




GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

CONTENIDO

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. DEFINICIONES
4. RESPONSABILIDADES
5. DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD
6. REGISTROS
7. DOCUMENTOS DE REFERENCIA
8. CONTROL DE MODIFICACIONES

FORMALIZACIÓN DE PROCEDIMIENTO

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
Patricio del Fierro  Sub Gerente Estudios Ambientales	Nelson Saieg Paez  Gerente de Control Ambiental	Andrés Cabello Blanco  Gerente de Medio Ambiente	05.07.2017

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

1. OBJETIVO

Establecer un procedimiento de seguimiento y medición de ruido por tronaduras que conduzca a la implementación de medidas de mitigación y control para el cumplimiento del estándar adoptado por el proyecto, que corresponde a la norma de referencia "Title 30: Mineral Resources; Part 816-Permanent Program Performance Standards - Surface Mining Activities; §816.67 Use of explosives: Control of adverse effects" establecida en el ICE numeral 1.2 Programa de Monitoreo de Ruido y Vibraciones en la Etapa de Construcción y cuyo seguimiento se establece en el considerando 8.3. de la RCA 256/2009.

2. ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todas las obras del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo PHAM en donde se desarrollen tronaduras que puedan afectar a receptores sensibles al ruido según lo expuesto en la sección 8.2.2 del Estudio de Impacto Ambiental y considerando 8.3.1 de la RCA 256/09 referido a los lugares de medición.

El procedimiento está dirigido al personal involucrado en la ejecución de actividades de tronadura.

3. DEFINICIONES

- **Tronadura:** Es la fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de explosivos depositados en su interior. La tronadura primaria es la que se realiza directamente en el macizo rocoso para separar y fragmentar parte de éste, en tanto que se denomina tronadura secundaria a la que se realiza sobre fragmentos de gran tamaño o colpas ya separados del macizo, de manera de lograr su reducción al tamaño adecuado para ser cargadas y transportadas.
- **Onda aérea:** Es la parte de la energía liberada en las tronaduras que se transmite a la atmósfera dando lugar a una onda de sobrepresión que se propaga a través del aire. Este incremento de presión se produce principalmente por los gases liberados en la detonación, pero también por el movimiento de los fragmentos de roca al desplazarse y del terreno al vibrar con la tronadura. Esta sobrepresión origina el ruido producido por la explosión, se mide en decibelios.
- **Puntos de Monitoreo:** Son los lugares identificados en el Estudio de Impacto Ambiental en los cuales se deben realizar los monitoreos de ruido y vibraciones, según la identificación de la línea base que son:

Punto 1 (sector Alfalfal)

Punto 2 (quebrada El Torrejón)

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

Punto 3 (quebrada El Trescientos)
Punto 4 (sector Maitenes)
Punto 5 (sector El Sauce)
Punto 7 (sector Canal Alfalfal)
Punto 8 (sector Las Lajas)

En caso de existir nuevos receptores al momento de ejecutar las faenas de construcción, se deberá señalar expresamente en los informes y deberán ser incluidos en el monitoreo.

- **Norma de referencia:** Se hace referencia al Title 30: Mineral Resources; Part 816—Permanent Program Performance Standards—Surface Mining Activities; § 816.67 Use of explosives: Control of adverse effects”, que es la norma establecida en la evaluación ambiental del PHAM para evaluación de ruido y vibraciones ocasionadas por las tronaduras.
- **Límites Normativos:** Son los niveles máximos establecidos en la norma de referencia que se pueden alcanzar durante la tronadura en los receptores sensibles identificados, los cuales se describen a continuación:

Para el caso de los niveles máximos de ruido en dB, se aplica el siguiente punto estipulado en la norma:

“(1) Límites. (i) La onda expansiva no debe sobrepasar los límites máximos enumerados abajo en el emplazamiento de cualquier vivienda, edificio público, escuela, iglesia o edificio comunal o institucional fuera del área permitida.”

Límite de frecuencia inferior del sistema de medición, en HZ (+-3 dB)	Nivel Máximo en dB
0.1 Hz o inferior: respuesta plana ¹	Máximo 134
2 Hz o inferior: respuesta plana	Máximo 133
6 Hz o inferior: respuesta plana	Máximo 129
Ponderación en C: respuesta lenta ¹	Máximo 105 dBC _{peak}

1: Sólo si la autoridad lo permite.

“(2) Velocidad de Partícula Máxima. (i) La vibración del terreno máxima no debe sobrepasar los siguientes límites en el emplazamiento de cualquier vivienda, edificio público, escuela, iglesia o edificio comunal o institucional fuera del área permitida.”

Distancia de la tronadura (m)	Límite permisible (mm/s)
Menor a 91	31.75
Entre 91 y 1544	24.40
Sobre 1544	19.05

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

4. RESPONSABILIDAD

Gerente de Proyecto

- Responsable de proveer los recursos necesarios, tanto humanos como materiales requeridos para la implementación de este procedimiento
- Responsable de proteger la salud y seguridad de todo el personal de la obra y también proteger el medio ambiente que rodea a la faena
- Dar cumplimiento a las políticas de calidad de la empresa.

Gerente de Medio Ambiente/Gerente de Control Ambiental PHAM

- Exigir el cumplimiento del procedimiento a todas las áreas de construcción del proyecto y contratistas que ejecuten tronaduras según lo establecido en el alcance
- Garantizar la difusión de este procedimiento a todo el personal involucrado en el alcance del mismo.

Superintendente de Minería o tronaduras

- Garantizar que se implementen las medidas de mitigación por ruido de tronaduras, incrementalmente, hasta las necesarias para dar cumplimiento a la norma de referencia.

Supervisor de Tronadura (O Turno)

- Garantizar la ejecución segura de la tronadura según los procedimientos establecidos por PHAM
- Implementar las medidas de mitigación de ruido y vibraciones, según lo establecido en el protocolo de tronadura
- Evaluar las medidas de mitigación implementadas e implementar medidas adicionales cuando sea necesario.

Gerente de Medio Ambiente Contratista

- Establecer el plan de monitoreo de ruido según el cronograma de tronaduras de acuerdo al programa de construcción
- Gestionar la contratación de consultor o laboratorio autorizado para medición de ruido por tronaduras según lo establecido en la RCA 256/09 y legislación aplicable en materia de entidades de fiscalización ambiental

Supervisor Ambiental de Terreno Contratista

- Identificar los receptores de ruido y vibraciones, según los puntos identificados y reportar la distancia a considerar en el cálculo de onda aérea al ingeniero calculista
- Asesorar a la línea de mando de terreno en el estricto cumplimiento de los compromisos ambientales RCA 256/09, marco regulatorio nacional y específicos que aplican al proyecto
- Verificar la efectividad de las medidas de mitigación comprometidas en el presente procedimiento

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

- Analizar el resultado preliminar de la tronadura y establecer medidas de mitigación incrementales cuando se requiera.
- Reportar al supervisor de Medio Ambiente PHAM la superación de las medidas y las medidas de mitigación establecidas.

Ingeniero Calculista

- Realizar el protocolo de tronaduras y garantizar que se realice el cálculo de presión de onda aérea considerando las distancias de evacuación y la distancia de los receptores sensibles
- Calcular las bases de tronadura, para ser corroborada por el supervisor, con sus límites de vibraciones y ruidos
- Gestionar permisos y mantener orden de uso y manipulación de explosivos
- Verificar mediante registros los límites de vibraciones y ruidos acordes al contrato
- Garantizar que en el protocolo de tronadura, el consumo de explosivos teórico y los factores de carga permiten cumplir con el cálculo de onda aérea establecido para el receptor más cercano
- Enviar el protocolo de tronadura al supervisor de terreno, Ingeniero Ambiental e ITO Minero para revisión previo a la tronadura.

Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental ETFA

- Monitorear el ruido y vibraciones durante los procesos de tronadura
- Dar aviso de superación de límite de norma de ruido y de vibraciones al encargado de implementación de medidas en forma inmediata
- Generar registro de comunicación y entrega de información
- Generar los respectivos informes de monitoreo de ruido y vibraciones donde se incluyan la verificación de las medidas de mitigación en los casos requeridos.

Inspector Ambiental Monitoreo de Ruido y Vibraciones

- Desarrollar el monitoreo de ruido y vibraciones según la metodología establecida en la RCA 256/09
- Cumplir con lo establecido en D.S. N° 38/2013 del Ministerio del Medio Ambiente en materia de fiscalización ambiental
- Reportar el resultado preliminar de la tronadura al ingeniero ambiental y al supervisor de turno contratista.

ITO Minero PHAM

- Revisar el protocolo de tronadura y garantizar que el cálculo de onda aérea cumple con la norma
- Exigir el cumplimiento en terreno de este protocolo.

ITO Medio Ambiente PHAM

- Verificar en terreno las medidas de mitigación establecidas por el Supervisor Ambiental
- Hacer seguimiento a las medidas de mitigación adicionales
- Verificar que las mediciones se han realizado en los puntos establecidos.

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

Supervisor Ambiental PHAM

- Supervisa la ejecución del programa de monitoreo de ruido según lo establecido por el contratista
- Revisa los resultados del programa de monitoreo y evalúa el cumplimiento
- Informa al Gerente de Construcción las desviaciones existentes
- Reporta las excedencias de los monitoreos y las medidas de mitigación al Especialista de Reportes EHSS PHAM

Especialista de Reportes EHSS PHAM

- Reportar los resultados del programa de monitoreo ante la SMA en función de lo establecido en el RCA 256/09 y las resoluciones que regulan la forma de reportar.

5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

5.1 Cálculo de presión de Onda aérea

Dentro del protocolo de tronadura se debe calcular el nivel de sobrepresión del evento previo a su ejecución de tal forma que se pueda determinar teóricamente si la tronadura cumplirá con la norma de referencia para ruido. El cálculo de nivel de sobrepresión se obtiene con la siguiente relación:

$$P = K \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-1.2}$$

Donde P es el nivel de sobrepresión, Q es la carga explosiva máxima por retardo y R es la distancia de referencia (en este caso la del receptor a considerar) y K es el factor de confinamiento de carga con un valor de 3.3 para explosión confinada y 185 para explosión sin confinar.

Esta sobrepresión es la que origina el ruido producido por la explosión, y para calcular este valor se utiliza la siguiente expresión, donde P es la sobrepresión y P_0 , es la presión de referencia (2×10^{-5} Pa).

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Obteniendo el valor de la onda aérea en dB.

El Ingeniero Calculista deberá realizar este cálculo previo a la tronadura y lo reportara al ITO Minero en el protocolo considerando la distancia a los receptores sensibles de ruido. El valor dB debe ser inferior a 105, si este valor es superior deberá disminuirse la carga explosiva máxima por retardo.

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

El ITO minero revisará el protocolo, debe indicar las observaciones respecto al cálculo predictivo de las variables de ruido y vibración y hacer las recomendaciones respectivas y si este cálculo no cumple con esta especificación informará al supervisor de turno y definirán un nuevo protocolo que cumpla el valor.

5.2 Medidas de Control operacional de tronadura

Una vez desarrollado el protocolo de tronadura se deberán implementar medidas de control operacional por parte del supervisor de turno y verificadas por el ITO, entre las que se encuentran las siguientes:

- Revisar que no se quemen explosivos sin confinamiento, que no exista explosivo sobrante
- Verificar que no haya cordón detonante en exceso
- No quemar desquinces sin confinamiento
- Respetar la longitud de carga de fondo, longitud de carga de columna y longitud de taco de cada tiro, para no sobrecargar los tiros
- Realizar limpieza y soplado de tiro con aire comprimido
- Cargar los tiros en la secuencia indicada en protocolo y no alterarla
- Correcta utilización de taco de greda
- Control del paralelismo en la perforación de los barrenos.

5.3 Medición de ruido de tronaduras en la etapa de construcción

La medición de ruido de tronaduras se realizará para cada una de las tronaduras que se realice en los primeros 100 metros de avance de un túnel, según lo establecido en la Tabla 8.2.2.2 del EIA del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, lo que garantiza abordar todos los eventos para establecer medidas de control adicionales en caso de requerirse.

La medición de vibración, se realizará mediante la instalación de un geófono empotrado en la roca, el que deberá registrar la velocidad de partículas (mm/s) causadas por las vibraciones de cada tronadura, de tal modo que se pueda controlar la carga explosiva por retardo dentro del límite que exigen las especificaciones técnicas del proyecto.

Las mediciones de ruido se realizarán mediante la instalación de sonómetros calibrados en los puntos de control, de acuerdo al procedimiento establecido en la normativa correspondiente D.S 146/97.

La información de las variables consideradas para la realización de la tronadura se llevará en el registro ENV-PCD-014/01 para su control (adjunto en Anexo). Esta información servirá de base para

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

futuras tronaduras, en caso de presentar excedencia en los límites de ruido y vibraciones. El registro de las tronaduras se basará en los protocolos de cada evento y las mediciones en terreno.

Si los niveles de vibración o ruido exceden a los límites establecidos por la normativa correspondiente, entonces se implementarán medidas de mitigación adicionales antes de proceder con la siguiente tronadura.

5.4 Medidas de Mitigación por excedencia de la Norma de referencia

El Inspector Ambiental debe reportar la medición preliminar de ruido por la tronadura al Ingeniero Ambiental, al ITO Minero PHAM y al ITO Ambiental PHAM, y en caso de detectarse una excedencia de la norma de referencia se deberá seguir las siguientes medidas:

5.4.1 El Supervisor de turno, junto al ingeniero ambiental y el Ingeniero Calculista deberán realizar un análisis de las causas que originaron la superación de la normativa, a partir de la revisión del protocolo de tronadura.

5.4.2 El análisis debe contener como como mínimo lo siguiente:

- Revisión de la Memoria de Cálculo de perforación y tronadura
- Revisión largo de perforación
- Evaluar la cantidad de explosivo (en kilogramos) quemado por retardos, ya que este constituye uno de los principales parámetros de control, además del factor de carga
- Revisar el tipo de explosivo utilizado
- Revisar la relación carga y espaciamiento puesto que una excesiva carga y espaciamiento generará, un tiro soplado, efecto cráter, generación de dispersión y proyección de roca, como de ruido por sobre el nivel estimado. Esto es válido para tronaduras subterráneas y a cielo abierto, una sub-estimación de carga y espaciamiento, generalmente viene acompañado de una alta concentración de explosivo e incremento del consumo específico de sustancia explosiva, lo que generará mayores niveles de ruido y vibración, que los estimados
- Revisión de los barrenos: La inclinación y diámetro de los barrenos, en el caso de Cielo Abierto, por ejemplo si están inclinados generan una mayor probabilidad de proyección de roca y ruido.
- Revisar uso del cordón detonante: El uso del cordón detonante de 5 g/m. En túneles se debe minimizar o cambiarlo a uno de 3 g/m. En cielo abierto se debe eliminar y cambiarse por tubo nonel o de choque.

5.4.3 Luego de realizado el análisis, el Ingeniero Calculista deberá desarrollar un nuevo cálculo de presión de onda aérea estableciendo una carga explosiva menor que garantice que el cálculo de la onda aérea disminuya en un valor de 0.5 a 1 decibeles con respecto a la tronadura anterior y reportarlo en el protocolo de la nueva tronadura. Además de la reducción de la

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

carga, también se puede reducir al mínimo la cantidad de explosivo que detona simultáneamente y evitar la superposición de las ondas procedentes de los distintos barrenos utilizando tiempos de retardo entre los mismos que superen el valor $2S/c$, siendo “S” la separación entre barrenos y “c” la velocidad del sonido en el aire.

5.4.4 Una vez desarrollado el nuevo protocolo se deberán verificar las medidas de control operacional (Ver 5.2) por parte del supervisor de turno y verificadas por el ITO Ambiental y Minero, y dejar registro de esta actividad, adicionando al protocolo de tronadura una nueva hoja en donde se establezca el análisis y las nuevas medidas implementadas según el formato (ENV-PCD-0014/02) para efectos de contar con un respaldo de su aplicación. En caso que la siguiente tronadura vuelva a presentar excedencia, se deberá repetir el análisis y aumentar las medidas de mitigación en forma incremental hasta lograr que no exista excedencia de la norma de referencia.

5.4.5 En el caso que las medidas indicadas en los numerales 5.4.3 y 5.4.4 del presente protocolo no logren el cumplimiento del estándar de referencia, se aplicarán algunas de las siguientes medidas de protección acústica de acuerdo a las condiciones del entorno, en forma incremental y acumulativa hasta cumplir el estándar:

- Nueva disminución de carga explosiva de acuerdo al numeral 5.4.3. del presente protocolo.
- Cortinas acústicas
- Pantallas acústicas, interiores o exteriores
- Parapetos de tierra o material de construcción
- En cielo abierto, considerar las condiciones climáticas, fundamentalmente la dirección y velocidad del viento.

6 REGISTROS

Los registros a considerar en el presente documento son:

- ENV-PCD-014/01 “Seguimiento monitoreo de ruido y vibraciones tronaduras en túneles”
- ENV-PCD-014/02 “Medidas Adicionales de mitigación por Excedencia de Ruido”

Ambos formatos de registro se entregan en el Anexo del presente documento.

7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

Nombre del Documento	Código	Tipo de Documento (Interno/Externo)	Disponible en:
Resolución Exenta No. 256/09	RCA256/09	Externo	https://www.e-seia.cl/expediente/expedientes/Evaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2933044
Title 30: Mineral Resources; Part 816- Permanent Program Performance Standards- Surface Mining Activities. Control de efectos adversos por uso de explosivos.	N/A	Externo	EIA Alto Maipo
Glosario Minero	N/A	Externo	http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-a/
Procedimiento de tronadura, manipulación y transporte de explosivos	DAB-PCD-005	Externo	UNIFIER Submittal SB-5960 Strabag


8 CONTROL DE MODIFICACIONES

Las modificaciones que se hagan a este Procedimiento de Medidas de Mitigación de Ruido por Tronaduras, se registrarán en la siguiente tabla:

Revisión	Fecha	Descripción de Modificaciones
0	05.07.2017	Primera Versión

GRL-PCD-0007/05	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO POR TRONADURAS
ALTO MAIPO	ENV-PCD-014
	Rev. 0

ANEXO

		PROTOCOLO PERFORACIÓN Y TRONADURA Medidas Adicionales de mitigación por Excedencia de Ruido	
		ENV-PCD-014/02	
Protocolo de Tronadura No.		Protocolo de Tronadura anterior No.	
Sector		Fecha :	Contrato
Valor de Nivel sonoro obtenido en Tronadura con excedencia (dbC) Tronadura Anterior:			
Medidas de Mitigación a implementar (reducción de Carga, largo de perforacion, cordon detonante, etc.)			
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Cálculo de Presión de Onda aérea (El valor Lp debe ser inferior en 0,5 a 1 dB con respecto al reportado en el protocolo de la tronadura anterior)			
Formulismo			
$P = K \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-1,2}$	P : Nivel de sobrepresión (kPa) Q : Máx. carga explosiva por retardo (kg) R : Distancia desde centro tronadura (m) K : Estado de confinamiento	Factor K (nivel confinamiento roca) 185 Sin confinar 3,3 Confinado	
$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$	Lp : Nivel de sobrepresión en dBL P : Nivel sobrepresión en Pa P0 : Presión de referencia (2x10 ⁻⁵ Pa)		
Ingreso de datos			
Distancia a Punto Receptor R : Q : K :	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Identificación del Punto Receptor <input type="text"/>	
	m kg	Resultado Lp : dBL	
Verificación de medidas de control operacional (Taco de greda, longitud de carga, long. de taco, etc)			
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Otras medidas de protección acústica			
1.			
2.			
3.			
Valor de Nivel sonoro obtenido en Tronadura luego de las medidas implementadas(dbC)			
INGENIERO CALCULISTA	SUPERVISOR	ITO	
Firma _____	Firma _____	Firma _____	
Nombre _____	Nombre _____	Nombre _____	
Fecha _____	Fecha _____	Fecha _____	



SEGUIMIENTO MONITOREO DE RUIDO Y VIBRACIONES TRONADURAS EN TUNELES

ENV-PCD-014/01

[illegible]