator	Generación eléctrica
	Pileta de compensación	Generación eléctrica

### **3.3. DETERMINACIÓN DE TRABAJADORES EXPUESTOS**

Para la determinación del número de trabajadores expuestos a niveles elevados de ruido se realizaron inspecciones a las instalaciones seleccionadas, verificando la cantidad de personas que permanecen en un determinado puesto de trabajo durante la jornada laboral, lo cual se describe en la siguiente tabla:

#### **3.3.1. PLANTA DE BELLAVISTA**

La Planta se encuentra ubicada al nororiente de la ciudad de Quito, en el interior del Parque Metropolitano, con capacidad de procesamiento de 3,7 m<sup>3</sup>/s, potabiliza agua proveniente del Sistema Papallacta inicialmente mediante bombeo de fuentes como son los ríos Papallacta, Blanco Chico y Tuminguina, luego por gravedad desde la Presa Salve Faccha, Presa Mogotes con las captaciones de los ríos Chalpi, Quillugsha, Mogotes y Guaytaloma.

El personal que labora en esta Planta de Tratamiento se encuentra distribuido en los siguientes puestos de trabajo:



**Tabla Nº 3.4.** Distribución del personal de la Planta de Bellavista

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>Nº EMPLEADOS</b>	<b>HORARIOS DE TRABAJO</b>
Operación Grupo Nº 1 y 3	3	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Operación Grupo Nº 2 y 4	2	
Mantenimiento	7	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes
Laboratorio	3	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes
Embassadora	3	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes
Administración	3	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes

Los procesos de generación de ruido, relacionados con el personal que labora en la Planta y su posible riesgo de exposición, se describen a continuación:

### **Soplantes**

Se mantienen en la sala de máquinas y se encuentran involucrados con los procedimientos de lavados de filtros, los mismos que se activan por un tiempo entre 20 a 30 minutos. El ruido generado por estos soplantes es considerado como una fuente representativa de ruido, ya que, al día se lavan alrededor de 3 a 7 filtros. Cuando estos soplantes se activan, existe exposición a ruido y vibraciones en toda la Planta, debido a que se encuentran ubicados en el interior del edificio químico, en donde funciona el área operativa y administrativa. Existe mayor exposición por parte de los operadores de turno que se encuentran en el exterior del edificio o en el taller mecánico.

### **Generador de emergencia**

La operación de este equipo no es permanente, la frecuencia y el tiempo de funcionamiento es baja, por lo tanto la emisión de ruido no genera riesgos a

nivel ocupacional, sin embargo, está sujeto a cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes.

### 3.3.2. PLANTA DE NOROCCIDENTE

La Planta esta ubicada en el sector la Pulida, inició su funcionamiento en noviembre de 1 991; procesa 80 l/s en época de verano y en época de invierno hasta 300 l/s. Es alimentada por agua cruda proveniente de las captaciones Mindo y Pichán, cuya línea de conducción tiene aproximadamente 50 km. La tubería atraviesa 4 túneles y además cuenta con dos tanques de carga, uno en Pichán y otro ubicado en el barrio de Atucucho Alto.

La descripción de los puestos de trabajo existentes en esta Planta se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.5.** Distribución del personal de la Planta de Noroccidente.

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>Nº EMPLEADOS</b>	<b>HORARIOS DE TRABAJO</b>
Operador	4	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Operador de Mantenimiento Eléctrico	3	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Laboratorio	2	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (2 veces al mes en la Planta de Noroccidente)
Técnicos de Mantenimiento	2	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (eventual)
Administración	1	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (1 vez al mes en la Planta de Noroccidente)

Los procesos de generación de ruido, relacionados con el personal que labora en la Planta y su posible riesgo de exposición, se describen a continuación:

## **Generador Hidroeléctrico**

Está compuesto por una turbina y una cámara de descarga, con operación permanente, provocando elevados niveles de ruido en esta zona, por lo que se le considera como una fuente representativa, en donde el personal operativo se encuentra expuesto en labores de mantenimiento, 4 operadores realizan inspecciones durante 15 minutos al día, el personal de mantenimiento eléctrico trabaja en la zona 5 minutos 6 veces al día y 6 veces en la noche.

## **Dosificación de Cloro**

El nivel de ruido existente en el área de dosificación de cloro se ve influenciado tanto por la bomba de dosificación propiamente dicha, como por el flujo de agua que circula en canal abierto por dicha zona, adicionándose los niveles de presión sonora de ambas fuentes.

El nivel de ruido resulta ser significativo debido al tiempo permanente de funcionamiento, sin embargo, el personal se encuentra esporádicamente expuesto, ya que únicamente cada 2 horas una persona realiza la medición de cloro residual, durante 10 minutos, una vez cada dos meses se realiza el cambio de los cilindros de cloro, con 3 personas.

## **Filtros**

La Planta de Noroccidente tiene ocho filtros rápidos de tasa declinante y lecho mixto, con una superficie de 13,32 m<sup>2</sup>.

El sistema de lavado de filtros consiste en lavado superficial con rociadores giratorios tipo Palmer, por 2 minutos, seguido por 8 minutos de retrolavado solo con agua procedente de un tanque elevado dividido en dos cámaras, cada una de 250 m<sup>3</sup>. Para el lavado superficial se utilizan dos bombas de 5,8 m<sup>3</sup>/h, y para retrolavado 2 de 25 Hp. La carrera de los filtros es de alrededor de 80 horas, y se lavan de 2 a 3 filtros por día, por lo que la exposición al ruido generado por estas bombas es poco significativo.

Los operadores del grupo de mantenimiento realizan inspecciones de las mangueras y válvulas en la zona bajo los clarificadores durante 10 minutos al día, y el mantenimiento de las unidades se realiza en 2 horas una vez por mes.

### **Bombas Sistema Cochapamba-Atucucho**

Consiste en 3 bombas de 100 Hp, que permiten la distribución de agua a los barrios altos de Atucucho.

La generación de ruido en esta zona es elevada, sin embargo, el personal no se encuentra expuesto de manera permanente al ruido generado por estas bombas, ya que únicamente se acercan al sitio para verificación del correcto funcionamiento durante 10 minutos cada 2 horas, y de manera trimestral se realiza un mantenimiento durante 8 horas.

### **3.3.3. PLANTA DE CHECA**

En esta planta de potabilización, el personal se encuentra distribuido según se describe en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.6.** Distribución del personal de la Planta de Checa

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>Nº EMPLEADOS</b>	<b>HORARIOS DE TRABAJO</b>
Operador Grupo 1 y 2	2	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Operador Grupo 3 y 4	2	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Operador de Mantenimiento	2	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (2 veces al mes en la Planta de Checa)
Laboratorio	2	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (2 veces al mes en la Planta de Checa)
Técnicos de Mantenimiento	2	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (eventual)
Administración	1	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (1 vez al mes en la Planta de Checa)

En esta Planta de Tratamiento las principales fuentes de generación de ruido son: el área de adición de sulfato de aluminio, área de filtros hidráulicos y área de dosificación de cloro.

La dosificación de sulfato de aluminio se realiza en canal abierto, por lo que la generación sonora se ve influenciada más que por acción mecánica, por el flujo del agua en este canal.

El área de filtros hidráulicos y de dosificación de cloro, generan ruido provocado por la presencia sistemas de bombeo.

Los trabajadores de turno se encuentran expuestos directamente a estos niveles de ruido durante los procesos operacionales y de mantenimiento.

#### **3.3.4. CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL CARMEN**

En esta planta de central hidroeléctrica, el personal se encuentra distribuido según se describe en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.7.** Distribución del personal de la Central Hidroeléctrica El Carmen

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>Nº EMPLEADOS</b>	<b>HORARIOS DE TRABAJO</b>
Operador	4	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Técnicos de Mantenimiento	4	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (1 vez al mes)
Administración	1	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (2 veces al mes en la Central)
Limpieza	2	8:00 a 10:00, 4 veces por semana

Las principales fuentes generadoras de ruido en esta Central Hidroeléctrica, son la turbina y la caída de agua en la pileta de compensación. En ambos casos, el nivel de ruido es elevado.

Los operadores realizan la revisión de los equipos haciendo un recorrido por el área de operación durante 5 minutos cada hora. El mantenimiento de la turbina se realiza 3 veces a la semana, y cada fin de mes se realiza el mantenimiento completo durante mínimo 4 horas.

El resto del tiempo los operadores se encuentran realizando actividades en el taller mecánico o en la sala de control, en donde el nivel de ruido es significativamente inferior al que genera la fuente.

Adicionalmente, se realiza el mantenimiento del generador eléctrico todos los jueves durante 30 minutos, y existen 2 personas que realizan la limpieza de la central durante 2 horas pasando un día.

Los operadores tienen turnos rotativos de 12 horas, el tercer día descansan, este periodo de rotación es de tres semanas y una semana libre.

### **3.3.5. CENTRAL RECUPERADORA DEL SISTEMA PAPALLACTA**

En esta central recuperadora, el personal se encuentra distribuido según se describe en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.8.** Distribución del personal en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.

<b>PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>Nº EMPLEADOS</b>	<b>HORARIOS DE TRABAJO</b>
Operador	4	Turnos rotativos de 12 horas diarias, de lunes a domingo con siete días libres al mes
Técnicos de Mantenimiento	4	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (1 vez al mes)
Administración	1	7:00 a 15:00 Lunes a Viernes (2 veces al mes en la Central)
Limpieza	2	8:00 a 10:00, 4 veces por semana

Las principales fuentes generadoras de ruido en esta Central Recuperadora, son la turbina y la caída de agua en la pileta de compensación. En estas dos

zonas, el nivel de ruido es elevado, causando una molestia significativa a los operadores expuestos, quienes realizan la revisión de todos los equipos haciendo un recorrido por el área de operación durante 5 minutos cada hora.

El mantenimiento de la turbina y válvula disipadora se realiza 3 veces a la semana, y cada fin de mes se realiza el mantenimiento completo durante mínimo 8 horas.

El resto del tiempo los operadores se encuentran realizando actividades en el taller mecánico o en la sala de control, que si bien se encuentra ubicada en el mismo edificio en donde está alojada la turbina, tiene aislamiento acústico en sus paredes (paredes dobles de yeso con relleno de fibra de vidrio) y ventanas dobles, lo cual reduce significativamente el nivel de ruido que se transmite a esta zona.

Adicionalmente, se realiza el mantenimiento del generador eléctrico todos los lunes durante 30 minutos, y existen 2 personas que realizan la limpieza de la central durante 2 horas pasando un día.

Los operadores tienen turnos rotativos de 12 horas, el tercer día descansan, este periodo de rotación es de tres semanas y una semana libre.

### **3.4. MONITOREO DE RUIDO**

#### **3.4.1. PLANTA BELLAVISTA**

Los valores medidos por el sonómetro, corresponden al momento de mayor nivel de presión sonora en el sector, en el momento en que se realiza el lavado de filtros y entran en funcionamiento los soplantes y dispersores, así como también cuando el generador eléctrico se encuentra en funcionamiento.

Los operadores realizan inspecciones y labores correspondientes a su trabajo cada 2 horas, durante un tiempo de 15 minutos aproximadamente en cada área. El resto de personal labora continuamente en sus respectivas áreas.

Los niveles de presión sonora generados en las fuentes emisoras se detallan en las siguientes tablas:

**Tabla N° 3.9.** Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Planta de Bellavista.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(C) a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Soplantes	71,0	72,5	78,4	82,0	81,0	82,1	78,2	69,7	52,6	37,5
Dispensores	75,0	63,0	68,5	66,0	69,1	68,0	63,4	62,3	50,0	31,6
Generador	82,0	91,0	95,0	90,9	85,8	85,7	81,9	77,0	58,1	41,4

**Tabla N° 3.10.** Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Planta de Bellavista.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(A) a diferentes frecuencias										Leq dB(A)
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	
Soplantes	31,6	46,3	62,3	73,4	77,8	82,1	79,4	70,7	51,5	30,9	85,4
Dispensores	35,6	36,8	52,4	57,4	65,9	68,0	64,6	63,3	48,9	25,0	72,1
Generador	42,6	64,8	78,9	82,3	82,6	85,7	83,1	78,0	57,0	34,8	90,3

El nivel de presión sonora que registra el sonómetro al realizar la medición en las diferentes áreas críticas evaluadas en el ámbito ocupacional, se detalla a continuación:



**Tabla 3.11.** Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Planta de Bellavista.

ÁREA CRÍTICA	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Jefatura de la Planta	Lavado de filtros y generador encendido.	76,2
Secretaría	Lavado de filtros y Generador encendido.	73,1
Sala de Reuniones	Lavado de filtros y Generador encendido.	68,4
Oficinas de Sistemas Especiales	Lavado de filtros y Generador encendido.	66,8
Laboratorio	Lavado de filtros, generador encendido y ventana abierta.	68,6
Taller mecánico	Lavado de filtros y generador encendido.	84,2
Soplantes	Lavado de filtros y generador encendido.	95,4

El nivel de ruido ambiental que se propaga al ambiente se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.12.** Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Planta de Bellavista, medido en dirección a la fuente.

SITIO DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Soplantes y Dispensores	Lavado de Filtros	53,2
Área de Dispensores y Adición del Cloro	Lavado de Filtros	48,2
Generador Eléctrico	En Operación	52,0

### 3.4.2. PLANTA NOROCCIDENTE

Los resultados de la medición realizada a un metro de distancia de las fuentes generadoras de ruido se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla Nº 3.13.** Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Planta de Noroccidente.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(C) a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Turbina	67,5	78,2	76,7	82,5	79,3	82,7	75,9	58,5	43,6	
Sala de cloro fuente	60,1	59,7	63,7	65,4	67,4	76,3	74,4	61,6	42,9	31,1
Sala de cloro pared	59,1	64,8	61,2	62,6	65,7	68,8	62,2	66,8	60,1	
Sala de cloro afuera	57,1	61,2	59,0	56,8	56,5	64,7	61,8	48,5	28,9	
Bombas	61,1	73,1	68,7	72,3	78,1	79,5	77,6	59,4	39,3	27,7

**Tabla Nº 3.14.** Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Planta de Noroccidente.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(A) a diferentes frecuencias										Leq dB(A)
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	
Turbina	28,1	52,0	60,6	73,9	76,1	82,7	77,1	59,5	42,5		84,8
Sala de cloro fuente	20,7	33,5	47,6	56,8	64,2	76,3	75,6	62,6	41,8	24,5	79,2
Sala de cloro pared	19,7	38,6	45,1	54,0	62,5	68,8	63,4	67,8	59,0		72,7
Sala de cloro afuera	17,7	35,0	42,9	48,2	53,3	64,7	63,0	49,5	27,8		67,3
Bombas	21,7	46,9	52,6	63,7	74,9	79,5	78,8	60,4	38,2	21,1	83,0

El nivel de presión sonora que registra el sonómetro al realizar la medición en las diferentes áreas críticas evaluadas, se detalla a continuación:

**Tabla Nº 3.15.** Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Planta de Noroccidente.

ÁREA CRÍTICA	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Sala de Control	Operación normal con dosificación de sulfato de aluminio y polímero	55,2
Oficinas	Operación normal con dosificación de sulfato de aluminio y polímero.	50,1
Taller mecánico	Operación normal con dosificación de cloro y bombas del Sistema Cochapamba-Atucucho encendidas.	66,4
Área de Filtros y Sedimentadores	Lavado de filtros.	77,2

El nivel de ruido ambiental que se propaga al ambiente se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.16.** Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Planta de Noroccidente, medido en dirección a la fuente.

SITIO DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Generador Hidroeléctrico	Operación normal	52,3
Cuarto de Cloro	Operación normal	49,8
Bombas del Sistema Cochapamba-Atucucho	Operación normal	53,8

### 3.4.3. PLANTA CHECA

Los niveles de presión sonora generados en las fuentes emisoras se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.17.** Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Planta de Checa.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(C) a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Filtros	53,1	65,6	56,4	61,5	74,1	71,9	67,8	60,3	50,8	37,2
Adición de Sulfato	57,6	63,0	59,4	63,5	65,4	63,0	60,3	57,3	52,6	42,3
Cloración	49,9	53,4	52,6	54,2	55,2	56,7	54,8	52,4	44,3	35,5

**Tabla Nº 3.18.** Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Planta de Checa.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(A) a diferentes frecuencias										Leq dB(A)
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	
Filtros	13,7	39,4	40,3	52,9	70,9	71,9	69,0	61,3	49,7	30,6	75,7
Adición de Sulfato	18,2	36,8	43,3	54,9	62,2	63,0	61,5	58,3	51,5	35,7	67,9
Cloración	10,5	27,2	36,5	45,6	52,0	56,7	56,0	53,4	43,2	28,9	61,2

Para esta Planta de Tratamiento, las zonas críticas de exposición a ruido corresponden a las fuentes, ya que los operadores realizan tareas en estos sitios, y parte del tiempo se encuentran ejecutando actividades en el área de control, en donde se registra un nivel de presión sonora equivalente de 58,2 dB(A).

El nivel de ruido ambiental que se propaga al ambiente se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.19.** Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Planta de Checa, medido en dirección a la fuente.

SITIO DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Área de Adición de Sulfato	Operación normal	56,0
Filtros Hidráulicos	Operación normal	58,1
Área de Cloración	Operación normal	50,0

### 3.4.4. CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL CARMEN

Los niveles de presión sonora generados en las fuentes emisoras se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.20.** Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Central Hidroeléctrica El Carmen.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(C) a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Turbina	80,0	87,1	88,7	88,4	86,2	90,1	87,5	73,7	53,5	64,3
Transformadores	60,4	60,3	65,0	60,1	57,8	56,3	58,8	45,2	27,0	
Caída de agua	81,5	78,7	78,3	83,0	86,2	86,7	80,1	63,7	57,0	53,8

**Tabla Nº 3.21.** Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Central Hidroeléctrica El Carmen.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(A) a diferentes frecuencias										Leq dB(A)
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	
Turbina	40,6	60,9	72,6	79,8	83,0	90,1	88,7	74,7	52,4	57,7	93,2
Transformadores	21,0	34,1	48,9	51,5	54,6	56,3	60,0	46,2	25,9		63,0
Caída de agua	42,1	52,5	62,2	74,4	83,0	86,7	81,3	64,7	55,9	47,2	89,2

El nivel de presión sonora que registra el sonómetro al realizar la medición en las diferentes áreas críticas evaluadas, se detalla a continuación:

**Tabla Nº 3.22.** Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Central Hidroeléctrica El Carmen.

ÁREA CRÍTICA	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Sala de Control	Operación normal	57,3
Taller mecánico	Operación normal	60,8
Área de Generador Eléctrico	Operación normal	63,8

El nivel de ruido ambiental que se propaga al ambiente se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.23.** Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Central Hidroeléctrica El Carmen, medido en dirección a la fuente.

SITIO DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Transformador	Operación normal	63,9
Caída de Agua	Operación normal	51,8
Turbina	Operación normal	65,7
Generador Eléctrico	Operación normal	60,8

### 3.4.5. CENTRAL RECUPERADORA DEL SISTEMA PAPALLACTA

Los niveles de presión sonora generados en las fuentes emisoras se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.24.** Nivel de presión sonora en dB(C) por fuente emisora en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(C) a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Turbina	90,6	91,2	92,3	91,5	89,1	86,0	82,8	74,4	64,0	51,9
Turbina-pared	72,4	77,0	77,3	76,2	76,0	74,1	70,8	61,7	40,1	
Válvula disipadora	76,8	80,0	83,9	83,3	81,3	78,5	76,7	72,9	55,3	41,3
Caída de agua	85,3	82,0	79,7	90,2	83,4	75,3	67,5	61,3	44,7	33,4

**Tabla Nº 3.25.** Nivel de presión sonora a diferentes frecuencias y Nivel de presión sonora equivalente en dB(A) por fuente emisora en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.

Fuente	Nivel de presión sonora en dB(A) a diferentes frecuencias										Leq dB(A)
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	
Turbina	51,2	65,0	76,2	82,9	85,9	86,0	84,0	75,4	62,9	45,3	91,2
Turbina-pared	33,0	50,8	61,2	67,6	72,8	74,1	72,0	62,7	39,0		78,4
Válvula disipadora	37,4	53,8	67,8	74,7	78,1	78,5	77,9	73,9	54,2	34,7	84,1
Caída de agua	45,9	55,8	63,6	81,6	80,2	75,3	68,7	62,3	43,6	26,8	84,7

El nivel de presión sonora que registra el sonómetro al realizar la medición en las diferentes áreas críticas evaluadas, se detalla a continuación:

**Tabla Nº 3.26.** Nivel de presión sonora equivalente por área crítica en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta.

ÁREA CRÍTICA	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Sala de Control	Operación normal	56,8
Taller mecánico	Operación normal, ejecutando trabajos de soldadura.	65,0

El nivel de ruido ambiental que se propaga al ambiente se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.27.** Nivel de presión sonora equivalente 3 m fuera del perímetro de la Central Recuperadora del Sistema Papallacta, medido en dirección a la fuente.

SITIO DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN	CONDICIONES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPSeq dB(A)
Transformador	Operación normal	61,9
Turbina – Generador	Operación normal	69,1
Pileta de Compensación	Operación normal	58,5

### 3.5. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN A RUIDO EN TRABAJADORES

Para determinar el nivel de exposición al ruido de los trabajadores, se determina el nivel de ruido diario equivalente, de la siguiente manera:

$$L_{Aep,d} = L_q + 10 \log \frac{T}{8} \quad [3.1]$$

Donde:

L<sub>q</sub> nivel de ruido continuo equivalente durante la jornada de trabajo

T duración diaria de la jornada en horas



El nivel de ruido diario equivalente es un indicador global de la exposición a ruido ya que combina los dos factores que determinan el riesgo: la intensidad media del ruido y la duración de la exposición.

El nivel de ruido continuo equivalente durante la jornada, en intervalos distintos de tiempo, puede representarse como:

$$L_{eqAi} = \left[ 10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^n t_i * 10^{0.1L_{pA}}}{\sum_{i=1} t_i} \right) \right] \quad [3.2]$$

Donde:

$L_{eqAi}$  Niveles de presión sonora medidos con ponderación A en cada intervalo.

$t_i$  Intervalos de tiempo

La dosificación y el tiempo de exposición se calcularán mediante las siguientes ecuaciones:

$$D = \frac{C}{T} \quad [3.3]$$

$$T = \frac{8}{2^{(L-85)/5}} \quad [3.4]$$

Donde:

D: Dosificación por jornada de 8 horas.

T: Tiempo de exposición (tiempo que es admisible tolerar determinado nivel).

L: Medida del Sonómetro escala A show (Nivel de exposición del personal).

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

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.28.** Dosificación y tiempo máximo de exposición al nivel de ruido existente en las áreas críticas de las cinco instalaciones seleccionadas.

INSTALACIÓN	ÁREA CRÍTICA	NPS dB(A)	T (horas)	C (horas)	D
PLANTA DE BELLAVISTA	Jefatura de Planta	76,2	27,1	2	0,074
	Secretaría	73,1	41,6	2	0,048
	Sala de Reuniones	68,4	79,8	2	0,025
	Oficina Sistemas Especiales	66,8	99,7	2	0,02
	Laboratorio	68,6	77,7	2	0,025
	Taller mecánico	84,2	8,9	2	0,22
	Soplantes	95,3	1,9	2	1,05
PLANTA DE NOROCCIDENTE	Sala de Control	55,2	498	3,5	0,007
	Oficina	50,1	1 010	3	0,003
	Taller mecánico	66,4	105,4	2	0,019
	Área de filtros y sedimentadores	77,1	23,7	2,5	0,11
	Turbina	84,8	8,1	1	0,12
PLANTA DE CHECA	Filtros	75,7	28,9	3	0,10
	Adición de Sulfato de Aluminio	67,9	85,1	2	0,023
	Cloración	61,1	217,9	1,5	0,007
	Sala de Control	58,2	328,5	5,5	0,017

**Continuación Tabla Nº 3.28.** Dosificación y tiempo máximo de exposición al nivel de ruido existente en las áreas críticas de las cinco instalaciones seleccionadas.

INSTALACIÓN	ÁREA CRÍTICA	NPS dB (A)	T (horas)	C (horas)	D
CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL CARMEN	Sala de Control	57,3	371,7	8	0,022
	Taller mecánico	60,8	229,1	2	0,0087
	Generador eléctrico	63,8	151,1	0,5	0,0033
	Turbina	93,2	2,5	1,5	0,6
CENTRAL RECUPERADORA SISTEMA PAPALLACTA	Turbina	91,2	3,3	2	0,6
	Sala de Control	56,8	398,3	8	0,02
	Taller mecánico	65,0	127,2	2	0,016

En la Planta de Tratamiento de Bellavista los sitios de influencia crítica de ruido corresponden a actividades diferentes realizadas en cada puesto de trabajo por operadores y funcionarios diferentes, por lo que el nivel de ruido diario equivalente se determina por cada una de las áreas.

Se debe considerar además que la medición de ruido para este caso, se realizó bajo las condiciones de mayor exposición a niveles de ruido, es decir en el momento en que se activan los soplantes y dispersores (lavado de filtros) lo cual tiene un tiempo de duración aproximado de 20 minutos, es decir, que durante la jornada de trabajo existiría un tiempo máximo de exposición de 2 horas.

Para el resto de Plantas de tratamiento y Centrales Hidroeléctricas, debido a que el mismo trabajador realiza tanto actividades operativas como de

mantenimiento, se determina el nivel de ruido diario equivalente, por intervalos de tiempo.

El ejemplo de cálculo aplicando la ecuación [3.1], se detalla en el Anexo V, y los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**Tabla Nº 3.29.** Nivel de ruido diario equivalente por puesto de trabajo en las cinco instalaciones críticas de la EMAAP-Q.

INSTALACIÓN	PUESTO DE TRABAJO	NIVEL DE RUIDO DIARIO EQUIVALENTE dB(A)
PLANTA DE BELLAVISTA	Jefe de Planta	70,2
	Secretaria	69,2
	Funcionarios (reunión)	62,6
	Funcionario	61,0
	Jefe de Laboratorio	62,8
	Operadores	87,9
PLANTA DE NOROCCIDENTE	Operadores	77,5
PLANTA DE CHECA	Operadores	72,1
C. H. EL CARMEN	Operadores	86,0
C. R. PAPALLACTA	Operadores	85,2

Sobrepasan el límite máximo de exposición laboral a ruido de 85 dB(A), 5 operadores en la Planta de Bellavista en el área de soplantes, 4 operadores en la Central Hidroeléctrica El Carmen en el área de la turbina, y 4 operadores en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta en el área de la turbina. En ninguno de los casos se sobrepasa el límite de exposición diaria de 90 dB(A).

### **3.6. PROPUESTAS DE CONTROL DE RUIDO**

#### **3.6.1. CONTROL DE RUIDO OCUPACIONAL**

En base a los resultados presentados anteriormente, se requiere tomar medidas de control que reduzcan el nivel de exposición a ruido de los operadores en la Planta de Bellavista, Central Hidroeléctrica El Carmen y Central Recuperadora del Sistema Papallacta.

Es necesario reducir la exposición al ruido a niveles lo más bajos técnica y razonablemente posibles considerando la disponibilidad de medidas de control aplicables a las instalaciones o procesos existentes.

En los puestos en los que el nivel diario equivalente supere 80 dBA las medidas a adoptarse son:

- Informar y formar, a cada trabajador sobre:
  - La evaluación de su exposición a ruido y los riesgos potenciales
  - Las medidas preventivas adoptadas
  - La utilización de los protectores auditivos
  - Los resultados del control médico de su audición
  
- Repetir la evaluación de la exposición cada tres años como mínimo.
  
- Realizar un control médico de la función auditiva de los trabajadores y posteriores controles periódicos quinquenales como mínimo.
  
- Proporcionar protectores auditivos a los trabajadores que lo soliciten.

En los puestos en los que el nivel diario supere 85 dBA las medidas a adoptar serán las mismas que en el apartado anterior, pero la repetición de la evaluación de la exposición será anual, la frecuencia de los controles médicos será cada tres años como mínimo y se suministrarán protectores auditivos a todos los trabajadores expuestos.

## ***Selección y uso de protectores auditivos***

Un mismo protector auditivo presenta atenuaciones reales distintas en función del tipo de ruido al que sea sometido, esto se debe al diferente comportamiento del protector frente a la frecuencia del ruido y no hay reglas generales por lo que la determinación de la atenuación conseguida con un protector determinado es una operación que debe realizarse en cada caso.

La norma UNE EN 458 propone un conjunto de procedimientos para calcular el nivel sonoro percibido por un trabajador que utilice una protección individual, cabe señalar que, en general, cuanto mayor es la atenuación proporcionada por un equipo también lo son las molestias que ocasiona, por ello se recomienda elegir equipos de protección individual con los que el nivel sonoro percibido se reduzca hasta un valor seguro, pero sin excesos, normalmente es suficiente un valor entre 65 y 80 dBA.

Los protectores auditivos que se suministran, podrán ser del tipo tapón (intraaurales) para introducir en el canal auditivo, o del tipo orejera para recubrir la oreja o pabellón auditivo. La atenuación de cada uno varía con la frecuencia del ruido por lo que es necesario conocer las curvas reales de atenuación que proporcione el protector en el espectro de frecuencia de banda de octavas, para la elección adecuada en cada caso particular. Nunca se podrá suministrar tapones auditivos donde el nivel de presión sonora sea mayor a los 104 dB(A).

Requieren el uso de protectores auditivos los operadores en el área de soplantes y taller mecánico en la Planta de Bellavista; y los operadores de la Central Hidroeléctrica el Carmen, y Central Recuperadora del Sistema Papallacta en el área de la turbina.

Debido a que en estos tres casos, el nivel de presión sonora más elevado se registra en frecuencias entre 125 y 8 000 Hz, la selección del protector auditivo necesario, deberá producir la mayor atenuación (30 – 40 dB(A)) en este rango.

Existen protectores auditivos tipo copa, con espuma interna y cojinete para aislar y atenuar los niveles de ruido perjudiciales para la salud, sin afectar la audición en la conversación normal, lo cual es recomendable en las instalaciones citadas anteriormente, ya que el trabajo que realizan los operadores por actividades de mantenimiento en estas zonas, requiere la atención tanto de señales visuales como auditivas a fin de evitar accidentes de tipo mecánico.

Ejemplos de atenuación con utilización de protectores tipo orejera, se detallan a continuación, y sus especificaciones constan en el Anexo VI:

**Tabla Nº 3.30.** Datos de atenuaciones conseguidas con protectores auditivos tipo orejeras, proporcionados por especificaciones de fabricantes

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<b>Atenuación en el oído por protector tipo orejeras 1435 dB(A)</b>	15,0	20,9	27,5	30,8	33,5	36,9	36,9
Desviación estándar protector tipo orejeras 1435	3,0	2,8	2,8	2,4	2,7	3,1	3,7
<b>Atenuación en el oído por protector tipo orejeras 1450 para casco dB(A)</b>	15,8	21,0	28,3	29,3	30,2	38,6	38,9
Desviación estándar protector tipo orejeras 1450 para casco	2,9	2,4	2,7	1,8	1,9	2,6	4,2
<b>Atenuación en el oído por protector tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza dB(A)</b>	19,5	22,9	31,7	40,8	36,1	41,1	38,4
Desviación estándar protector tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza	2,9	2,1	2,2	3,2	3,1	2,4	2,9
<b>Atenuación en el oído por protector tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza dB(A)</b>	20,4	22,8	30,4	39,5	36,1	42,1	39,5
Desviación estándar protector tipo orejeras 1427 en medio de la cabeza	4,2	2,0	1,8	2,8	2,0	2,8	2,5
<b>Atenuación en el oído por protector tipo orejeras 1427 debajo de la barbilla dB(A)</b>	18,5	22,8	31	40,1	35,7	41,3	37,9
Desviación estándar protector tipo orejeras 1427 debajo de la barbilla	3,4	2,7	2,2	2,2	2,4	3,0	2,6

La atenuación real que proporciona el protector auditivo se consigue al restar dos desviaciones estándar de la atenuación proporcionada por el fabricante, con lo que se obtienen los siguientes datos de atenuación real:

**Tabla N° 3.31.** Atenuaciones reales conseguidas con protectores auditivos tipo orejeras

	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1 kHz</b>	<b>2 kHz</b>	<b>4 kHz</b>	<b>8 kHz</b>
<b>Atenuación real en el oído por protector tipo orejeras 1435 dB(A)</b>	9,0	15,3	21,9	26,0	28,1	30,7	29,5
<b>Atenuación real en el oído por protector tipo orejeras 1450 para casco dB(A)</b>	10,0	16,2	22,9	25,7	26,4	33,4	30,5
<b>Atenuación real en el oído por protector tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza dB(A)</b>	13,4	18,7	27,3	34,4	29,9	36,3	32,6
<b>Atenuación real en el oído por protector tipo orejeras 1427 en medio de la cabeza dB(A)</b>	12,0	18,8	26,8	33,9	32,1	36,5	34,5
<b>Atenuación real en el oído por protector tipo orejeras 1427 debajo de la barbilla dB(A)</b>	11,7	17,4	26,6	35,7	30,9	35,3	32,7

La disminución del nivel de presión sonora percibido por el oído, con el uso de protectores auditivos tipo orejeras, en cada una de las instalaciones y áreas críticas de la EMAAP-Q, se presenta a continuación:



**Planta de Potabilización de Bellavista**

**Tabla N° 3.32.** Reducción del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) percibido, mediante el uso de protectores auditivos tipo orejera, Planta de Bellavista.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
	<b>ÁREA DE SOPLANTES</b>							<b>Leq dB(A)</b>
<b>NPS dB(A)</b>	62,3	73,4	77,8	82,1	79,4	70,7	51,5	85,4
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1435</b>	53,3	58,1	55,9	56,1	51,3	40,0	22,0	62,6
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1450</b>	52,3	57,2	54,9	56,4	53,0	37,3	21,0	62,2
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	48,9	54,7	50,5	47,7	49,5	34,4	18,9	58,0
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 en medio de la cabeza</b>	50,3	54,6	51,0	48,2	47,3	34,2	17,0	58,1
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	50,6	56,0	51,2	46,4	48,5	35,4	18,8	58,8
	<b>GENERADOR ELÉCTRICO</b>							
<b>NPS dB(A)</b>	78,9	82,3	82,6	85,7	83,1	78,0	57,0	90,3
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1435</b>	69,9	67,0	60,7	59,7	55,0	47,3	27,5	72,4
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1450</b>	68,9	66,1	59,7	60,0	56,7	44,6	26,5	71,5
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	65,5	63,6	55,3	51,3	53,2	41,7	24,4	68,2
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 en medio de la cabeza</b>	66,9	63,5	55,8	51,8	51,0	41,5	22,5	68,9
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	67,2	64,9	56,0	50,0	52,2	42,7	24,3	69,6

### Central Hidroeléctrica El Carmen

**Tabla N° 3.33.** Reducción del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) con el uso de protectores auditivos tipo orejeras, Central Hidroeléctrica El Carmen.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
	TURBINA							Leq dB(A)
<b>NPS dB(A)</b>	72,6	79,8	83,0	90,1	88,7	74,7	52,4	93,2
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1435</b>	63,6	64,5	61,1	64,1	60,6	44,0	22,9	70,1
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1450</b>	62,6	63,6	60,1	64,4	62,3	41,3	21,9	69,8
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	59,2	61,1	55,7	55,7	58,8	38,4	19,8	65,6
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 en medio de la cabeza</b>	60,6	61,0	56,2	56,2	56,6	38,2	17,9	65,7
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	60,9	62,4	56,4	54,4	57,8	39,4	19,7	66,3

### Central Recuperadora del Sistema Papallacta

**Tabla N° 3.34.** Reducción del nivel de presión sonora equivalente en dB(A) con el uso de protectores auditivos tipo orejeras, Central Recuperadora Papallacta

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
	TURBINA							Leq dB(A)
<b>NPS dB(A)</b>	76,2	82,9	85,9	86,0	84,0	75,4	62,9	90,3
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1435</b>	67,2	67,6	64,0	60,0	55,9	44,7	33,4	71,7
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1450</b>	66,2	66,7	63,0	60,3	57,6	42,0	32,4	71,0
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	62,8	64,2	58,6	51,6	54,1	39,1	30,3	67,5
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 en medio de la cabeza</b>	64,2	64,1	59,1	52,1	51,9	38,9	28,4	68,0
<b>NPS dB(A) con protectores auditivos tipo orejeras 1427 arriba de la cabeza</b>	64,5	65,5	59,3	50,3	53,1	40,1	30,2	68,8

En sitios de permanencia eventual a exposiciones de niveles de ruido superiores a 85 dB(A), se recomienda el uso de protectores auditivos tipo tapón, cuyo rango de atenuación en frecuencias de 125 a 8 000 Hz es de 30 a 40 dB(A) o de 18 a 30 dB(A).

### ***Vigilancia de la Salud de los Trabajadores Expuestos a Ruido***

Cuando el nivel de ruido diario equivalente supera el umbral de 80 dBA, es obligatorio implantar un programa de vigilancia de la salud que incluya reconocimientos audiométricos, para lo cual se requieren las siguientes acciones:

1. Enfocarse a la prevención y no al diagnóstico de una enfermedad; por lo que, debe realizarse de forma que posibilite la detección de posibles casos de hipoacusia debida a la exposición a ruido antes de que se produzcan.
2. Debe realizarse bajo la responsabilidad de un médico.
3. El control debe incluir los siguientes reconocimientos:
  - a. Reconocimiento inicial al incorporarse al trabajo
  - b. Reconocimientos periódicos en función del nivel de ruido diario equivalente en el puesto de trabajo.
4. El reconocimiento inicial debe incluir como mínimo una anamnesis y una otoscopia combinada con un control audiométrico, la misma que debe repetirse al cabo de dos meses.
5. Los reconocimientos posteriores deben incluir siempre una otoscopia y un control audiométrico.
6. Los audiómetros que se utilicen deberán estar calibrados y en correcto mantenimiento.

### 3.6.2. CONTROL DE RUIDO AMBIENTAL

A fin de obtener las medidas de control de ruido ambiental respectivas, se utilizan los datos resultado de la medición de ruido en dB(C), de cada una de las fuentes, se realiza la transformación respectiva a dB(A), se determina el nivel de presión sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) y el nivel de potencia sonora de cada fuente, y con esta información se establecen las propuestas de control específicas para cada caso.

#### 3.6.2.1. PLANTA DE POTABILIZACIÓN BELLAVISTA

Con los datos de la Tabla N° 3.10 se obtiene en nivel de potencia sonora. Esta información permite la determinación de las alternativas que se plantean a continuación:

**Tabla N° 3.35.** Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Planta de Bellavista.

Fuente	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Soplantes	82,0	83,5	89,4	93,0	92,0	93,1	89,2	80,7	63,6	48,5
Dispensores	86,0	74,0	79,5	77,0	80,1	79,0	74,4	73,3	61,0	42,6
Generador	93,0	102,0	106,0	101,9	96,8	96,7	92,9	88,0	69,1	52,4

#### **Generador eléctrico**

El generador eléctrico en esta Planta produce 90,3 dB(A), y a nivel ambiental, a 3 m fuera del cerramiento más cercano a la fuente (ubicada a aproximadamente a 20 m de distancia y profundidad de 8 m), se reportan en promedio 63,6 dB(A).

La implementación de barreras acústicas resulta inaplicable en este caso debido a que el generador se encuentra ubicado a una profundidad aproximada de 8 m del nivel del cerramiento, donde se realiza la medición de ruido ambiental, según se aprecia en la Fotografía N° 3.1.

Para las ondas sonoras que se propagan a muy baja altura existe una atenuación debida a su interacción con el terreno. Esta absorción depende del tipo de terreno, así para las frecuencias entre 200Hz y 1 000Hz los coeficientes de absorción varían entre 0,22 y 0,53 para terrenos cubiertos de hierba corta y 0,04 y 0,023 para suelos pedregosos.

Las ondas producidas se propagan en campo libre, chocan con esta superficie natural que se interpone en su marcha, absorbiendo parte de su energía, y a pesar de disminuir enormemente su intensidad a 26,7 dB(A); en la parte superior, sitio en donde se toma la medición de ruido ambiental, la onda se difracta formando un ángulo en donde prácticamente no hay reducción adicional del nivel sonoro. Para lograr esta reducción mediante una barrera rígida adicional, es necesario definir la distancia a la que se ubicaría la misma, y la altura mínima que permita romper la onda, sin embargo, las condiciones del terreno no permitirían esta construcción.



**Fotografía N° 3.1.** Ubicación del generador eléctrico respecto del sitio de medición , Planta de Bellavista.

En tal circunstancia, la opción más adecuada en este caso es el confinamiento del generador mediante el uso de cabinas de isonorización, compuestas de material aislante del sonido, en donde es importante considerar que la reducción del ruido es función de su frecuencia y de la masa por unidad de área del material.

Por medio del encerramiento de la fuente, se logra confinar la onda sonora dentro de una envoltura. El encerramiento será más pequeño mientras más cercanas estén sus paredes al origen del ruido. Siendo más pequeño, resultará menos costoso y será más sencilla su aplicación.

Todos los soportes del encerramiento deberán estar aislados de la vibración procedente de la fuente de ruido.

El tipo de cabina a utilizarse, estará compuesta por módulos desmontables de tool, con interior recubierto de esponja de alta densidad revestida de foil de aluminio antiinflamable, como se visualiza en la siguiente fotografía:



(Fuente: MIDEL, Servicios de Ingeniería y Mantenimiento, 2009)

**Fotografía N° 3.2.** Ejemplo de cabina de isonorización a utilizarse en el generador eléctrico, Planta de Bellavista.

Para determinar la magnitud de la reducción del nivel de presión sonora equivalente, por confinamiento, se realizó la medición del nivel de ruido generado a 1 m de distancia de la fuente, para luego restar las pérdidas por transmisión del material tabuladas en el Anexo III, y finalmente encontrar el nivel de presión sonora en dB(A), por diferencia con la atenuación A. Estos resultados se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 3.36.** Resultados de cálculos a diferentes frecuencias aplicando pérdidas por transmisión del acero como material de confinamiento.

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>NPS dB(C) a 1 m</b>	91,0	95,0	90,9	85,8	85,7	81,9	77,0	58,1
<b>Pérdias por Transmisión</b>	-3	-7	-15	-19	-25	-32	-37	-39
<b>NPS dB(C) confinamiento</b>	88,0	88,0	75,9	66,8	60,7	49,9	40,0	19,1
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,0	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
<b>NPS dB(A)</b>	61,8	71,9	67,3	63,6	60,7	51,1	41,0	18,0

$$Leq \text{ dB(A)} = 74,2$$

Este valor corresponde al nivel de presión sonora equivalente que registraría la fuente confinada, si la medición se toma a 1 m de distancia. A 15 m de distancia de la fuente, donde inicia la barrera natural formada por el desnivel del terreno en donde se ubica la fuente (aproximadamente 8 m de profundidad), aplicando la ecuación N° [2.7], se adicionalmente la disminución del nivel de presión sonora con la distancia, como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.37.** Resultados de cálculos del nivel de presión sonora a diferentes frecuencias a 15 m de distancia del generador cuando éste ha sido confinado, Planta de Bellavista.

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>NPS a 1 m (generador confinado)</b>	88,0	88,0	75,9	66,8	60,7	49,9	40,0	19,1
<b>NPS a 15 m</b>	64,5	64,5	52,4	43,3	37,2	26,4	16,5	-
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,0	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
<b>NPS dB(A)</b>	38,3	48,5	43,8	40,1	37,2	27,6	17,5	-

Leq dB(A) = 50,7

Considerando la barrera natural con la que cuenta este sector y la distancia a la que debe ser tomada la medición de ruido ambiental, el nivel de presión sonora equivalente a nivel ambiental se vería efectivamente reducido a valores inferiores a 45 dB(A).

#### ***Área de Soplantes y Dispensores:***

La medición del nivel de ruido ambiental se realiza a 3 m del cerramiento más próximo a esta fuente, es decir, en el área cercana a la dosificación de cloro.

La propagación de las ondas sonoras provenientes de área de soplantes y dispensores, se produce en campo directo, debido a que la puerta de acceso a los soplantes de 4,66 m \* 4,38 m permanece abierta.

En campo directo se produce la adición de niveles sonoros producidos por dispensores, filtros y dosificación de cloro, por lo que la medición en la fuente resulta poco aplicable para estimar el nivel de ruido en el cerramiento ya que no actúa como una fuente independiente. En este caso es conveniente la



elaboración del mapeo de ruido, sin embargo, dadas las condiciones de operación de las fuentes resulta bastante aproximado tomar el punto de mayor influencia directa del nivel de presión sonora ambiental, que para este estudio se localiza entre el área de carga y descarga de cloro, y la bodega, donde se registran 73,1 dB(A).

Bajo estas consideraciones se obtiene la siguiente información:

**Tabla Nº 3.38.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora a 5 m de distancia del área de carga y descarga de cloro, y la bodega, Planta de Bellavista.

Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
<b>dB (C) (1m)</b>	76,0	65,0	70,5	73,1	72,8	65,0	63,0	62,3	48,9	33,9
<b>NWS</b>	87,0	76,0	81,5	84,1	83,8	76,0	74,0	73,3	59,9	44,9
<b>NPS (5m)</b>	62,0	51,0	56,5	59,1	58,8	51,0	49,0	48,3	34,9	19,9
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	-6,6
<b>NPS dB(A)</b>	22,6	24,8	40,4	50,5	55,6	51,0	50,2	49,3	33,8	13,3

$$Leq \text{ dB(A)} = 59,1$$

La implementación de una barrera rígida en el cerramiento frente al área de soplantes (junto al área de carga y descarga de cloro), permite la ruptura de la onda y la creación de una sombra acústica al lado posterior a la pared, sitio en donde se realizará la medición de ruido ambiental.

Mediante la aplicación de la ecuación [2.8] para la obtención del número de Fresnel y la Figura Nº 2.1., se obtiene la atenuación debida a la barrera rígida, con la siguiente disminución del nivel de presión sonora:

$$A = 5,39$$

$$B = 3,61$$

$$D = 8$$

$$N = 2 f / 340$$

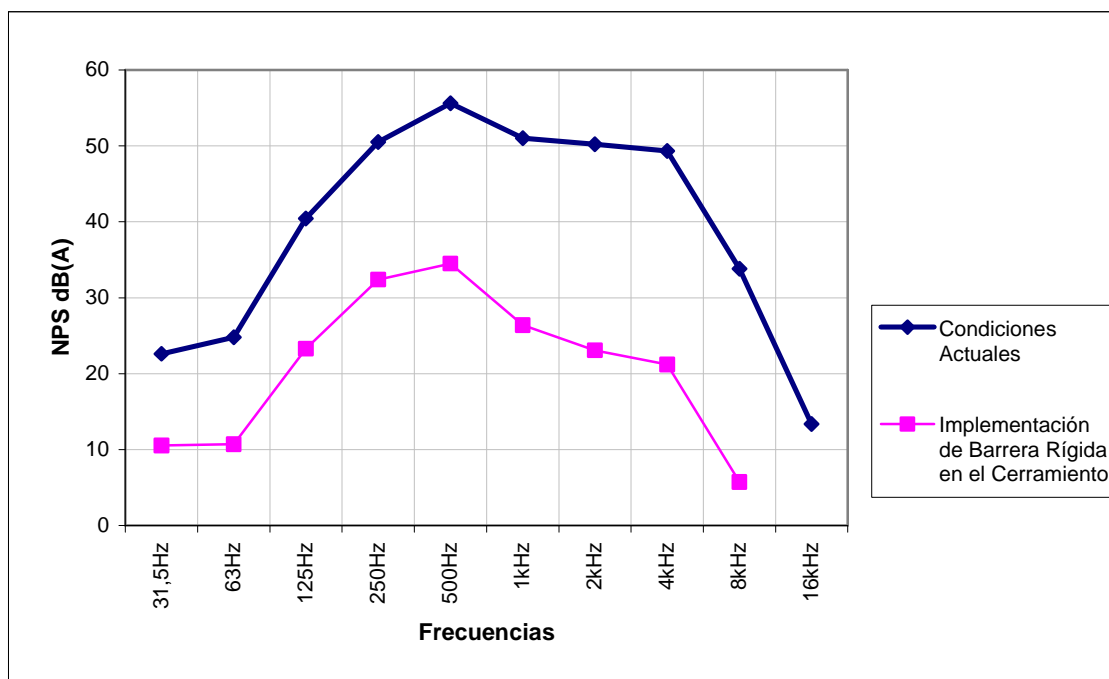
**Tabla N° 3.39.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora implementando una barrera rígida en el cerramiento del área de caga y descarga de cloro, y la bodega, Planta de Bellavista.

Hz	31,5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
<b>dB (C) (1m)</b>	76,0	65,0	70,5	73,1	72,8	65,0	63,0	62,3	48,9	33,9
<b>NWS</b>	87,0	76,0	81,5	84,1	83,8	76,0	74,0	73,3	59,9	44,9
<b>NPS (8m)</b>	57,9	46,9	52,4	55,0	54,7	46,9	44,9	44,2	30,8	15,8
<b>N</b>	0,2	0,4	0,7	1,5	2,9	5,8	11,8	23,5	47,1	94,1
<b>Atenuación por barrera</b>	-8	-10	-13	-14	-17	-20,5	-23	-24	-24	-24
<b>NPS</b>	49,9	36,9	39,4	41,0	37,7	26,4	21,9	20,2	6,8	-8,2
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	-6,6
<b>NPS dB(A)</b>	10,5	10,7	23,3	32,4	34,5	26,4	23,1	21,2	5,7	-

$$Leq \text{ dB(A)} = 37,3$$

La barrera rígida a implementarse debe ubicarse en el cerramiento frente a la fuente emisora, y sus dimensiones serán de 9 m de largo y 2 m de alto.

La disminución del nivel de presión sonora utilizando bandas de octava, con implementación de una barrera rígida en el cerramiento de la Planta frente al área de soplantes, se visualiza en el siguiente gráfico:



**Figura N° 3.14.** Variación del nivel de presión sonora con la frecuencia con y sin implementación de barrera rígida, carga de carga y descarga de cloro y bodega, Planta de Bellavista.

### 3.6.2.2. PLANTA DE POTABILIZACIÓN NOROCCIDENTE

Con los datos de la Tabla N° 3.14 y aplicando la ecuación N° [2.7], se obtiene en nivel de potencia sonora. Esta información permite la determinación de las alternativas que se plantean a continuación:

**Tabla N° 3.40.** Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Planta de Noroccidente.

Fuente	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Turbina	75,5	86,2	84,7	90,5	87,3	90,7	83,9	66,5	51,6	
Sala de cloro fuente	71,1	70,7	74,7	76,4	78,4	87,3	85,4	72,6	53,9	42,1
Bombas	29,7	54,9	60,6	71,7	82,9	87,5	86,8	68,4	46,2	29,1

### **Turbina:**

El sonido que se origina en un espacio cerrado, se extiende hasta llegar a alguna superficie, en donde es absorbido o reflejado. Si las superficies del cuarto son duras, habrá reverberación del sonido, los sonidos intermitentes se mezclan y los sonidos continuos se suman. El resultado es un espacio relativamente ruidoso.

Cuando se tienen fuentes emisoras dentro de un recinto, se aplican los métodos de absorción del local y/o confinamiento, utilizando para cada caso los coeficientes de absorción y transmisión de ruido de los diferentes materiales de construcción típicos, según constan en el Anexo III y IV.

Las dimensiones del recinto en donde se encuentra alojada la turbina son las siguientes:

Largo = 11m  
Ancho = 7m  
Alto = 8m  
espacio libre = 2m

#### Ventanales

Alto = 0,95m  
Ancho = 0,2m

pared oeste: 17 ventanales  
pared sur: 13 ventanales

Por lo tanto:

S1 (piso)	77m <sup>2</sup>
S2 (paredes)	288m <sup>2</sup>
S3 (vidrio)	5,7m <sup>2</sup>
St	370,7m <sup>2</sup>

$$S3 / S2 = 1 / 50$$

Bajo las condiciones actuales y aplicando las ecuaciones [2.3] para encontrar la absorción acústica total A, [2.6] para el coeficiente de absorción medio  $\bar{\alpha}$ , [2.5] para la constante de cerramiento del local R, [2.4] para determinar el nivel

de presión sonora producido por la absorción del recinto, y los datos y figura del Anexo IV para determinar las pérdidas por transmisión de materiales compuestos TL1 y TL2, se obtiene la siguiente información:

**Tabla N° 3.41.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>NPS dB(C)</b>	76,7	82,5	79,3	82,7	75,9	58,5
<b>NWS</b>	84,7	90,5	87,3	90,7	83,9	66,5
$\alpha_{\text{ladrilloenlucido}}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
$\alpha_{\text{vidrio}}$	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
$\alpha_{\text{cementoenlucido}}$	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
<b>A1</b>	3,1	3,1	3,1	3,9	4,6	2,3
<b>A2</b>	5,8	5,8	5,8	8,6	11,5	11,5
<b>A3</b>	0,23	0,23	0,17	0,17	0,11	0,11
$\sum A_i$	9,07	9,07	9,01	12,66	16,25	13,94
$\bar{\alpha}$	0,024	0,024	0,024	0,034	0,044	0,038
<b>R</b>	9,12	9,12	9,12	13,05	17,06	14,64
<b>NPS 3m</b>	81,3	87,1	83,9	85,8	77,9	61,1
<b>TL2</b>	31	30	29	30	39	44
<b>TL3</b>	15	15	20	23	29	26
<b>TI2 - TL3</b>	16	15	9	7	10	18

**Continuación Tabla N° 3.41.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>Pérdida de aislamiento</b>	4	3	0	0	1	4
<b>Pérdida por transmisión</b>	27	27	29	30	38	40
<b>NPS después de la pared</b>	54,3	60,1	54,9	55,8	39,9	21,1
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	38,2	51,5	51,7	55,8	41,1	22,1

$Leq \text{ dB(A)} = 58,4$

Este valor resulta muy similar al valor medido en el exterior de este recinto en donde se reportan 57,9 dB(A).

La capacidad de absorción del sonido de un material dependerá de la resistencia que ofrezca al flujo de aire. El valor de tal resistencia es función de la frecuencia del sonido; del espesor del material y de la forma de instalarlo; también del espacio de aire que se deje entre la cara posterior del material absorbente y alguna superficie rígida que le sirva de respaldo.

A fin de disminuir el nivel de presión sonora que emite la fuente hacia el exterior, se proponen las siguientes modificaciones al recinto, mejorando su absorción:

a) Sustitución del techo de zinc por losa de hormigón:

Siguiendo el mismo procedimiento y aplicando las ecuaciones descritas anteriormente, se modifican los coeficientes de absorción para este caso, con los resultados que se presentan a continuación:

**Tabla Nº 3.42.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, sustituyendo el techo de zinc por losa de hormigón, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>NPS dB(C)</b>	76,7	82,5	79,3	82,7	75,9	58,5
<b>NWS</b>	84,7	90,5	87,3	90,7	83,9	66,5
$\alpha_{\text{ladrilloenlucido}}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
$\alpha_{\text{vidrio}}$	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
$\alpha_{\text{cementoenlucido}}$	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
$\alpha_{\text{hormigón}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
<b>A1</b>	3,08	3,08	3,08	3,85	4,62	2,31
<b>A2</b>	5,76	5,76	5,76	8,64	11,52	11,52
<b>A3</b>	0,23	0,23	0,17	0,17	0,11	0,11
<b>A4</b>	0,77	0,77	1,54	1,54	2,31	2,31
$\sum A_i$	10,07	10,07	11,0	14,8	19,14	16,72
$\bar{\alpha}$	0,022	0,022	0,024	0,032	0,041	0,036
<b>R</b>	10,07	10,07	11,00	14,8	19,14	16,72
<b>NPS 3m</b>	80,9	86,7	83,1	85,3	77,4	60,6

**Continuación Tabla N° 3.42. Resultados obtenido**

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
TL2	31	30	29	30	39	44
TL3	15	15	20	23	29	26
Tl2 - TL3	16	15	9	7	10	18
Pérdida de aislamiento	4	3	0	0	1	4
Pérdida por transmisión	27	27	29	30	38	40
NPS después de la pared	53,9	59,7	54,1	55,3	39,4	20,6
Atenuación A	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0
NPS dB(A)	37,7	51,1	50,7	55,3	40,6	21,6

Leq dB(A) = 57,8

b) Sustitución del techo de zinc por celotex

**Tabla N° 3.43. Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, sustituyendo el techo de zinc por celotex, Planta de Noroccidente.**

Hz	125	250	500	1k	2k	4k
NPS dB(C)	76.7	82.5	79.3	82.7	75.9	58.5
NWS	84.7	90.5	87.3	90.7	83.9	66.5
$\alpha_{\text{ladrilloenlucido}}$	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
$\alpha_{\text{vidrio}}$	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02



**Continuación Tabla N° 3.43.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, sustituyendo el techo de zinc por celotex, Planta de Noroccidente.

<b>Hz</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1 k</b>	<b>2 k</b>	<b>4 k</b>
$\alpha_{\text{cementoenlucido}}$	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
$\alpha_{\text{celotex}}$	0,08	0,18	0,48	0,63	0,75	
<b>A1</b>	3,08	3,08	3,08	3,85	4,62	2,31
<b>A2</b>	5,76	5,76	5,76	8,64	11,52	11,52
<b>A3</b>	0,23	0,23	0,17	0,17	0,11	0,11
<b>A4</b>	6,16	13,86	36,96	48,51	57,75	0,0
$\sum A_i$	15,22	22,92	45,97	61,17	74,00	13,94
$\bar{\alpha}$	0,03	0,05	0,10	0,13	0,16	0,03
<b>R</b>	15,76	24,06	51,41	71,07	88,47	14,32
<b>NPS 3m</b>	79,0	83,1	77,1	79,4	71,9	61,2

**Continuación Tabla N° 3.43.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, sustituyendo el techo de zinc por celotex, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>TL2</b>	31	30	29	30	39	44
<b>TL3</b>	15	15	20	23	29	26
<b>Tl2 - TL3</b>	16	15	9	7	10	18
<b>Pérdida de aislamiento</b>	4	3	0	0	1	4
<b>Pérdida por transmisión</b>	27	27	29	30	38	40
<b>NPS después de la pared</b>	52,0	56,1	48,1	49,4	33,9	21,2
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	35,9	47,5	44,9	49,4	35,1	22,2

Leq dB(A) = 52,6

c) Recinto original con implementación de barrera rígida en el cerramiento.

Debido a que la modificación del recinto resulta costosa y únicamente se logran reducir como máximo 5 dB(A), se considera conveniente la construcción de una barrera rígida en el cerramiento de la Planta, estudiando a la fuente y al recinto de manera conjunta, de modo que la propagación del sonido se estime en campo libre.

Este resultado permite determinar niveles de presión sonora inferiores a los originales en los que no existía la implementación de una barrera. La efectividad de la pantalla dependerá de su tamaño; del material de

construcción; del espesor de la pared; de la ubicación con respecto a la fuente y al receptor; de la longitud de onda del sonido que se intenta controlar.

Con los resultados de la medición de ruido realizada en el exterior del recinto en donde se encuentra ubicada la turbina, se calcula el nivel de presión sonora que se obtendría a una distancia de 9 m, si la barrera estuviese ubicada a 6m de la fuente, aplicando la ecuación [2.8] para calcular el número de Fresnel, y la Figura N° 2.1, para la determinación de la atenuación debida a la barrera, con los siguientes resultados:

$$A = 6,32$$

$$B = 3,6$$

**Tabla N° 3.44.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente por la turbina ubicada en un espacio cerrado, utilizando una barrera rígida en el camino de la transmisión, Planta de Noroccidente.

Hz	31.5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
<b>NPS (1m pared)</b>	29,5	33,3	47,7	49,0	53,4	54,9	49,6	46,9	40,0
<b>N</b>	0,08	0,17	0,33	0,67	1,35	2,70	5,41	10,82	21,64
<b>Atenuación por barrera</b>	-7	-8,5	-10	-11	-14	-17	-21	-23,5	-24
<b>NPS (9m)</b>	22,5	24,8	37,7	38,0	39,4	37,9	28,6	23,4	16,0
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
<b>NPS dB(A)</b>	-	-	21,6	29,4	36,2	37,9	29,8	24,4	14,9

$$Leq \text{ dB(A)} = 41,0$$

Esta alternativa resulta ser la más apropiada por cuanto su implementación implica una mayor efectividad en la disminución del nivel de presión sonora a un menor costo.

La barrera rígida deberá ubicarse en el cerramiento, frente a la fuente, y sus dimensiones serán de 11 m de largo y 2 m de alto.

### **Sala de cloro:**

El sitio de ubicación de la sala de cloro está dividido en dos secciones: la una comprende el área de dosificación (fuente emisora de ruido), cuyo local es de 10,33 m<sup>2</sup>, y la otra pertenece al área de almacenamiento de los cilindros de cloro gas con aproximadamente 55 m<sup>2</sup>.

Las dimensiones del área de dosificación de cloro son las siguientes:

Largo = 4,05 m  
Ancho = 2,55 m  
Alto = 4,7m  
espacio libre = 2m

Ventanales

Alto = 0,95m  
Ancho = 0,2m

pared este : 7 ventanales

Por lo tanto:

S1 (piso)	10,33 m2
S2 (paredes)	62,04 m2
S3 (vidrio)	1,33 m2
St	73,7 m2

Las dimensiones del área de almacenamiento de cilindros de gas cloro, lugar de propagación parcial de las ondas, son las siguientes:

Largo = 5 m  
Ancho = 11 m  
Alto = 6 m  
espacio libre = 2m

Ventanales

- 6 ventanales con las siguientes dimensiones:

Alto = 0,95m  
Ancho = 0,2m

- Un ventanal con las siguientes dimensiones:

Alto = 1,5 m  
 Ancho = 0,9 m

Por lo tanto:

S1 (piso)	55 m <sup>2</sup>
S2 (paredes)	162 m <sup>2</sup>
S3 (vidrio)	2,49 m <sup>2</sup>
S4 (puerta)	20 m <sup>2</sup>
St	247 m <sup>2</sup>

Con los datos obtenidos de la medición de ruido en la fuente, las dimensiones anteriormente citadas bajo las condiciones actuales de trabajo y aplicando las ecuaciones [2.3] para encontrar la absorción acústica total A, [2.6] para el coeficiente de absorción medio  $\bar{\alpha}$ , [2.5] para la constante de cerramiento del local R, [2.4] para determinar el nivel de presión sonora producido por la absorción del recinto, y los datos y figura del Anexo IV para determinar las pérdidas por transmisión de materiales compuestos TL1 y TL2, se obtiene la siguiente información:

a) determinación del nivel de presión sonora transmitida de la dosificación de cloro hacia la zona de almacenamiento de cloro gas:

**Tabla N° 3.45.** Resultados obtenidos para la determinación del nivel de presión sonora transmitido por la dosificación de cloro hacia la zona de almacenamiento de cloro gas, en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>NPS dB (C)</b>	63,7	65,4	67,4	76,3	74,4	61,6
$\alpha_{\text{ladrilloenlucido}}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
$\alpha_{\text{vidrio}}$	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
$\alpha_{\text{cementoenlucido}}$	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
<b>A1</b>	0,41	0,41	0,41	0,52	0,62	0,31

**Continuación Tabla Nº 3.45.** Determinación del nivel de presión sonora transmitido de dosificación de cloro a zona de almacenamiento de cloro gas, en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>A2</b>	1,24	1,24	1,24	1,86	2,48	2,48
<b>A3</b>	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
$\sum A_i$	1,71	1,71	1,69	2,42	3,13	2,82
$\bar{\alpha}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
<b>R</b>	1,74	1,74	1,74	2,52	3,23	2,91
<b>NWS</b>	74,7	76,4	78,4	87,3	85,4	72,6
<b>NPS 2,55m dB(C)</b>	78,3	80,0	82,0	89,3	86,4	74,0
<b>S2/S1</b>	pared/vidrio 1/47					
<b>TL1</b>	31	30	29	30	39	44
<b>TL2</b>	15	15	20	23	29	26
<b>TL1 - TL2</b>	16	15	9	7	10	18
<b>P. aislamiento</b>	4	3	0	0	1	4
<b>Pérdidas totales</b>	27	27	29	30	38	40
<b>NPS(después de la pared)</b>	51,0	51,0	53,0	59,3	48,4	34,0

Con esta información se obtiene un nivel de presión sonora equivalente de 60,3 dB(A), sin embargo, la medición realizada en este lugar, tiene como resultado un valor mayor al calculado debido al fenómeno de reverberación, y la adición del ruido externo a este recinto que incluye la circulación del agua en canal

abierto hacia la zona de dosificación de cloro, y un ventilador en el área de almacenamiento de los cilindros de cloro gas. Con los datos obtenidos de la medición se calcula el nivel de presión sonora que atraviesa el segundo recinto (área de almacenamiento de gas cloro).

b) determinación del nivel de presión sonora transmitida desde la zona de almacenamiento de gas cloro hacia el exterior:

Se aplica la siguiente ecuación:

$$NPS_2 = NPS_1 - 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r_1^2} + \frac{4}{R} \right) + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r_2^2} + \frac{4}{R} \right)$$

(Restando Ecuación [2.4] a distancia  $r_1$  y Ecuación [2.4] a distancia  $r_2$ )

Los resultados son los siguientes:

**Tabla Nº 3.46.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente desde la zona de almacenamiento de cloro gas, ubicada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>NPS dB (C)</b>	61,2	62,6	65,7	68,8	62,2	66,8
$\alpha_{ladrilloenlucido}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
$\alpha_{vidrio}$	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
$\alpha_{cementoenlucido}$	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
<b>A1</b>	2,20	2,20	2,20	2,75	3,30	1,65
<b>A2</b>	3,12	3,12	3,12	4,68	6,24	6,24
<b>A3</b>	0,10	0,10	0,07	0,07	0,05	0,05
$\sum A_i$	5,42	5,42	5,39	7,50	9,59	7,94

**Continuación Tabla Nº 3.46.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente desde la zona de almacenamiento de cloro gas, ubicada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Planta de Noroccidente.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
$\bar{\alpha}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03
R	5,5	5,5	5,5	7,72	9,98	8,22
<b>NPS 11m</b>	60,8	62,2	65,3	68,2	61,4	66,2

$$S3 / S2 = 1 / 63$$

<b>TL2</b>	31	30	29	30	39	44
<b>TL3</b>	15	15	20	23	29	26
<b>TL2 - TL3</b>	16	15	9	7	10	18
<b>Pérdidas por aislamiento</b>	3	2	0	0	0	4
<b>Pérdidas totales</b>	28	28	29	30	39	40
<b>NPS transmitida</b>	32,8	34,2	36,3	38,2	22,4	26,2
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	16,7	25,6	33,1	38,2	23,6	27,2

Con esta información se obtiene que el nivel de presión sonora equivalente es de 40,0 dB(A).

Este valor representa el nivel de presión sonora equivalente que registraría el sonómetro en el exterior de la edificación, en dirección a la fuente, trabajando con la puerta abierta, y siempre y cuando no existan otras fuentes sonoras en los alrededores, que incrementen dicho valor.



Considerando las pérdidas por la propagación del sonido con la distancia, en el cerramiento de la Planta, el nivel de presión sonora sería inferior a 45,0 dB(A), sin embargo, debido a que el exterior al cuarto de cloro se encuentra influenciado por niveles de ruido provenientes del área de filtros, de las bombas de distribución de agua al barrio Cochapamba – Atucucho, e incluso del ambiente externo a la Planta (ruido de la quebrada aledaña y de casas circundantes), se registran valores de ruido ambiental superiores a 50,0 dB(A).

Se demuestra entonces, mediante los cálculos anteriormente presentados y las mediciones de ruido de fondo realizadas durante el periodo 2009, que la dosificación de cloro no genera un nivel de ruido significativo, por lo que la implementación de medidas correctivas en esta zona resultan innecesarias, en tal circunstancia, es conveniente que la medición de ruido ambiental en esta zona sea eliminada, o en su defecto tomada en lo posible con las Bombas del Sistema Cochapamba – Atucucho apagadas.

### ***Bombas del Sistema Cochapamba – Atucucho***

La propagación del sonido en esta zona se produce en campo libre debido a que las bombas se encuentran localizadas en un espacio abierto.

La medición de ruido se realiza a una distancia equidistante de las tres bombas, a fin de obtener el nivel ruido resultante de la adición de los tres niveles sonoros, lo cual representa la condición más crítica.

Debido a estas condiciones, se determina como alternativa de control, la implementación de una barrera rígida en el cerramiento, aplicando el mismo procedimiento planteado anteriormente.

Con esta información se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla Nº 3.47.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el camino de la propagación, bombas del Sistema Cochabamba-Atucucho, Planta de Noroccidente.

Hz	31,5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16k
<b>NPS dB (C)</b>	61,1	73,1	68,7	72,3	78,1	79,5	77,6	59,4	39,3	27,7
<b>NWS</b>	72,1	84,1	79,7	83,3	89,1	90,5	88,6	70,4	50,3	38,7
<b>NPS (18m)</b>	36,0	48,0	43,6	47,2	53,0	54,4	52,5	34,3	14,2	2,6
<b>N</b>	0,14	0,27	0,54	1,09	2,18	4,35	8,71	17,41	34,82	69,65
<b>Atenuación por pared</b>	-7	-9	-11	-13	-17	-19	-23	-24	-24	-24
<b>NPS después de la barrera</b>	29,0	39,0	32,6	34,2	36,0	35,4	29,5	10,3	-	-
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	-	-
<b>NPS dB(A)</b>		12,8	16,5	25,6	32,8	35,4	30,7	11,3	-	-

Con los datos calculados se obtiene que la construcción de una barrera rígida de 15 m de largo y 2m de alto, a una distancia de 15 m de la fuente (lugar en donde se encuentra ubicado el cerramiento), permite disminuir el nivel de ruido de 51,6 dB(A) a 38,4 dB(A), si la medición ambiental fuera tomada a 3m de distancia de dicha barrera, sin la presencia de niveles de ruido adicionales al considerado para el presente cálculo.

### 3.6.2.3. PLANTA DE POTABILIZACIÓN CHECA

Con los datos de la Tabla Nº 3.18 se obtiene en nivel de potencia sonora. Esta información permite la determinación de las alternativas que se plantean a continuación:

**Tabla Nº 3.48.** Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Planta de Checa.

Fuente	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Filtros	64,1	76,6	67,4	72,5	85,1	82,9	78,8	71,3	61,8	48,2
Adición de Sulfato	68,6	74,0	70,4	74,5	76,4	74,0	71,3	68,3	63,6	53,3
Cloración	60,9	64,4	63,6	65,2	66,2	67,7	65,8	63,4	55,3	46,5

Las bombas de filtros y de adición de sulfato de aluminio se encuentran ubicadas en espacios abiertos por lo que el ruido se propaga en campo libre.

### **Bombas de filtros**

Se requiere disminuir el nivel de ruido en 20 dB(A) a una distancia de 6m de la fuente emisora, las ondas se propagan en campo directo por lo que la mejor alternativa resulta la implementación de una barrera rígida, aplicando el procedimiento planteado para la Planta de Noroccidente:

**Tabla Nº 3.49.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, a 3 m de distancia de las bombas de filtros, Planta de Checa.

Hz	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k
NPS dB(C)	65,6	56,4	61,5	74,1	71,9	67,8	60,3
NWS	76,6	67,4	72,5	85,1	82,9	78,8	71,3
NPS (6m) dB(C)	50,0	40,8	45,9	58,5	56,3	52,2	44,7
N	0,22	0,44	0,88	1,76	3,53	7,06	14,12
Atenuación por barrera	-9	-11	-12	-15	-19	-22	-24

**Continuación Tabla N° 3.49.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, a 3 m de distancia de las bombas de filtros, Planta de Checa.

Hz	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>NPSbarrera (6m) dB(C)</b>	41,0	29,8	33,9	43,5	37,3	30,2	20,7
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS (6m) dB(A)</b>	14,8	13,7	25,3	40,3	37,3	31,4	21,7

Leq dB(A) = 42,6

Con los datos calculados se obtiene que la construcción de una barrera rígida de 6 m de largo y 2 m de alto, a una distancia de 3 m de la fuente (lugar en donde se encuentra ubicado el cerramiento), permite disminuir el nivel de ruido de 60 a 42,6 dB(A), si la medición ambiental fuera tomada a 3 m de distancia de dicha barrera.

La barrera rígida deberá construirse de ladrillo rígido u hormigón, y estará ubicada de modo que la fuente quede en el centro, es decir 2 m de construcción a cada lado de la fuente.

#### ***Área de adición de sulfato de aluminio***

Se aplican las mismas consideraciones del caso anterior, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° 3.50.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, a 1 m de distancia del área de adición de sulfato de aluminio, Planta de Checa.

Hz	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
<b>NPS (1m) dB(C)</b>	63,0	59,4	63,5	65,4	63,0	60,3	57,3	52,6
<b>NWS dB(C)</b>	74,0	70,4	74,5	76,4	74,0	71,3	68,3	63,6
<b>NPS (3m)</b>	53,5	49,9	54,0	55,9	53,5	50,8	47,8	43,1
<b>N</b>	0,38	0,76	1,52	3,04	6,09	12,18	24,35	48,71
<b>Atenuación por barrera</b>	-10,5	-12,0	-15,0	-18,0	-20,5	-23,0	-26,0	-30,0
<b>NPS(3m) barrera dB(C)</b>	43,0	37,9	39,0	37,9	33,0	27,8	21,8	13,1
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
<b>NPS(3m) barrera dB(A)</b>	16,8	21,8	30,4	34,7	33,0	29,0	22,8	12,0

Leq dB(A) = 38,6

Con los datos calculados se obtiene que la construcción de una barrera rígida de 6m de largo y 2m de alto, a una distancia de 1m de la fuente (lugar en donde se encuentra ubicado el cerramiento), permite disminuir el nivel de ruido de 58,4 a 38,6 dB(A), si la medición ambiental fuera tomada a 3m de distancia de dicha barrera.

### **Área de cloración:**

Al igual que los dos casos anteriores, al tratarse de propagación de ruido en campo libre, se aplican los mismos criterios con los siguientes resultados:

**Tabla Nº 3.51.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para determinación del NPS a 8 m del área de cloración, Planta de Checa.

Hz	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
<b>NPS (1m) dB(C)</b>	53,4	52,6	54,2	55,2	56,7	54,8	52,4	44,3	35,5
<b>NWS</b>	64,4	63,6	65,2	66,2	67,7	65,8	63,4	55,3	46,5
<b>NPS (8m) dB(C)</b>	35,3	34,5	36,1	37,1	38,6	36,7	34,3	26,2	17,4
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	-6,6
<b>NPS (8m) dB(A)</b>	9,1	18,4	27,5	33,9	38,6	37,9	35,3	25,1	10,8

El nivel de presión sonora equivalente, sin necesidad de implementación de barrera, considerando únicamente la atenuación debida a la distancia de 8m (sitio de medición de ruido ambiental), es de 43,1 dB(A), considerando que la fuente se encuentra sola, sin la interferencia del área de filtros y de dosificación de sulfato de aluminio.

### 3.6.2.4. CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL CARMEN

Con los datos de la Tabla Nº 3.21 se obtiene en nivel de potencia sonora. Esta información permite la determinación de las alternativas que se plantean a continuación:

**Tabla Nº 3.52.** Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Fuente	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias									
	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Turbina	91,0	98,1	99,7	99,4	97,2	101,1	98,5	84,7	64,5	75,3
Transformadores	71,4	71,3	76,0	71,1	68,8	67,3	69,8	56,2	38,0	
Caída de agua	92,5	89,7	89,3	94,0	97,2	97,7	91,1	74,7	68,0	64,8

Para el análisis de esta instalación, se considera a la turbina como fuente predominante de ruido. El área de los transformadores se encuentra directamente influenciada por el nivel de ruido generado por la turbina, como se observa en la siguiente fotografía:



**Fotografía Nº 3.3.** Central Hidroeléctrica El Carmen, área de Transformadores.

### ***Turbina***

En el sector de la fachada lateral derecha del recinto en donde se ubica la turbina, debido a que la puerta de acceso siempre permanece abierta para ayudar a la circulación de aire, el ruido se propaga en campo libre, obteniéndose en la parte externa al cerramiento la consiguiente disminución del nivel de ruido con la distancia, aplicando la ecuación [2.7] se presenta la siguiente información:

**Tabla Nº 3.53.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora a 38 m de la turbina, sector transformadores, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	31.5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
<b>NPS dB (C)</b>	80,0	87,1	88,7	88,4	86,2	90,1	87,5	73,7	53,5	64,3
<b>NWS</b>	91,0	98,1	99,7	99,4	97,2	101,1	98,5	84,7	64,5	75,3
<b>NPS 38 m dB(C)</b>	48,4	55,5	57,1	56,8	54,6	58,5	55,9	42,1	21,9	32,7
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	-6,6
<b>NPS 38 m (dB(A))</b>	9,0	29,3	41,0	48,2	46,0	58,5	57,1	43,1	20,8	26,1

Leq dB(A) = 61,3

Si en la dirección de la propagación de las ondas sonoras se implementa una barrera rígida que reduzca su transmisión hacia el exterior del cerramiento de la Central Hidroeléctrica, se obtendría el siguiente resultado:

**Tabla Nº 3.54.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora a 38 m de la turbina, con implementación de barrera rígida, cerramiento sector transformadores, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	31,5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
<b>NPS dB (C)</b>	80,0	87,1	88,7	88,4	86,2	90,1	87,5	73,7	53,5	64,3
<b>NWS</b>	91,0	98,1	99,7	99,4	97,2	114,1	98,5	84,7	64,5	75,3
<b>NPS 38 m</b>	48,4	55,5	57,1	56,8	54,6	58,5	55,9	42,1	21,9	32,7
<b>N</b>	0,12	0,25	0,49	0,99	1,97	3,94	7,88	15,76	31,53	63,06
<b>Atenuación por pared</b>	-7	-9	-11	-13	-16	-19	-23	-24	-24	-24



**Continuación Tabla N° 3.54.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora a 38 m de la turbina, con implementación de barrera rígida, cerramiento sector transformadores, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
<b>NPS después de la barrera</b>	41,4	46,5	46,1	43,8	38,6	39,5	32,9	18,1	-	-
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	-6,6
<b>NPS dB(A)</b>	-	20,3	30,0	35,2	35,4	39,5	34,1	19,1	-	-

$$Leq \text{ dB(A)} = 42,9$$

Se observa que la reducción obtenida corresponde a 18,0 dB(A) del valor original, y es considerablemente significativa.

Esta medida resulta ser la única factible de implementarse en esta zona, debido a las condiciones operacionales de la turbina.

La barrera rígida a implementarse deberá estar ubicada en el cerramiento frente a la fuente generadora, y sus dimensiones serán de 10 m de largo y 2 m de alto.

En el sector de la fachada lateral izquierda del recinto en donde se ubica la turbina, el nivel de presión sonora resulta ser más elevado debido a su cercanía a la fuente.

Con los datos obtenidos de la medición de ruido en la fuente, aplicando las ecuaciones [2.3] para encontrar la absorción acústica total A, [2.6] para el coeficiente de absorción medio  $\bar{\alpha}$ , [2.5] para la constante de cerramiento del local R, [2.4] para determinar el nivel de presión sonora producido por la

absorción del recinto, y los datos y figura del Anexo IV para determinar las pérdidas por transmisión de materiales compuestos TL1 y TL2, se obtiene la siguiente información:

**Tabla N° 3.55.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina, alojada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Central Hidroeléctrica El Carmen.

<b>Hz</b>	125	250	500	1000	2000	4000
<b>dB (C)</b>	88,7	88,4	86,2	90,1	87,5	73,7
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1
<b>Leq dB(A)</b>	72,6	79,8	83	90,1	88,7	74,7
<b>NWS</b>	96,69	96,39	94,19	98,09	95,49	81,69
$\alpha_{\text{ladrilloenlucido}}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
$\alpha_{\text{vidrio}}$	0,17	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02
$\alpha_{\text{suelosplásticos}}$	0,05	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
<b>A1</b>	6,87	13,75	13,75	13,75	6,87	6,87
<b>A2</b>	5,07	5,07	5,07	7,61	10,14	10,14
<b>A3</b>	10,62	4,37	2,50	1,87	1,87	1,25
$\sum A_i$	22,56	23,19	21,32	23,23	18,89	18,27
$\bar{\alpha}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
<b>R</b>	23,46	24,14	22,11	24,18	19,51	18,85
<b>NPS 4m</b>	89,3	88,8	87,0	90,5	88,8	75,2

**Continuación Tabla Nº 3.55.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina, alojada en un espacio cerrado, bajo las condiciones actuales, Central Hidroeléctrica El Carmen.

S2/S1 ¼

Hz	125	250	500	1k	2k	4k
TL1	31	30	29	30	39	44
TL2	11	24	28	32	28	35
TL1-TL2	20	6	1	-	11	9
Pérdida de aislamiento	13	2	0	0	7	4
Pérdida por transmisión	18	28	29	30	32	40

NPS(después de la pared)	71,3	60,8	58,0	60,5	56,8	35,2
Atenuación A	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1
NPS dB (A)	55,2	52,2	54,8	60,5	58,0	36,2

Leq dB(A) = 64,1

A 8 m de distancia de la fuente, en donde se realiza la medición del nivel de ruido ambiental, se obtendría el siguiente resultado:

NPS ( a 8 m)	53,2	42,7	39,9	42,4	38,7	17,1
Atenuación A	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1
dB (A)	37,1	34,1	36,7	42,4	39,9	18,1

Leq dB(A) = 46,0

Sin embargo existe una puerta en este sector, que por motivos de ventilación permanece abierta, permitiendo la propagación de las ondas en campo libre hacia el exterior, que con la influencia del ruido proveniente de la caída de agua se adiciona a los 64,1 dB(A) calculados anteriormente, reportándose el siguiente nivel de presión sonora en este sector:

**Tabla N° 3.56.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina en el sector de la puerta posterior, con influencia de la caída de agua, bajo las condiciones actuales, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	125	250	500	1k	2k	4k
<b>NPS medido en el exterior (puerta posterior) a 1 m</b>	91,7	80,4	75,2	76,1	74,5	52,7
<b>NPS a 8 m, calculados en campo libre</b>	73,6	62,3	57,1	58,0	56,4	34,6
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	57,5	53,7	53,9	58,0	57,6	35,6

$$Leq \text{ dB(A)} = 63,5$$

Para reducir el nivel de presión sonora en esta zona, se consideran algunas alternativas de adecuación del local, las mismas que se presentan a continuación:

a) Utilización de ventanas dobles en lugar de ventanas simples en todo el recinto ocupado por la turbina, a fin de reducir el nivel de presión sonora adicionado en el exterior:

Variando los coeficientes de absorción y transmisión de los nuevos materiales utilizados, y aplicando las mismas ecuaciones descritas anteriormente, se tiene lo siguiente:

**Tabla N° 3.57.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina, alojada en un espacio cerrado, reemplazando ventanas simples por ventanas dobles, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
<b>NPS dB (C)</b>	88,7	88,4	86,2	90,1	87,5	73,7
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>Leq dB(A)</b>	72,6	79,8	83,0	90,1	88,7	74,7
<b>NWS</b>	96,7	96,4	94,2	98,1	95,5	81,7
$\alpha_{\text{ladrilloenlucido}}$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
$\alpha_{\text{vidrio}}$	0,17	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02
$\alpha_{\text{suelosplásticos}}$	0,05	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
$\alpha_{\text{aire}}$	-	-	-	0,032	0,081	0,254
<b>A1</b>	6,87	13,75	13,75	13,75	6,87	6,87
<b>A2</b>	5,07	5,07	5,07	7,61	10,14	10,14
<b>A3</b>	10,62	4,37	2,50	1,87	1,87	1,25

**Continuación Tabla N° 3.57.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido al ambiente externo por la turbina, alojada en un espacio cerrado, reemplazando ventanas simples por ventanas dobles, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
A4	0	0	0	2	5,06	15,86
$\sum A_i$	22,56	23,19	21,32	25,23	23,95	34,13
$\bar{\alpha}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
R	23,46	24,14	22,11	26,35	24,96	36,22
NPS 4m	89,3	88,8	87,0	90,2	87,8	72,5

**S2/S1 ¼**

TL1	31	30	29	30	39	44
TL2	27	30	30	34	44	48
TL1-TL2	4	0	-	-	-	-
Pérdida de aislamiento	2	0	0	0	0	0
Pérdida por transmisión	29	30	29	30	39	44

NPS(después de la pared)	60,3	58,8	58,0	60,2	48,8	28,5
Atenuación A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
dB (A)	44,2	50,2	54,8	60,2	50,0	29,5

Leq dB(A) = 62,0

b) Implementación de una barrera rígida en el cerramiento

Con la información original del nivel de presión sonora en dB(C) que es transmitido por la turbina hacia el exterior del recinto en donde se encuentra alojada, se produce la propagación de las ondas sonoras en campo libre, resultando factible la implementación de una barrera entre la trayectoria de la onda y el sitio de medición a 3 m fuera del cerramiento de modo que se produzca el fenómeno de sombra acústica. Los resultados obtenidos son:

$$A = 5,39 \text{ m}$$

$$B = 3,61 \text{ m}$$

$$D = 8 \text{ m}$$

$$N = 2 * f / 340$$

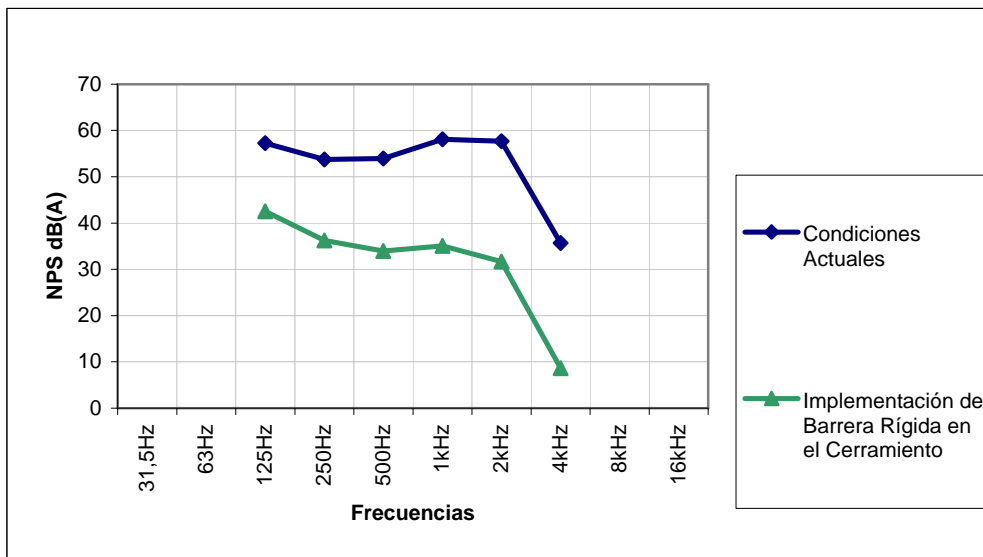
**Tabla Nº 3.58.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido por la turbina, al ambiente, si se implementa una barrera rígida en el camino de la transmisión, Central Hidroeléctrica El Carmen.

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
<b>NPS dB (C)</b>	91,7	80,4	75,2	76,1	74,5	52,7
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	72,6	79,8	83,0	90,1	88,7	74,7
<b>NWS</b>	99,7	88,4	83,2	84,1	82,5	60,7
<b>NPS (8m)</b>	70,7	59,4	54,2	55,1	53,5	31,7
<b>N</b>	0,74	1,47	2,94	5,88	11,76	23,53
<b>Atenuación por barrera</b>	12	14,5	17	20	23	24
<b>NPS después de la barrera</b>	58,7	44,9	37,2	35,1	30,5	7,7
<b>Atenuación A</b>	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	42,6	36,3	34,0	35,1	31,7	8,7

$Leq \text{ dB(A)} = 44,7$

Con los datos calculados se obtiene que la construcción de una barrera rígida de 10 m de largo y 2 m de alto, a una distancia de 5 m de la fuente (lugar en donde se encuentra ubicado el cerramiento), permite disminuir el nivel de ruido de 63,5 a 44,7 dB(A), si la medición ambiental fuera tomada a 3 m de distancia de dicha barrera, siempre y cuando no existan otros niveles sonoros externos que se adicionen a esta fuente.

Comparando la disminución del nivel de presión sonora de ambas medidas planteadas con las condiciones actuales de operación, se presenta la siguiente figura:



**Figura N° 3.15.** Comparación de la variación del nivel de presión sonora con la frecuencia, bajo condiciones actuales, e implementación de barrera rígida, sector turbina, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Ambas alternativas resultarían poco útiles si no se realizan correctivos en el nivel de ruido causado por la caída de agua de la turbina que genera un NPS eq de 89 dB(A) en la fuente.



### **Caída de agua:**

La caída de agua se encuentra ubicada junto a la turbina y es producida como parte del proceso normal de generación hidroeléctrica. La descarga de agua de la turbina se produce en canal abierto, ocasionando la propagación directa del ruido causado por la gran turbulencia originada por la fuerte caída de agua y la sección del canal.

Es posible conseguir algún tipo de reducción del nivel de ruido aplicando el principio de confinamiento de la fuente.

Si bien se requiere cubrir únicamente la parte superior y frontal (sin obstruir la salida del agua) con algún material que disminuya la transmisión de las ondas sonoras al exterior.

Por motivos de cálculo, se asumirá que el confinamiento se realiza por completo en toda la fuente. De esta manera se tiene la siguiente información:

**Tabla N° 3.59.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora a 15 m de distancia de la caída de agua, Central Hidroeléctrica El Carmen.

	<b>63Hz</b>	<b>125Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>
<b>NPS dB (C)</b>	78,7	78,3	83,0	86,2	86,7	80,1	63,7
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	52,5	62,2	74,4	83,0	86,7	81,3	64,7
<b>NWS</b>	89,7	89,3	94,0	97,2	97,7	91,1	74,7
<b>NPS 15m</b>	55,2	54,8	59,5	62,7	63,2	56,6	40,2
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS 15m dB(A)</b>	29,0	38,7	50,9	59,5	63,2	57,8	41,2

$$Leq \text{ dB(A)} = 65,7$$

Si se utiliza aglomerado de madera como material para cubrir la zona de descarga tanto horizontal como verticalmente, aplicando los coeficientes de pérdidas por transmisión del Anexo N° IV, se obtiene como resultado:

**Tabla N° 3.60.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido a 15 m de distancia de la caída de agua, utilizando aglomerado de madera como material de confinamiento, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k
<b>NPS dB (C)</b>	78,7	78,3	83,0	86,2	86,7	80,1	63,7
$\tau_{\text{aglomerado}}$	9	11	16	19	26	30	32
<b>NPS con confinamiento</b>	69,7	67,3	67,0	67,2	60,7	50,1	31,7
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	43,5	51,2	58,4	64,0	60,7	51,3	32,7
<b>NPS 15 m</b>	46,2	43,8	43,5	43,7	37,2	26,6	8,2
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>		27,7	34,9	40,5	37,2	27,8	9,2

$$Leq \text{ dB(A)} = 43,2$$

Sin embargo, este material no puede utilizarse a la intemperie ni expuesto al agua, debido a que se deterioraría y perdería sus propiedades.

En lugar de este material y con una mayor eficiencia se propone la utilización de planchas de hormigón, con el siguiente resultado:

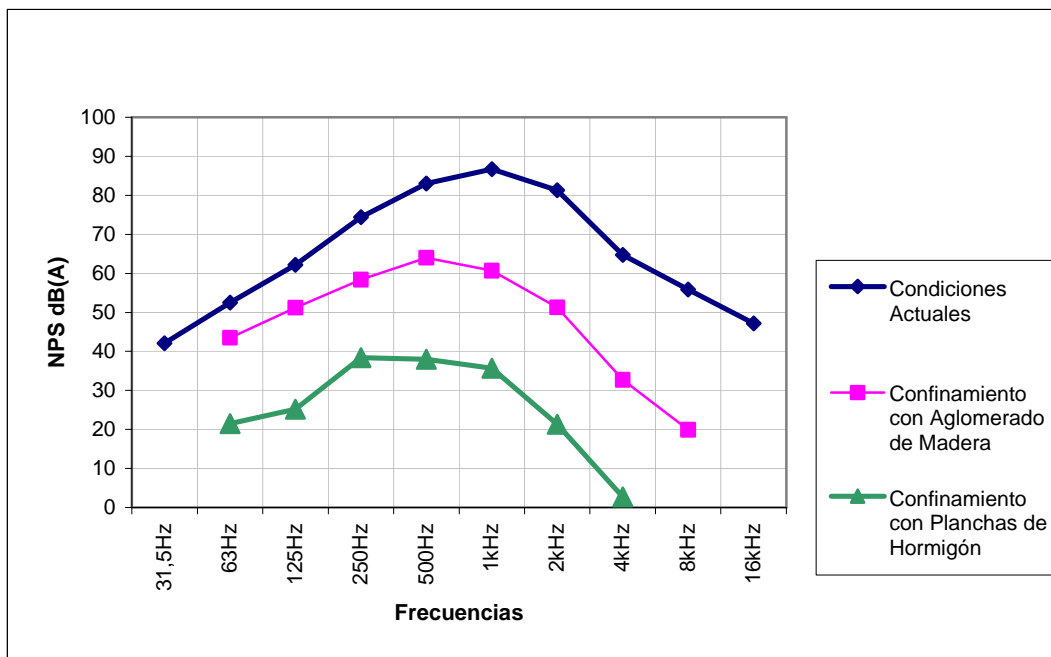
**Tabla N° 3.61.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido a 15 m de distancia de la caída de agua, utilizando planchas de hormigón como material de confinamiento, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k
<b>NPS dB (C)</b>	78,7	78,3	83,0	86,2	86,7	80,1	63,7
$\tau_{\text{planchasdehormigón}}$	31	37	36	45	51	60	62
<b>NPS</b>	47,7	41,3	47,0	41,2	35,7	20,1	1,7
<b>Atenuación A</b>	- 26,2	- 16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	21,5	25,2	38,4	38,0	35,7	21,3	2,7

$$Leq \text{ dB(A)} = 42,4$$

Este nivel de presión sonora corresponde al valor que se conseguiría al realizar la medición a un metro de distancia de la fuente. Dado que la medición de ruido ambiental se realiza a 15 m de distancia de la fuente emisora, la atenuación debida a la propagación sonora en campo abierto permitiría una reducción del nivel de ruido a valores por debajo de 45,0 dB(A).

Comparando la eficiencia de ambos materiales para confinamiento y por tanto reducción del nivel de presión sonora de la fuente, se presenta la siguiente figura:



**Figura N° 3.16.** Comparación entre la variación del nivel de presión sonora con la frecuencia, bajo condiciones actuales, y utilizando aglomerado de madera o planchas de hormigón como material de confinamiento, caída de agua, Central Hidroeléctrica El Carmen.

Es necesario considerar las condiciones bajo las cuales se efectuó este cálculo, es decir, el confinamiento total de la fuente, que en la práctica no se daría debido a la abertura que debe dejarse para la evacuación de la descarga, por lo que el nivel de presión sonora en este punto resultaría superior al calculado, pero reduciría considerablemente el valor reportado actualmente.

Cualquier tipo de abertura disminuye la efectividad de la reducción del ruido en forma muy notoria. En estos casos, el recubrimiento interior de las paredes con materiales absorbentes de sonido, pudiera contrarrestar en un cierto grado, el efecto adverso de las aberturas.

### 3.6.2.5. CENTRAL RECUPERADORA SISTEMA PAPALLACTA

Con los datos de la Tabla N° 3.25 se obtiene en nivel de potencia sonora. Esta información permite la determinación de las alternativas que se plantean a continuación:

**Tabla Nº 3.62.** Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias, por fuente generadora, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

Fuente	Nivel de potencia sonora a diferentes frecuencias									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Turbina	101,6	102,2	103,3	102,5	100,1	97,0	93,8	85,4	75,0	62,9
Válvula disipadora	87,8	91,0	94,9	94,3	92,3	89,5	87,7	83,9	66,3	52,3
Caída de agua	96,3	93,0	90,7	101,2	94,4	86,3	78,5	72,3	55,7	44,4

### ***Turbina***

El recinto en el que se encuentra ubicada la turbina permanece siempre con la puerta principal (10 m<sup>2</sup>), lateral norte y acceso a la válvula disipadora, completamente abiertas, a fin de permitir la circulación de aire hacia el interior, por lo que el nivel de ruido se propaga en campo directo hacia el exterior. Bajo esta consideración y a fin de evitar el incremento de la temperatura en el recinto, se determina que la mejor alternativa para reducir el nivel de ruido ambiental generado por la fuente en el sector de los transformadores eléctricos, consiste en la implementación de una barrera rígida, en el lindero de esta Central.

Bajo las condiciones actuales, se registran 58,6 dB(A) a 30 m de la fuente, si se implementa una barrera rígida de 7 m de largo y 2 m de alto, ubicada a 27 m de distancia de la fuente y se mide el nivel de presión sonora a 3 m de este nuevo lindero, se obtendrá el siguiente resultado:

$$A = 27,07$$

$$B = 3,61$$

$$d = 30$$

$$N = 1,36 f / 340$$

**Tabla N° 3.63.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora al implementar una barrera rígida en el cerramiento, turbina, sector transformadores, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

Hz	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>NPS dB (C)</b>	90,6	91,2	92,3	91,5	89,1	86,0	82,8	74,4	64,0
<b>NWS</b>	98,6	99,2	100,3	99,5	97,1	94,0	90,8	82,4	72,0
<b>NPS (30m)</b>	58,1	58,7	59,8	59,0	56,6	53,5	50,3	41,9	31,5
<b>N</b>	0,126	0,252	0,5	1	2	4	8	16	32
<b>Atenuación por barrera</b>	-7	-10	-11	-13	-16	-19	-22	-24	-24
<b>NPS</b>	51,1	48,7	48,8	46,0	40,6	34,5	28,3	17,9	7,5
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
<b>NPS dB(A)</b>	11,7	22,5	32,7	37,4	37,4	34,5	29,5	18,9	6,4

Leq dB(A) = 42,2

### **Caída de agua**

El proceso de generación hidroeléctrica provoca luego de la turbina, la caída de agua hacia la pileta de compensación, generando 84,7 dB(A) a 1 m de distancia, y 61,2 dB(A) a la distancia de 15 m en donde se realiza la medición del nivel de ruido ambiental. Esta información se detalla en el siguiente cuadro:

**Tabla N° 3.64.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora a 15 m de distancia de la caída de agua, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k
<b>NPS dB (C)</b>	82,0	79,7	90,2	83,4	75,3	67,5	61,3
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	55,8	63,6	81,6	80,2	75,3	68,7	62,3
<b>NWS</b>	93,0	90,7	101,2	94,4	86,3	78,5	72,3
<b>NPS 15m</b>	58,5	56,2	66,7	59,9	51,8	44,0	37,8
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	32,3	40,1	58,1	56,7	51,8	45,2	38,8

$$Leq \text{ dB(A)} = 61,2$$

Si se implementa un recubrimiento de hormigón en esta salida de agua, dejando la abertura suficiente para permitir el flujo de agua hacia la pileta de compensación, aplicando los coeficientes de pérdidas por transmisión, tabulados en el Anexo IV, se obtiene el siguiente resultado:

**Tabla N° 3.65.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora transmitido por la caída de agua, si utiliza planchas de hormigón como material de confinamiento, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k
<b>NPS dB (C)</b>	82,0	79,7	90,2	83,4	75,3	67,5	61,3
<b>NWS</b>	93,0	90,7	101,2	94,4	86,3	78,5	72,3
$\tau_{\text{planchasdehormigón}}$	31	37	36	45	51	60	62
<b>NPS dB (C) con confinamiento</b>	51,0	42,7	54,2	38,4	24,3	7,5	-
<b>Atenuación A</b>	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	24,8	26,6	45,6	35,2	24,3	8,7	-

$$Leq \text{ dB(A)} = 46,1$$

Este valor corresponde al dato que registraría el sonómetro si la medición fuera tomada a 1 m de distancia de la fuente, considerando su confinamiento total, sin embargo, debido a que las condiciones de operación requieren de una abertura para el flujo del agua, el nivel de presión sonora resultaría superior al determinado mediante este cálculo, pero su reducción resulta ser considerable.

Si en lugar de realizar el confinamiento parcial de la fuente, se implementa una barrera rígida en el cerramiento de 6 m de largo y 2 m de alto, se obtendrían los siguientes resultados:

$$A = 12,17$$

$$B = 3,61$$

$$d = 15$$

$$N = 1,56 f / 340$$

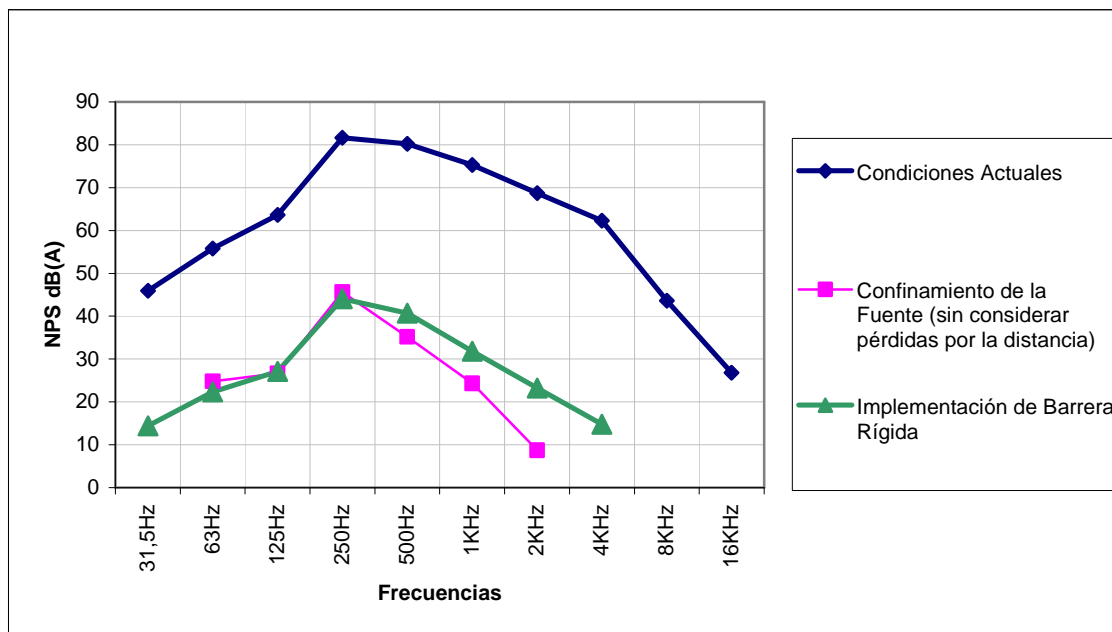


**Tabla N° 3.66.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias, para la determinación del nivel de presión sonora, si se implementa una barrera rígida en el camino de la transmisión, caída de agua, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

	<b>31,5Hz</b>	<b>63Hz</b>	<b>125Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>
<b>NPS dB (C)</b>	85,3	82,0	79,7	90,2	83,4	75,3	67,5	61,3
<b>NWS</b>	96,3	93,0	90,7	101,0	94,4	86,3	78,5	72,3
<b>NPS 15m</b>	61,8	58,5	56,2	66,7	59,9	51,8	44,0	37,8
<b>N</b>	0,145	0,289	0,574	1,15	2,29	4,59	9,18	18,35
<b>Atenuación Barrera</b>	-8	-10	-13	-14	-16	-20	-22	-24
<b>NPS</b>	53,8	48,5	43,2	52,7	43,9	31,8	22,0	13,8
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
<b>NPS dB(A)</b>	14,4	22,3	27,1	44,1	40,7	31,8	23,2	14,8

Leq dB(A) = 46,0

Comparando los niveles de presión sonora que se obtendrían con la implementación de las alternativas de control de ruido planteadas anteriormente, y el que registra la fuente bajo las condiciones actuales de operación, se obtiene la siguiente figura:



**Figura N° 3.17.** Comparación entre la variación del nivel de presión sonora con la frecuencia bajo condiciones normales y utilizando confinamiento de la fuente o implementación de barrera rígida, sector caída de agua, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

### ***Válvula disipadora***

La zona en donde se encuentra ubicada la válvula disipadora de energía, recibe la influencia de las ondas sonoras provenientes de la turbina y de la caída de agua.

Debido a que la puerta en este sitio siempre permanece abierta para permitir el flujo de aire y evitar el incremento de temperatura en el interior, para los cálculos consiguientes, se considera a esta fuente como si se encontrara ubicada en un espacio libre, es decir que la propagación del ruido se produce en campo abierto, y la única alternativa factible de implementarse en este caso resulta ser la construcción de una barrera rígida en el cerramiento más próximo a la fuente.



**Fotografía N° 3.4.** Válvula disipadora de energía, Central Reguladora Sistema Papallacta.

Originalmente, bajo las condiciones actuales, se calculan 57,6 dB(A) fuera del lindero de esta Central, con la implementación de una barrera rígida de 14 m de largo y 2 m de alto, se obtiene el siguiente resultado:

$$A = 12,17$$

$$B = 3,61$$

$$D = 15$$

$$N = 1,56 \text{ f / } 340$$

**Tabla N° 3.67.** Resultados obtenidos a diferentes frecuencias para la determinación del nivel de presión sonora si se implementa una barrera rígida en el camino de la transmisión, sector válvula disipadora, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
<b>NPS dB (C)</b>	76,8	80,0	83,9	83,3	81,3	78,5	76,7	72,9	55,3
<b>NWS</b>	84,8	88,0	91,9	91,3	89,3	86,5	84,7	80,9	63,3
<b>NPS (15m)</b>	50,3	53,5	57,4	56,8	54,8	52,0	50,2	46,4	28,8
<b>N</b>	0,145	0,289	0,574	1,147	2,294	4,588	9,176	18,353	36,706
<b>Atenuación Barrera</b>	-8	-10	-13	-14	-16	-20	-22	-24	-24
<b>NPS</b>	42,3	43,5	44,4	42,8	38,8	32,0	28,2	22,4	-
<b>Atenuación A</b>	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	-
<b>NPS dB(A)</b>	2,9	17,3	28,3	34,2	35,6	32,0	29,4	23,4	-

Leq dB(A) = 39,8

### 3.6.3. RESUMEN DE PROPUESTAS DE CONTROL DE RUIDO AMBIENTAL

#### PLANTA DE BELLAVISTA

**Tabla N° 3.68.** Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Planta de Bellavista

FUENTE	Leq dB(A)	Leq dB(A) CON MEDIDA DE CONTROL PLANTEADA	
		Confinamiento	Barrera Rígida
Soplantes Dispersores y área de cloro	59,1	N.A.	37,3
Generador	90,3	74,2	N.A.

(N.A. no aplica)

El límite máximo permisible a nivel ambiental en esta Planta de Potabilización es de 45 dB(A). Para el área de Soplantes y Dispensores el uso de una barrera rígida en el cerramiento permite disminuir el nivel de ruido de 59,1 dB(A) a 37,3 dB(A), mientras que para el generador eléctrico la mejor alternativa resulta ser el confinamiento con lo cual se reduce de 90,3 dB(A) a 74,2 dB(A) en la fuente, lo que a nivel ambiental permite una atenuación del ruido con la distancia a 50,7 dB(A), y en consecuencia en el sitio de medición a 3 m fuera del cerramiento se registraría un valor inferior a 45 dB(A).

## PLANTA DE NOROCCIDENTE

**Tabla N° 3.69.** Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Planta de Noroccidente.

FUENTE	Leq dB(A) BAJO CONDICIONES ACTUALES	Leq dB(A) CON MEDIDA DE CONTROL PLANTEADA		
		Techo de hormigón	Techo de Celotex	Barrera Rígida
Turbina	58,4	57,8	52,6	41,0
Sala de Cloro	40,0	N.A.	N.A.	N.A.
Bombas del Sistema Cochapamba-Atucucho	51,6	N.A.	N.A.	38,4

(N.A. no aplica)

En la Planta de Noroccidente el límite máximo permisible establecido a nivel ambiental es de 45 dB(A). La Turbina genera 84,8 dB(A) en la fuente, y transmite hacia el ambiente externo 58,4 dB(A). Si se realiza la adecuación del local de modo que el nivel de ruido transmitido sea inferior al existente, se obtiene como resultado que sustituyendo el techo de zinc actual por losa de hormigón el nivel de ruido transmitido será de 57,8 dB(A), mientras que si se lo sustituye por celotex el nivel de ruido será de 52,6 dB(A). Sin embargo, la construcción de una barrera rígida en el cerramiento de la Planta permite reducir el nivel de ruido a 41,0 dB(A).

## PLANTA DE CHECA

**Tabla N°3.70.** Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Planta de Checa.

FUENTE	Leq dB(A)	Leq dB(A) CON BARRERA RÍGIDA
Bombas de Filtros	75,7	42,6
Adición de Sulfato de Aluminio	67,9	38,6
Dosificación de Cloro	61,2	N.A.

(N.A. no aplica)

Todas las fuentes de ruido estudiadas se encuentran en espacios abiertos y su confinamiento resulta poco factible debido a que los equipos requieren manipulación constante, así como de ventilación. La alternativa más viable para implementarse es la construcción de barreras rígidas en el cerramiento frontal cercano a cada fuente, excepto para el caso de la dosificación de cloro en donde la propagación del ruido con la distancia permite reducir de 61,2 dB(A) a 43,1 dB(A) siendo innecesaria la construcción de una barrera.

## CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL CARMEN

**Tabla N°3.71.** Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Central Hidroeléctrica El Carmen.

FUENTE	Leq dB(A) a 1 m de la fuente	Leq dB(A) bajo condición actual	Leq dB(A) CON MEDIDA DE CONTROL PLANTEADA			
			Barrera rígida	Ventana doble	Confinamiento con aglomerado de madera	Confinamiento con planchas de hormigón
Turbina	93,2	63,5	44,7	62,0	N.A.	N.A.
Área de Transformador	-	61,3	42,9	N.A.	N.A.	N.A.
Caída de Agua	89,2	65,7	N.A.	N.A.	43,2	42,4

La turbina genera 93,2 dB(A) en la fuente, en la zona posterior a la misma se calculan 63,5 dB(A), con la implementación de una barrera rígida en el cerramiento se obtendría una reducción a 44,7 dB(A). La sustitución de ventanas simples por ventanas dobles reduce la transmisión del nivel de ruido en 1,5 dB(A).

La turbina es la principal fuente de ruido en el área de los transformadores en donde se reportan niveles de ruido ambiental de 61,3 dB(A), y con la implementación de una barrera rígida se consigue reducirlo a 42,9 dB(A).

La caída de agua de la turbina genera 89,2 dB(A) en la fuente, y a 15 m de distancia, en donde se toma la medición de ruido ambiental (3 m fuera del cerramiento), el valor calculado es de 65,7 dB(A), por lo que se plantea el confinamiento parcial de la fuente con una plancha de hormigón, con lo que se obtendrían 42,4 dB(A) a la misma distancia de 15 m.

## CENTRAL RECUPERADORA SISTEMA PAPALLACTA

**Tabla N° 3.72.** Comparación entre el nivel de presión sonora equivalente de las fuentes emisoras bajo condiciones actuales y con la implementación de medidas de control, Central Recuperadora Sistema Papallacta.

FUENTE	Leq dB(A) a 1 m de la fuente	Leq dB(A) bajo condiciones actuales	Leq dB(A) CON MEDIDA DE CONTROL PLANTEADA	
			Barrera Rígida	Confinamiento con planchas de hormigón
Turbina	91,2	61,1	42,2	N.A.
Válvula disipadora	84,1	65,3	39,8	N.A.
Caída de Agua	84,7	60,6	46,0	46,1

(N.A. no aplica)

En el sector del cerramiento frontal a la turbina se calculan 61,6 dB(A) a partir del nivel de ruido de la fuente, si se construye una barrera rígida en el mismo, se obtendría como resultado 42,2 dB(A).

En el sector de la válvula disipadora al igual que en la turbina, la construcción de una barrera reduce el nivel de ruido de 65,3 dB(A) a 39,8 dB(A).

En la caída de agua de la turbina se plantea adicionalmente el confinamiento parcial con planchas de hormigón, con lo que se obtiene la reducción del nivel de ruido de 60,6 dB(A) a 46,1 dB(A).



#### 4. CONCLUSIONES

- En las Plantas de Tratamiento de El Placer y Puengasí, se verifica que el valor establecido como límite máximo permisible a nivel ambiental, de 45,0 dB(A), se encuentra muy por debajo del valor ambiental registrado en estas zonas, por lo que cualquier medida a implementarse dentro de estas plantas de potabilización resulta inaplicable.
- De las cinco instalaciones analizadas, únicamente en la Planta de Tratamiento de Bellavista existe sobre exposición a ruido en el área de soplantes con 95,4 dB(A), permaneciendo los trabajadores expuestos durante 2 horas de su jornada laboral, cuando el tiempo de exposición máximo corresponde a 1,9 horas. Dadas las condiciones de operación y localización de los soplantes, resulta inaplicable proponer medidas de control en la fuente y en la transmisión, únicamente procede dotar de equipo de protección auditiva al personal expuesto, y en lo posible reubicar el taller mecánico ubicado junto al área de soplantes, a fin de evitar el incremento de la dosificación de ruido en esta zona.
- En ninguno de los casos analizados, el nivel de ruido diario equivalente sobrepasa el límite máximo permisible de 90,0 dB(A); resulta muy cercano el nivel de ruido al que se encuentran expuestos los operadores en la Planta de Bellavista que corresponde a 87,9 dB(A), por lo que, como se mencionó anteriormente es necesario dotar de protección auditiva al personal expuesto.
- Para los operadores en el área de soplantes en la Planta de Bellavista, y en el área de la turbina en la Central Hidroeléctrica El Carmen y Central Recuperadora del Sistema Papallacta, se recomienda el uso de protectores auditivos tipo orejera 1427, arriba de la cabeza, con los que se consigue reducir el nivel de exposición entre 22 y 27 dB(A).

- En la Planta de Tratamiento de Noroccidente, específicamente en la Sala de Cloro, el nivel de presión sonora equivalente en el exterior del recinto es de 40,0 dB(A) (si no existieran otras fuentes sonoras en los alrededores). Considerando las pérdidas por la propagación del sonido con la distancia, en el cerramiento de la Planta, el nivel de presión sonora sería inferior a 45,0 dB(A), sin embargo, debido a que el cuarto de cloro se encuentra influenciado por niveles de ruido provenientes del área de filtros, de las Bombas del Sistema Cochapamba – Atucucho, e incluso del ambiente externo a la Planta, se registran valores de ruido ambiental superiores a 50,0 dB(A). Se verifica por lo tanto que la dosificación de cloro no genera un nivel de ruido significativo, por lo que no deben implementarse medidas de control.
  
- Debido a la ubicación del generador eléctrico perteneciente a la Planta de Tratamiento de Bellavista, el confinamiento mediante el uso de cabinas de isonorización, compuestas de material aislante del sonido, resulta ser la medida de control más adecuada a fin de reducir el nivel de presión sonora actual, con lo cual el nivel de ruido se reduce de 90,3 dB(A) a 74,2 dB(A). La adecuación del recinto es otra alternativa, sin embargo, mientras el encerramiento sea más pequeño, resultará menos costoso y será más sencilla su aplicación.
  
- Con la implementación de barreras rígidas entre la fuente y el receptor, cuando la ubicación de la fuente permite la propagación de las ondas sonoras en campo directo, se obtiene una reducción considerable del nivel de presión sonora equivalente, de alrededor de 20,0 dB(A). Es importante considerar además que ésta barrera no sustituye a todo el cerramiento de malla, sino únicamente a la zona de propagación de las ondas frente a la fuente, de modo que ésta quede equidistante a cada lado de la pared, reduciendo por tanto los costos de construcción.
  
- La implementación de barreras rígidas resulta la única opción aplicable en la Planta de Bellavista en el área de Soplantes y Dispersores; en la Planta de Noroccidente en el área de Adición de Sulfato de Aluminio; en

la Central Hidroeléctrica El Carmen en la Turbina en el área del Transformador; y en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta en el área de la Turbina, y de la Válvula Disipadora.

- La implementación de barreras rígidas, resulta ser la mejor opción aplicable en la Planta de Noroccidente en área de la Turbina; y en la Central Recuperadora del Sistema Papallacta, en el área de la Caída de Agua, en donde el confinamiento con planchas de hormigón resulta igualmente eficiente.
- El mejoramiento de la absorción del local, modificando sus materiales de construcción resulta más eficiente y menos costoso en el caso de la Central Hidroeléctrica del Carmen, en donde la implementación de ventanas dobles en todo el recinto de alojamiento de la turbina, y la colocación de una plancha de hormigón en la caída de agua, permite reducir el nivel de presión sonora equivalente de 63,5 dB(A) a 38,3 dB(A), calculados a 3 m del cerramiento.
- La construcción de una barrera rígida en esta zona reduce el nivel de presión sonora equivalente de 63,5 dB(A) a 41,0 dB(A), siendo igualmente eficiente como en el caso anterior, pero a un mayor costo, debido a que la pared debería cubrir casi todo el cerramiento lateral detrás de la turbina, incluyendo la zona de descarga del agua hacia la pileta de compensación.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Brüel P., Kjærl V., 2 000, "Ruido Ambiental", Sound & Vibration Measurement A/S, Distribuidor Líder Mundial en Micrófonos, Acelerómetros, Analizadores, Sonómetros y Sistemas de Calibración.

Barbero A., Curso 2004/2005, "El Sonido", Departamento de Física Aplicada, <http://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Teoria/57>, (Junio 2009).

Jaureguiberry M., 2009, Departamento de Ingeniería Industrial, Seguridad e Higiene en el Trabajo, <http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/Laura/material/Ruido%202.pdf>, (Agosto 2009).

Dirección Metropolitana Ambiental Resolución N° 0002-DMA-2008, 2008, "Norma Técnica para el Control de Ruido Causado por Fuentes Fijas y Móviles", pp. 12-17.

eoi online, "Fundamentos del Ruido", 2 009

Febres-Cordero L., Código del Trabajo Decreto Ejecutivo 2393, 1986, "Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo", pp. 24-25.

Falagán R., Manuel J., 2000, "Higiene Industrial Aplicada", Valladolid, España, pp. 20-35.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT, Ministerio de Trabajo, 2 005, "Higiene Industrial", Torrelaguna 73-28027 Madrid, pp. 223-274.

Ochoa J., Bolaños F., 1990, "Medida y Control del Ruido", Barcelona, España, p. 48.

Plog B., Niland J. y Quinlan P., 1998, "Fundamentals of Industrial Hygiene", Itasca, Illinois, pp. 215, 216.

“Preguntas Frecuentes Sobre Control de Ruido”, <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/acustica/faquesp.htm>, (Junio 2 009)

Parma Leonardo, 2009, “Manual práctico de control de ruido”, Sistemas Acústicos Modulares Ltda., Santiago – Chile, <http://www.ingenieroambiental.com/4002/Manual%20Practico%20del%20Control%20de%20Ruido.pdf>, (enero 2010).

Robledo F., 2007, “Ruido, Vibraciones y Presiones Anormales”, Bogotá, Colombia, pp.13, 34.

Torrá R., 2009, “Formación de Seguridad Laboral”, <http://www.borrmart.es/laboral.php>, (noviembre 2009).

Wikipedia, Enciclopedia virtual, “[http://es.wikipedia.org/wiki/Ruido\\_ac%C3%B3stico](http://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_ac%C3%B3stico) Básico”, diciembre 2009.

**Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**

SISTEMA	PUNTO DE MUESTREO	CARACTERIZACIONES PERIODO 2007				
		VALOR FEBRERO	VALOR JUNIO	VALOR AGOSTO	VALOR OCTUBRE	VALOR NORMA
Sistema El Placer / Planta El Placer	Tanque El Placer Medio	63,3	50,4	46,6	49,2	45
	Dosificación de Cloro	56,2	47,6	48,3	47,6	45
	Bombas	67	44,8	44,4	48	45
	Caida de Agua Norte	59,5	49,2	48,5	49,5	45
	Caida de Agua Sur	59,4	49,2	47,4	45,6	45
	Tanque de Floculación	71,1	49,2	56,8	48,2	45
	Bombas y Compresores Oeste	53,6	48,5	46,3	50,7	45
Sistema El Placer / Planta Toctiuco	Ingreso Agua Cruda	65,14	49,4	43,1	50,4	45
	Bombas de Sulfato de Aluminio	59,42	45,4	45,7	48,2	45
	Dosificación de Sulfato de Aluminio	74,8	44	43,7	42,3	45
	Filtros Lentos	63,92	40,3	42,6	45,4	45
	Válvulas y Bombas de distribución	64,86	45,3	38,4	46,7	45
Sistema El Placer / Planta Rumipamba	Ingreso Agua Cruda	62,7	46,1	48,4	47,8	50
	Tanque de Reserva	51,6	44,2	42	45,2	50
	Floculadores	57,9	42,6	44,5	45,6	50
	Area de sedimentación	51,3	44,3	44,5	49,5	50
	Area de filtros	56,2	41,9	43,5	45,4	50
	Carga y Descarga de Cloro	61,9	49	48	44,6	50
Sistemas Menores/ Planta Tumbaco	Area de Carga y Descarga de Cloro	53,39	48,7	44,9	51,9	50
	Area de Sedimentación	66,46	43,6	39,3	49,9	50
	Area de Filtros	54,96	43,7	47	41	50
	Ingreso Agua Cruda	72,76	51,1	63,2	69,3	50
Sistemas Menores/ Planta Calluma	Area entre Clorinador y Filtro	71,88	66,6	55,2	58,1	65
	Esquina de area de Clorinación	71,24	65,1	52,1	51,2	65
	Area de Clorinación	59,74	55,2	49,2	48,44	65
	Area de filtros lentos	64,48	52,7	48,3	49,4	65
Sistemas Menores/ Planta Tababela	Area de Carga y Descarga de Cloro	67,74	55,4	48,9	47,9	65
	Area de sedimentación y filtros	73,66	57,9	45,2	46,4	65
	Area de filtros	80,27	64,1	56,4	58,8	65
	Ingreso de Agua Cruda	61,9	50,8	44,2	45	65
Sistemas Menores/ Planta Yaruquí	Area de Bombas de Retrolavado	73,48	46,8	46,7	43,9	50
	Area de Clorinación	70,93	45,9	46,7	42,2	50
	Area entre Floculación y Sedimentación	62,23	48,7	47	44,9	50
	Ingreso de Agua Cruda	75,84	48,1	46,5	46,4	50
Sistemas Menores / Planta Checa	Ingreso de agua cruda	57,6	61,8	60,6	56,1	50
	Area de sedimentación y filtros	72,44	55,1	49,9	48,8	50
	Filtros hidráulicos	65,47	54,5	48,5	53,2	50
	Area de Clorinación	67,95	49,5	44,7	48,6	50
Sistemas Menores/ Planta El Quinche	Ingreso de Agua Cruda	75,72	48,5	54,8	51,6	55
	Area entre Sedimentadores y Filtros	67	55,8	49	56,6	55
	Area de Clorinación	78,02	49,3	47	46	55
	Area de Bombas de Retorno	70,81	55,1	54,1	52,3	55

**Continuación Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**

SISTEMA	PUNTO DE MUESTREO	CARACTERIZACIONES PERIODO 2007				
		VALOR FEBRERO	VALOR JUNIO	VALOR AGOSTO	VALOR OCTUBRE	VALOR NORMA
Sistemas Menores/ Planta Guayllabamba	Ingreso Agua Cruda	67,49	47,5	44,9	45,2	45
	Area de Sedimentación y Filtros	71,57	40,1	43,2	41,5	45
	Clarificador	55,41	51,8	51,2	56,9	45
	Bombas	73,03	46,1	48	55,7	45
Sistema Noroccidente / Planta Noroccidente	Area Generador Hidroeléctrico	65,4	52,5	56,1	46,3	50
	Cámara de descarga turbina	67,3	64,9	67,1	57,9	50
	Ingreso de Agua Cruda	65,5	62,9	63	52,5	50
	Area de dosificación de polímero	59,8	49,2	47,6	50,9	50
	Area de retrolavado de filtros	68,1	48,8	48	50,6	50
	Area de clorinación	58,8	55,5	48,1	52,3	50
	Cámara de válvulas	67,2	57,1	55,3	53,5	50
	Bomba Sistema Cochapamba-Atucucho	58,6	57,5	48,2	46,5	50
Sistema Papallacta / Planta Bellavista	Area de Soplantes	88,4	68,1	68,9	65,9	45
	Area Cercana al Generador	76,2	71,1	63,1	59,7	45
	Area de Clorinación	58,2	51,6	53,6	54	45
	Area de Válvulas	64,4	43	43,3	43,8	45
	Area de dispersores	78,4	59,5	51,6	48,7	45
	Area de compuertas de acueducto	67,2	47,1	56,5	44,6	45
	Area de Compuertas de ingreso Planta	56,3	42,5	42	52,5	45
	Taller	61,8	51,6	51,6	50,1	45
Sistema La Mica / Planta El Troje	Generador	81,1	74,4	74	70,5	45
	Area de cloro (puente grua)	71,2	39,1	47,4	47,7	45
	Area de filtros	77,2	49,6	49,8	47,1	45
	Cámara de bombeo	65,9	37,5	37,9	39,5	45
	Galería de válvulas	64,3	38,3	42	41,7	45
	Ingreso de agua cruda a floculadores	71	38,6	44,3	46,4	45
	Ingreso de agua cruda a la planta	82	39,1	44,5	44,9	45
	Ingreso de agua cruda a la pileta	74,2	35,3	36	38,9	45
	Salida de agua pileta	69,1	48,8	53,5	47	45
	Desborde al canal del Pita	67,6	43,3	42,5	40,1	45
Sistema La Mica / Planta Chilibulo	Area de sulfato	63	59,4	43,7	47,7	45
	Laboratorio	71,1	44,4	43,2	45,1	45
	Carga y Descarga de Cloro	77,7	52,7	49,3	50,5	45
	Area de Sedimentación y Filtros	67,7	54,7	52,6	51,4	45
	Tanque de distribución	61,3	43,4	44,1	48,1	45
	Bombas de retrolavado			49,1	46,9	45
	Generador de emergencia			70,9	69,7	45
Sistema La Mica / Planta Chilibulo Alto	Area de Sedimentación y Filtros	62,31	53,9	50,9	50,5	45
	Area de Bomba	72,62	59,8	51,1	51,9	45
	Area de Carga y Descarga de Cloro	68,16	45,7	50,9	50,2	45
	Laboratorio	56,81	41,8	39,8	41,4	45

**Continuación Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**

SISTEMA	PUNTO DE MUESTREO	CARACTERIZACIONES PERIODO 2007				
		VALOR FEBRERO	VALOR JUNIO	VALOR AGOSTO	VALOR OCTUBRE	VALOR NORMA
Sistema Puengasí / Planta Puengasí	Mezclador rápido clarificador 5-8	75,2	49,5	39,9	43,3	45
	Mezclador rápido clarificador 1-4	76,1	51,6	42,1	44,6	45
	Taller mecánico	70,1	52,1	49,7	50,2	45
	Generador eléctrico	82,7	57,5	58,2	63,3	45
	Retrolavado de filtros	76	50,8	43,1	53,2	45
	Clarificador 1-4	59,1	52,4	46,8	53	45
	Clarificador 5-8	85,8	46,3	44,6	46,7	45
	Válvulas de salida	59,3	45,5	53,8	46,7	45
Sistema Puengasí / Planta Conocoto	Area de Bombas de Retrolavado	60,4	46,8	45,7	44,9	45
	Dosificación de Sulfato de Aluminio	74,2	50,8	43,8	44,4	45
	Area de descarga de floculadores	68,7	53,1	48,7	47,3	45
	Area entre Floculación y Sedimentación	74,5	50,2	47,5	49,9	45
	Area entre Sedimentación y filtros lentos	77,4	49,8	46,7	45,9	45
	Area de Clorinación	70,5	44,6	42,6	42,1	45
	Area de Bombas de distribución	67,5	46,6	48,7	49,5	45



**Continuación Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**  
**CARACTERIZACIONES DE RUIDO PERIODO 2008**

Planta de Tratamiento de Agua	Puntos de muestreo	febrero NPS eq dB(A)	abril- mayo NPS eq dB(A)	julio-ago NPS eq dB(A)	octubre NPS eq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Bellavista	Area de soplantes	63,7	63,8	64,4	62,3	45
	Generador	58,4	57,6	61,7	62	45
	Dispersores	49,2	54,3	56,1	49,9	45
	Area de dispersores y adición de cloro	55,8	49,9	61	52,6	45
	Taller	49,2	48,9	50,5	48,9	45
	Sala de Válvulas	40	40,7	41,2	35,6	45
Noroccidente	Generador Hidroeléctrico	53,5	53,1	55	55,1	50
	Cámara de descarga Turbina	56,3	57	53,8	58,4	50
	Cuarto de Cloro	56,1	55,2	54,2	56,3	50
	Bombas de Sistema Cohapamba-Atucucho	50,5	48,5	52,4	43,5	50
Puengasí	Mezclado rápido clarificador	41,8	41,3	49,3	38,9	45
	Válvulas de salida	38,4	39,7	47,6	38,8	45
	Clarificador	42,9	43,1	53,2	47,1	45
	Generador	40,4	62,6	53,5	46,7	45
Conocoto	Bombas de retrolavado	42,9	44,1	43,8	45,9	45
	Area de dosificación de sulfato	44,3	46,2	51	48	45
	Area de adición de cloro	45,6	46,4	45,9	44,6	45
	Bombas de distribución	43,2	45	50,9	42,1	45
El Placer	Dosificación de Cloro	50,8	49,6	48,1	45,2	45
	Area de bombas	48,4	51,9	52,7	47,1	45
	Area de Sedimentación y filtración	43,7	44	47,5	47,7	45
	Bombas y Compresores Este	45,3	45,8	48,4	48,2	45
Toctiuco	Dosificación de Sulfato de Aluminio	44,3	43,9	44,7	46,2	45
	Retrolavado de filtros	42,9	47,9	45,6	43,4	45
	Válvulas y Bombas de distribución	45,4	45,2	43,9	36,8	45
Rumipamba	Bomba de Ingreso de agua cruda	45,5	49,3	46,8	41,2	45
	Carga y descarga de cloro	47	44,9	46,8	46,9	45
El Troje	Generador	60,7	67,7	60,2	39,5	45
	Area de clorinación	43,2	43,2	42,1	44,5	45
	Area de filtros y válvulas	38,5	40,1	44,6	33,8	45
	Ingreso de agua cruda	43,7	43,8	45	42,1	45
Chilibulo	Adición de sulfato	43,8	44,1	43,9	43,1	45
	Adición de cloro	48,5	50,4	47,1	47,9	45
	Bomba barrio alto	43	43,9	44,6	43,5	45
Chilibulo Alto	Retrolavado de filtros	44,1	42,5	43,4	37,6	45
	Bomba	54,9	55	48,8	48,4	45
	Carga y descarga de cloro	46	44,8	44,3	44,9	45
	Valvulas de distribución	47,5	48,1	44,1	44,5	50
Calluma	Area de clorinación	62,6	53,3	50,2	53,2	65
	Area de filtros lentos	61,5	56	60,3	49,2	65
Tababela	Area de carga y descarga de cloro	53,7	57	53,5	53,1	65
	Area de filtros	63,5	59,8	65,2	60,5	65

**Continuación Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**

**CARACTERIZACIONES DE RUIDO PERIODO 2008**

Planta de Tratamiento de Agua	Puntos de muestreo	febrero NPS eq dB(A)	abril- mayo NPS eq dB(A)	julio-ago NPS eq dB(A)	octubre NPS eq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Yaruquí	Area de clorinación	57,3	52,6	56,9	44,3	45
	Area de retrolavado	58,6	55,1	57	41,7	45
Checa	Area de adición de sulfato	50,8	44,1	49,9	51,2	50
	Filtros hidráulicos	68	43,9	68,5	59,6	50
	Area de clorinación	49,8	50,4	48,2	48,3	50
El Quinche	Dosificación de Sulfato de Aluminio	46,2	47,9	46,5	50,8	55
	Area de clorinación	47,9	45,8	49	45,8	55
	Retrolavado de filtros	51,8	56,8	50,3	51,4	55
Guayllabamba	Camara de Válvulas	53,5	52,2	54,3	54,2	45
	Dosificación de Cloro	41,8	41,9	40,5	42,8	45
Ocaña	Area de ingreso de agua	46,9	63,4	48,3	49,6	50
	Bombas de filtros	63,1	63,9	61,5	60,8	50
	Area de adición de cloro	41,8	46,1	47,6	49,4	50
	Area de adición de sulfato	41,9	54,2	61,6	52,7	50
Iguíñaro	Cámara de válvulas	60,4	54,8	60,1	60,2	45
	Retrolavado de filtros	59,3	54,8	59,9	54,6	45
	Adición de Cloro	46,6	47,2	42,7	45,8	45

**Continuación Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**  
**CARACTERIZACIONES DE RUIDO PERIODO 2009**

Planta de Tratamiento de Agua	Puntos de muestreo	febrero NPS eq dB(A)	abril-mayo NPS eq dB(A)	julio-ago NPS eq dB(A)	Septiembre NPS eq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Bellavista	Area de soplantes, dispersores y taller	61,2	50,4	49	53,2	45
	Generador	53,7	51,2	51,9	52	45
	Area de dispersores y adición de cloro	55,2	51,7	51,9	48,2	45
	Sala de Válvulas	45	43,5	42,7	43,4	45
Noroccidente	Generador Hidroeléctrico	53,1	53,9	53	52,3	50
	Cámara de descarga Turbina	58	53,7	54	56,7	50
	Cuarto de Cloro	58	57,7	55,9	49,8	50
	Bombas de Sistema Cohapamba-Atucucho	53,8	43,6	44	44,1	50
Puengasi	Mezclado rápido clarificador	43,5	43,9	44,3	45,1	45
	Válvulas de salida	40	41,5	42,2	44,3	45
	Clarificador	54	52,5	53,1	47,3	45
	Generador	66	62,1	63	59,1	45
Conocoto	Bombas de retrolavado	51,5	49,4	49,6	49,4	45
	Area de dosificación de sulfato	52	52,2	51,9	52	45
	Area de adición de cloro	49,4	48,9	44,5	45	45
	Bombas de distribución	48,2	48,3	49	48,8	45
El Placer	Dosificación de Cloro	43,5	53,7	52,5	52,5	45
	Area de bombas	51,1	49,1	49,9	49,1	45
	Area de Sedimentación y filtración	51,6	49,8	50,2	49	45
	Bombas y Compresores Este	52,8	52,8	52,3	52,9	
	Generador		54,9	54,1	54,2	45
Toctiuco	Dosificación de Sulfato de Aluminio	47,9	47,6	47,5	46,7	45
	Retrolavado de filtros	44,9	43,3	43,4	43,8	45
	Válvulas y Bombas de distribución	49,6	49,5	46,4	46,5	45
Rumipamba	Bomba de Ingreso de agua cruda	49,4	49,7	49,2	45,6	45
	Carga y descarga de cloro	47,3	47,4	47,5	47,1	45
El Troje	Generador	71	76,5	76	76,1	45
	Area de clorinación	42	44,3	44,9	45,7	45
	Area de filtros y válvulas	39	40,2	40,5	40,2	45
	Ingreso de agua cruda	47	48,1	48,8	48,4	45
Chilibulo	Adición de sulfato	44,6	45,6	42,4	47,1	45
	Adición de cloro	48,1	45	47	49,5	45
	Bomba barrio alto	44,6	41,1	41,9	45,5	45
Chilibulo Alto	Retrolavado de filtros	44,3	44,1	44,9	44,6	45
	Bomba	45,5	45,6	45	48,4	45
	Carga y descarga de cloro	45,5	40,4	41	41,1	45
Tumbaco	Carga y descarga de cloro	46,7	47,2	46,9	47,9	50
	Valvulas de distribución	49,4	48	47,4	47,9	50
Calluma	Area de clorinación	57,5	60,4	57	55,5	65
	Area de filtros	52,3	48,8	49,5	52,6	65
Tababela	Area de carga y descarga de cloro	52,3	48,9	49,6	54,1	65
	Area de filtros	53,2	57,9	56,5	58,7	65

**Continuación Anexo I**  
**Registro Trimestral de Caracterizaciones de Ruido Ambiental en las**  
**Instalaciones de la EMAAP-Q, Periodo 2007-2009**

**CARACTERIZACIONES DE RUIDO PERIODO 2009**

Planta de Tratamiento de Agua	Puntos de muestreo	febrero NPS eq dB(A)	abril- mayo NPS eq dB(A)	julio-ago NPS eq dB(A)	Septiembre NPS eq dB(A)	Valor Norma dB(A)
Yaruquí	Area de clorinación	50	45,6	45,1	48,2	45
	Area de retrolavado	52,1	48,6	46,3	48,1	45
Checa	Area de adición de sulfato	55,2	56,2	56,5	56	50
	Filtros hidráulicos	59	58	58,6	58,1	50
	Area de clorinación	50,7	51	51,6	51,2	50
El Quinche	Dosificación de Sulfato de Aluminio	52	50	49,9	52,2	55
	Area de clorinación	49	50,3	51	53,2	55
	Retrolavado de filtros	53,1	50,3	50,9	52,5	55
Guayllabamba	Camara de Válvulas	45,3	43	43,8	43,3	45
	Dosificación de Cloro	47,9	41,7	42,5	46	45
Ocaña	Area de ingreso de agua	68	46,5	46,5	46,8	50
	Bombas de filtros	51,9	51,2	50,8	48,9	50
	Area de adición de cloro	56,2	53,4	49,6	52,4	50
	Area de adición de sulfato	53,9	51,3	51,8	54,8	50
Iguñaro	Cámara de válvulas	56	67	62,7	63,5	45
	Retrolavado de filtros	65	66,2	67,7	70,8	45
	Adición de Cloro	59	56,5	57,2	61,8	45
Torohuco	Adición de cloro	46,4	40,2	41	43,3	50
Pichincha Sur	Adición de cloro	46,9	47	47,5	48	45
Central Hidroeléctrica El Carmen	Transformador 1	59	60,8	57,5	58,7	45
	Transformador 2	63	65,1	66,1	64,9	45
	Caida de Agua	49	53,6	52,1	51,8	45
	Generador Hidroeléctrico	67	60,1	69,4	65,7	45
	Generador Eléctrico	60	62,8	63,6	60,8	45
Recuperadora Papallacta	Transformador	60,4	61,7	61,1	61,9	
	Turbina-generator	68	68,6	68,2	69,1	
	Pileta de compensación	61,7	59	59	58,5	

## Anexo II

### Coeficientes de Absorción de Diferentes Materiales de Construcción

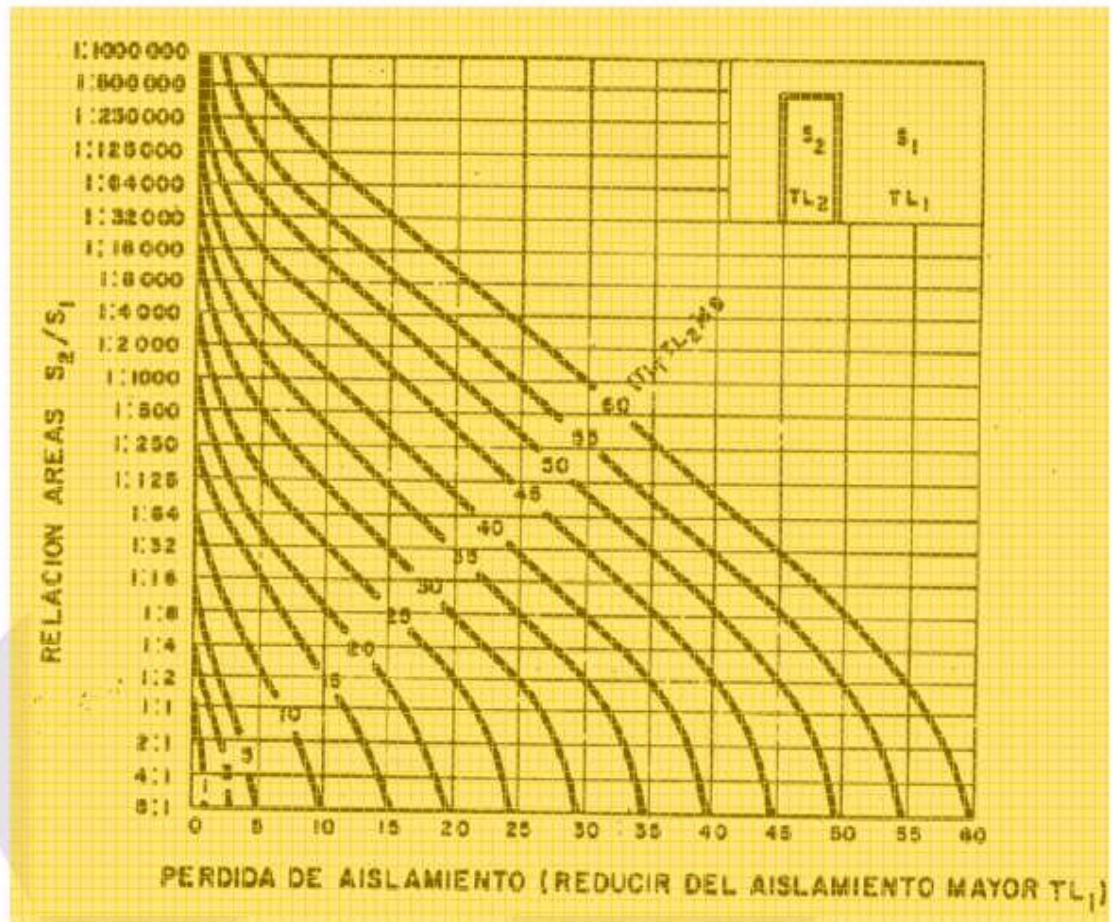
MATERIAL	ESPESOR cm.	CENTROS BANDA FRECUENCIA OCTAVA, Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Ladrillo visto		0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05
Hormigón		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Mármol		0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Enlucido yeso		0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.05	0.06	0.06
Vidrio		0.08	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Cortinas típicas		0.05	0.07	0.15	0.40	0.45	0.50	0.55	0.40
Lana de roca	25	0.05	0.10	0.40	0.65	0.70	0.75	0.80	0.75
	50	0.10	0.15	0.45	0.65	0.75	0.80	0.80	0.80
	100	0.25	0.40	0.65	0.80	0.85	0.85	0.90	0.85
Espuma poliuretano	25	0.10	0.15	0.25	0.55	0.75	0.80	0.90	0.90
Espuma poliuretano	50	0.15	0.20	0.50	0.75	0.95	0.90	0.90	0.90
Techos escayola		0.20	0.20	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
Moqueta		0.10	0.10	0.20	0.25	0.35	0.30	0.30	0.30
Suelos plásticos		0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05
Techos acústicos pesados		0.05	0.10	0.30	0.55	0.60	0.60	0.45	0.40
Techos acústicos separ.		0.20	0.35	0.50	0.70	0.70	0.80	0.75	0.70
Persona sentada		0.15	0.20	0.35	0.45	0.45	0.50	0.45	0.35
Asiento vacío		0.05	0.10	0.10	0.20	0.20	0.25	0.25	0.20

### Anexo III

#### Pérdidas por Transmisión de Diferentes Materiales de Construcción

MATERIAL	ESPESOR Mm.	PESO Kg/m <sup>2</sup>	CENTROS BANDAS FRECUENCIAS Hz							
			63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Aluminio	1,0	2,6	8	11	10	11	17	24	25	30
Acero	1,0	7,0	3	7	15	19	25	32	37	39
Acero	1,5	13,0	9	13	22	28	32	38	42	41
Plomo	1,5	17,0	21	29	32	34	32	32	34	37
Plomo	3,0	34,0	25	31	32	28	37	43	33	39
Vidrio	3,0	7,0	11	15	15	20	23	29	26	31
Vidrio	6,0	14,0	17	11	24	29	31	26	36	39
Vidrio	10,0	23,0	19	23	25	32	31	31	40	42
Aglomerado de madera	12,0	4,0	9	11	16	19	26	30	32	36
Madera sólida	50,0	25,0	14	20	22	25	31	38	43	45
Cartón-yeso	10,0	7,0	10	14	21	23	30	31	36	38
Ladrillo hueco sencillo enlucido	60	75	25	31	30	29	30	39	44	49
Ladrillo hueco doble (tabicón)	120	94	27	30	30	32	40	46	52	56
Ladrillo 1/2 pie macizo enlucido	150	185	36	41	35	43	51	59	64	68
Losa hormigón	100	220	31	37	36	45	51	60	62	64
Losa hormigón	300	700	37	41	45	53	60	63	67	72
Puerta ligera	45	9	9	14	17	19	18	21	26	29
Puerta acústica especial	100	----	35	37	40	45	50	57	59	63
Ventana simple marco aluminio	6	----	17	11	24	28	32	28	35	41
Ventana doble marco aluminio	25	63	25	27	30	30	34	44	48	54
Pared ladrillo sencillo enlucidos	-----	140	28	34	36	36	38	49	60	67
Pared ladrillo macizo enlucido	-----	140	28	33	34	41	55	72	76	79

**Anexo IV**  
**Curvas para el Cálculo de la Pérdida por Transmisión Resultante al**  
**Considerar Dos Superficies de Materiales Distintos**



## Anexo V

### Ejemplo de Cálculo del Nivel de Ruido Diario Equivalente en dB(A)

$$L_{eqAi} = \left[ 10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^n t_i * 10^{0.1L_{pA}}}{\sum_{i=1} t_i} \right) \right]$$

Donde:

$L_{eqAi}$  Niveles de presión sonora medidos con ponderación A en cada intervalo.

$t_i$  Intervalos de tiempo

#### ***Nivel de ruido diario equivalente recibido por los operadores en la Planta de Bellavista:***

Un operador trabaja en turnos de 12 horas diarias, de las cuales 2 labora en el taller mecánico, otras 2 en operaciones de mantenimiento del área de soplantes, y las 8 horas restantes en actividades de operación, mantenimiento y oficina en diferentes instalaciones.

Con esta información, los niveles de ruido a los que se encuentra expuesto son los siguientes:

ÁREA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA dB(A)	Tiempo de exposición (horas)
Taller mecánico	84,2	2
Soplantes	95,3	2
Otras actividades	50,0	8

Aplicando la ecuación anterior se tiene lo siguiente:

$$L_{eqAi} = \left[ 10 \log \left( \frac{2 * 10^{8,42} + 2 * 10^{9,53} + 8 * 10^{5,0}}{12} \right) \right] = 87,92dB(A)$$



# Anexo VI

## Especificaciones Técnicas de Diferentes Tipos de Protectores Auditivos



### Tapones Auditivos 1100

#### Hoja Técnica



#### Características Principales

Los tapones protectores auditivos desechables 1100 son fabricados con materiales hipoalergénicos; brindan una efectiva e higiénica protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los 85 dB(A) por día.

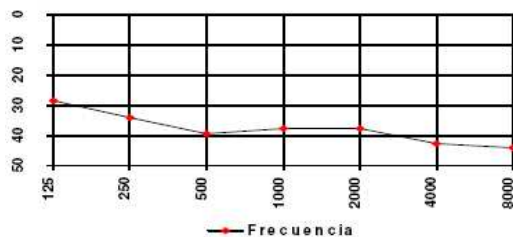
Su forma cónica y su superficie perfectamente lisa han sido específicamente diseñados para adaptarse cómodamente a la mayoría de los canales auditivos, el color naranja del tapón 1100 permite una fácil visualización y comprobación de uso en los lugares de trabajo

#### Aplicaciones

Los tapones auditivos 1100 pueden utilizarse en aquellas industrias donde exista riesgo de exposición a ruido, tales como construcción, procesos de maderas, metalurgia, o donde existan motores o turbinas. Los protectores auditivos 1100 están recomendados en aquellos puestos de trabajo que están expuestos al ruido, especialmente en condiciones de trabajo con humedad o calor.

#### Atenuación

Valores medios de atenuación para tapones auditivos 1100 según lo establecido en la norma ANSI S3.19-1974



Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRR
Atenuación en el oído 9dB(A)	28.4	34.1	39.3	37.6	37.7	41.6	42.7	44.0	44.1	29
Desviación estándar	5.6	5.6	5.2	3.1	3.1	3.4	3.5	3.8	5.0	

La tasa de reducción de ruido (NRR) calculada a partir de los valores de atenuación es de 29.0 dB, cuando los tapones están correctamente colocados.

#### Recomendaciones de Uso

El nivel de ruido que entra al oído de una persona, cuando usa el protector auditivo según las instrucciones, es muy cercano a la diferencia entre el nivel de ruido ambiental compensado en A y la tasa de reducción de ruido (NRR).

Ejemplo.

- 1.- El nivel de ruido ambiental medido en el oído es de 92 dBA.
- 2.- El NRR es de 29 decibeles (dB).
- 3.- El nivel de ruido que entra al oído es aproximadamente de 63 dBA.

#### Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fábrica.

Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal, pérdida o daños ya sean directos o consecuentes que resulten del uso de este producto.

Antes de usarlo, el usuario deberá determinar si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

#### Empaque

Unid. / Funda	Funda / Caja	Unid. / Caja
2	200	400

#### Para mayor información:

3M Ecuador C.A.  
 División de Productos para la Salud Ocupacional y  
 Protección Ambiental  
 Tlf. 252-6437 Fax 250-4406 Quito  
 Tlf. (04) 280-0777 Fax (04) 280-2254 Guayaquil



# Orejas 1435

Aros y copas de repuesto 1437

## Hoja Técnica



### Características principales

Los protectores auditivos tipo orejas 3M 1435 son fabricados con materiales hipoalergénicos y de muy bajo peso; brindan una efectiva e higiénica protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los 85 dB(A) por jornada de trabajo. Repuestos disponibles.

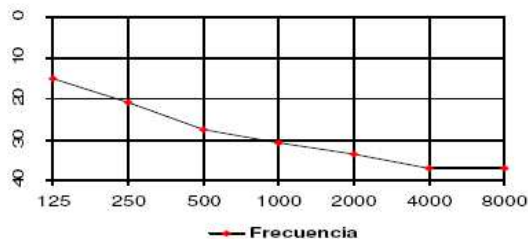
El arco extra amplio de las orejas 3M 1435 aseguran la adaptación de las copas. Las copas de posición múltiple aseguran un perfecto ajuste.

### Aplicaciones

Las orejas 3M 1435 pueden utilizarse en aquellas industrias donde exista riesgo de exposición a ruido, tales como construcción, procesos de maderas, metalurgia, o donde existan motores o turbinas. Las Orejas 3M 1435 están recomendadas en aquellos puestos de trabajo donde existe tanto exposición a ruido, como condiciones en las que los trabajadores están expuestos a polvo, grasa u otro tipo de sustancias.

### Atenuación

Valores medios de atenuación para la orejas 3M 1435 según lo establecido en la norma ANSI S3.19-1974



La tasa de reducción de ruido (NRR) calculada a partir de los valores de atenuación es de 23,0 dB, cuando los protectores están correctamente colocados.

### Especificaciones

Peso: 200 g. aprox.

### Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fábrica.

Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal, pérdida o daños ya sean directos o consecuentes del uso de este producto.

Antes de ser usado, debe determinarse si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

### Empaque

Piezas / Bolsa	Bolsas / Caja	Piezas / Caja
1	20	20

Repuesto 1437: 2 aros y 2 copas/bolsa

### Para mayor información:

3M Ecuador C.A.  
División Salud Ocupacional y Protección Ambiental  
Telef. 2526437 / (04) 2800777  
Fax 2504406 / (04) 2802254

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRR
Atenuación en el oído dB(A)	15	20,9	27,5	30,8	33,5	33,8	36,9	36,1	36,9	23
Desviación estándar	3	2,8	2,8	2,4	2,7	3,1	3,1	3,2	3,7	dB



# Orejas 1450 para Casco

Copas y aros de repuesto 1442

## Hoja Técnica



### Características principales

Los protectores auditivos tipo orejas 3M 1450 son fabricados con materiales hipoalergénicos; brindan una efectiva e higiénica protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los 85 dB(A) por jornada de trabajo. Repuestos disponibles.

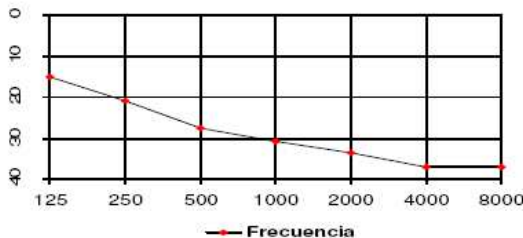
Las orejas 3M 1450 puede ser fijadas en una gran variedad de cascos como Wilson, MSA, Bullard, etc. En ambientes sin ruido las orejas pueden girar para colocarse sobre el casco sin necesidad de desacoplarlas.

### Aplicaciones

Las orejas 3M 1450 pueden utilizarse en aquellas industrias donde exista riesgo de exposición a ruido, tales como construcción, procesos de maderas, metalurgia, o donde existan motores o turbinas. Las Orejas 3M 1450 están recomendadas en aquellos puestos de trabajo donde existe tanto exposición a ruido, como condiciones en las que los trabajadores están expuestos a polvo, grasa u otro tipo de sustancias.

### Atenuación

Valores medios de atenuación para la orejas 3M 1435 según lo establecido en la norma ANSI S3.19-1974



La tasa de reducción de ruido (NRR) calculada a partir de los valores de atenuación es de 23.0 dB, cuando los protectores están correctamente colocados.

### Especificaciones

Peso: 200 g. aprox.

### Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fábrica.

Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal, pérdida o daños ya sean directos o consecuentes del uso de este producto.

Antes de ser usado, debe determinarse si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

### Empaque

Piezas / Bolsa	Bolsas / Caja	Piezas / Caja
1	20	20

Repuesto 1442: 2 aros y 2 copas/bolsa

### Para mayor información:

3M Ecuador C.A.  
División de Salud Ocupacional y Seguridad Ambiental  
Telef.: 02-252-6437  
Fax: 02-250-4405

Muffs for Hard Hats 1450	mounted on hard hat	23	FREQUENCY (Hz)										B
			125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000		
			MEAN (dB)										
			15.8	21.0	28.3	29.3	30.2	35.1	38.6	39.8	38.9		
			STANDARD DEVIATION (dB)										
			2.9	2.4	2.7	1.8	1.9	3.4	2.6	3.4	4.2		

# Attenuation Data for 3M™ Hearing Protectors

## Foam Ear Plugs

Hearing Protector Model	U.S. Noise Reduction Rating (NRR)	Average Real Ear Attenuation in Laboratory (tested according to ANSI S3.19-1974)										CSA Class* (Canada)
		FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	
Soft Foam Ear Plugs 1120	28 dB	MEAN (dB)	24.7	28.9	35.1	38.4	39.1	41.9	43.0	45.2	45.6	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	5.3	3.8	4.1	3.4	3.6	3.3	3.0	4.2	3.2	
Corded Soft Foam Ear Plugs 1130	28 dB	MEAN (dB)	26.3	28.3	33.3	35.1	37.2	41.8	43.4	43.8	43.4	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	3.8	3.1	3.2	3.0	2.7	4.6	3.9	3.6	4.7	
Foam Ear Plugs 1100	29 dB	MEAN (dB)	33.9	37.7	39.8	38.5	37.0	41.9	42.7	45.5	44.8	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	4.7	5.5	5.6	4.8	3.1	3.8	3.4	4.0	3.4	
Corded Foam Ear Plugs 1110	29 dB	MEAN (dB)	33.9	37.7	39.8	38.5	37.0	41.9	42.7	45.5	44.8	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	4.7	5.5	5.6	4.8	3.1	3.8	3.4	4.0	3.4	

\*CSA Z94.2-1994

*Note: Research suggests that the NRR may significantly overestimate the protection provided by hearing protectors in real-world, workplace conditions. 3M recommends reducing the NRR by 50% before estimating workplace protection. 3M hearing protectors are most effective when they are worn properly and worn for the entire time that you are exposed to loud noise.*

3M Occupational Health and Environmental Safety Division

3M Center Building 0235-02-W-70  
31. Paul MN 55144-1000

[www.3m.com/occsafety](http://www.3m.com/occsafety)

January 2004

# Attenuation Data for 3M™ Hearing Protectors

## Reusable Ear Plugs

Hearing Protector Model	U.S. Noise Reduction Rating (NRR)	Average Real Ear Attenuation in Laboratory (tested according to ANSI S3.19-1974)										CSA Class* (Canada)
		FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	
Reusable Ear Plugs 1260	24 dB	MEAN (dB)	27.2	27.9	31.0	30.9	34.2	35.8	37.5	39.9	41.7	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	4.3	3.7	3.6	3.1	3.8	3.0	3.9	4.2	5.1	
Corded Reusable Ear Plugs 1270	24 dB	MEAN (dB)	28.7	30.1	32.8	33.8	34.5	35.6	36.2	39.9	42.2	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	5.0	5.0	4.6	4.1	3.5	3.4	4.0	4.5	5.3	
Corded Reusable Ear Plugs with Storage Case 1271	24 dB	MEAN (dB)	28.7	30.1	32.8	33.8	34.5	35.6	36.2	39.9	42.2	AL
		STANDARD DEVIATION (dB)	5.0	5.0	4.6	4.1	3.5	3.4	4.0	4.5	5.3	

\*CSA Z94.2-1994

*Note: Research suggests that the NRR may significantly overestimate the protection provided by hearing protectors in real-world, workplace conditions. 3M recommends reducing the NRR by 50% before estimating workplace protection. 3M hearing protectors are most effective when they are worn properly and worn for the entire time that you are exposed to loud noise.*

## Attenuation Data for 3M™ Hearing Protectors

### Banded Hearing Protectors

Hearing Protector Model	Headband Position	U.S. Noise Reduction Rating (NRR)	Average Real Ear Attenuation in Laboratory (tested according to ANSI S3.19-1974)										CSA Class* (Canada)
Banded Hearing Protector 1310	under chin	20 dB	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	BL
			MEAN (dB)	21.9	21.1	22.4	24.0	34.4	40.2	40.6	44.1	46.5	
			STANDARD DEVIATION (dB)	4.7	2.8	3.2	2.5	3.0	2.5	2.8	3.2	2.5	
	behind head	21 dB	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	BL
			MEAN (dB)	21.6	20.9	23.0	24.5	34.0	40.3	40.7	44.0	46.2	
			STANDARD DEVIATION (dB)	3.0	2.8	2.3	2.4	2.7	3.4	3.7	4.9	3.9	

\*CSA Z94.2-1994

*Note: Research suggests that the NRR may significantly overestimate the protection provided by hearing protectors in real-world, workplace conditions. 3M recommends reducing the NRR by 50% before estimating workplace protection. 3M hearing protectors are most effective when they are worn properly and worn for the entire time that you are exposed to loud noise.*

3M Occupational Health and Environmental Safety Division

3M Center Building 0235-02-W-70  
St. Paul MN 55144-1000

[www.3m.com/occsafety](http://www.3m.com/occsafety)

January 2004

# Attenuation Data for 3M™ Hearing Protectors

## Ear Muffs

Hearing Protector Model	Headband Position	U.S. Noise Reduction Rating (NRR)	Average Real Ear Attenuation in Laboratory (tested according to ANSI S3.19-1974)										CSA Class* (Canada)
			FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	
Low Profile Ear Muffs 1425	over head	22 dB	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	B
			MEAN (dB)	14.0	17.5	25.0	36.8	34.3	33.4	34.2	33.7	33.2	
			STANDARD DEVIATION (dB)	2.9	2.4	2.2	3.5	3.3	1.8	2.3	2.3	2.0	
Three Position Ear Muffs 1427	over head	27 dB	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	A
			MEAN (dB)	19.5	22.9	31.7	40.8	38.1	41.5	41.1	40.4	38.4	
			STANDARD DEVIATION (dB)	2.9	2.1	2.2	3.2	3.1	2.7	2.4	2.3	2.9	
	behind head	27 dB	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	AL
			MEAN (dB)	20.4	22.8	30.4	39.5	36.1	41.6	42.1	41.1	39.5	
			STANDARD DEVIATION (dB)	4.2	2.0	1.8	2.8	2.0	3.8	2.8	2.3	2.5	
under chin	26 dB	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	A	
		MEAN (dB)	18.5	22.8	31.0	40.1	35.7	40.3	41.3	39.8	37.9		
		STANDARD DEVIATION (dB)	3.4	2.7	2.2	2.2	2.4	3.9	3.0	2.5	2.6		

\*CSA Z94.2-1994

Note: Research suggests that the NRR may significantly overestimate the protection provided by hearing protectors in real-world, workplace conditions. 3M recommends reducing the NRR by 50% before estimating workplace protection. 3M hearing protectors are most effective when they are worn properly and worn for the entire time that you are exposed to loud noise.

3M Occupational Health and Environmental Safety Division

3M Center Building 0235-02-W-70  
St. Paul MN 55144-1000

[www.3m.com/occsafety](http://www.3m.com/occsafety)

January 2004

## Attenuation Data for 3M™ Hearing Protectors

### Ear Muffs

Hearing Protector Model	Headband Position	U.S. Noise Reduction Rating (NRR)	Average Real Ear Attenuation in Laboratory (tested according to ANSI S3.19-1974)										CSA Class* (Canada)
			FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	
General Purpose Ear Muffs 1435	over head	23	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	B
			MEAN (dB)	15.0	20.9	27.8	30.8	33.5	33.8	36.9	36.1	36.9	
			STANDARD DEVIATION (dB)	3.0	2.8	2.8	2.4	2.7	3.1	3.1	3.2	3.7	
Padded Ear Muffs 1440	over head	24	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	B
			MEAN (dB)	15.5	21.8	28.1	29.6	30.5	35.0	39.0	39.9	40.1	
			STANDARD DEVIATION (dB)	2.2	2.2	2.7	1.7	2.0	2.4	2.4	2.6	3.2	
Ear Muffs for Hard Hats 1450	mounted on hard hat	23	FREQUENCY (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	8300	8000	B
			MEAN (dB)	15.8	21.0	28.3	29.3	30.2	35.1	38.8	39.8	38.9	
			STANDARD DEVIATION (dB)	2.9	2.4	2.7	1.8	1.9	3.4	2.6	3.4	4.2	

\*CSA Z94.2-1994

*Note: Research suggests that the NRR may significantly overestimate the protection provided by hearing protectors in real-world, workplace conditions. 3M recommends reducing the NRR by 50% before estimating workplace protection. 3M hearing protectors are most effective when they are worn properly and worn for the entire time that you are exposed to loud noise.*

3M Occupational Health and Environmental Safety Division

3M Center Building 0235-02-W-70  
St. Paul MN 55144-1000

[www.3m.com/occsafety](http://www.3m.com/occsafety)

January 2004