

ALTO MAIPO

ACTUALIZACIÓN PROGRAMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES Y MODELO DE ATENUACIÓN TEMPRANO TÚNEL EL VOLCÁN

– Febrero de 2016 –

Actualización Programa de Monitoreo de Vibraciones y Modelo de Atenuación Temprano Túnel El Volcán

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVOS.....	3
3	ALCANCE	3
4	ANTECEDENTES GENERALES	4
5	METODOLOGÍA.....	8
5.1	LUGAR	8
5.2	PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS	9
5.3	FECHA DE EJECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD	10
5.4	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	11
5.5	NORMATIVA APLICABLE	11
5.6	MEDIDAS EN CASO DE SUPERACIÓN DE LA NORMA	12
6	INFORMES	12
7	REFERENCIAS	13

LISTADO DE TABLAS

Tabla 4-1. Coordenadas aproximadas del sector donde el túnel El Volcán se desarrollará mediante tronaduras.....	7
Tabla 5-1. Coordenadas aproximadas de ubicación de los geófonos en superficie.....	8
Tabla 5-2: Límites máximos de vibración del terreno permitidos según norma de referencia.	11

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1. Proyecto Alto Maipo y área de estudio sector Túnel El Volcán.	4
Figura 4-2. Ubicación Monumento Natural El Morado y frentes de avance de excavación del Túnel El Volcán.	5
Figura 4-3. Detalle espacial de la intersección trazado del Túnel El Volcán y el límite del Monumento Natural El Morado, información contenida en la evaluación ambiental del PHAM.	6
Figura 5-1. Tramos para monitoreo de tronaduras Túnel El Volcán.	8
Figura 5-2. Ejemplo de Modelo de Devine y curvas de confiabilidad.	10

1 INTRODUCCIÓN

Alto Maipo SpA se encuentra en fase de desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM), ubicado en la comuna de San José de Maipo, región Metropolitana de Santiago, el cual contempla la construcción de dos centrales hidroeléctricas de paso y su respectiva red de túneles para el transporte de agua.

Actualmente, las excavaciones se desarrollan en distintos frentes de avance mediante tuneladoras (TBM, por sus siglas en inglés) y mediante excavación controlada por perforación y tronadura (D&B, por sus siglas en inglés). El presente documento detalla el programa de monitoreo de vibraciones y modelo de atenuación temprano que será desarrollado con el objeto de evaluar el nivel de vibraciones en superficie inducidas por actividades de D&B en el Túnel El Volcán.

2 OBJETIVOS

Debido a la naturaleza de las excavaciones que se llevan a cabo en un frente de trabajo del Túnel El Volcán, y para dar seguimiento ambiental del proyecto en cumplimiento a lo definido en la sección 7.3.5 de la Resolución Exenta [1], donde se detalla que se debe implementar un programa de monitoreo de vibraciones de tronaduras previo al inicio de la construcción del túnel bajo el Monumento Natural El Morado (MN El Morado), Alto Maipo ha solicitado a la empresa E-Mining Technology S.A. el desarrollo de un modelo de atenuación temprano de vibraciones en base al monitoreo de vibraciones asociadas a actividades de D&B. El objetivo de este modelo es la evaluación del nivel de vibraciones que se podrían desarrollar en la superficie del terreno, y validar el supuesto del nulo o imperceptible efecto asociado a las actividades de tronadura en el área del MN El Morado.

3 ALCANCE

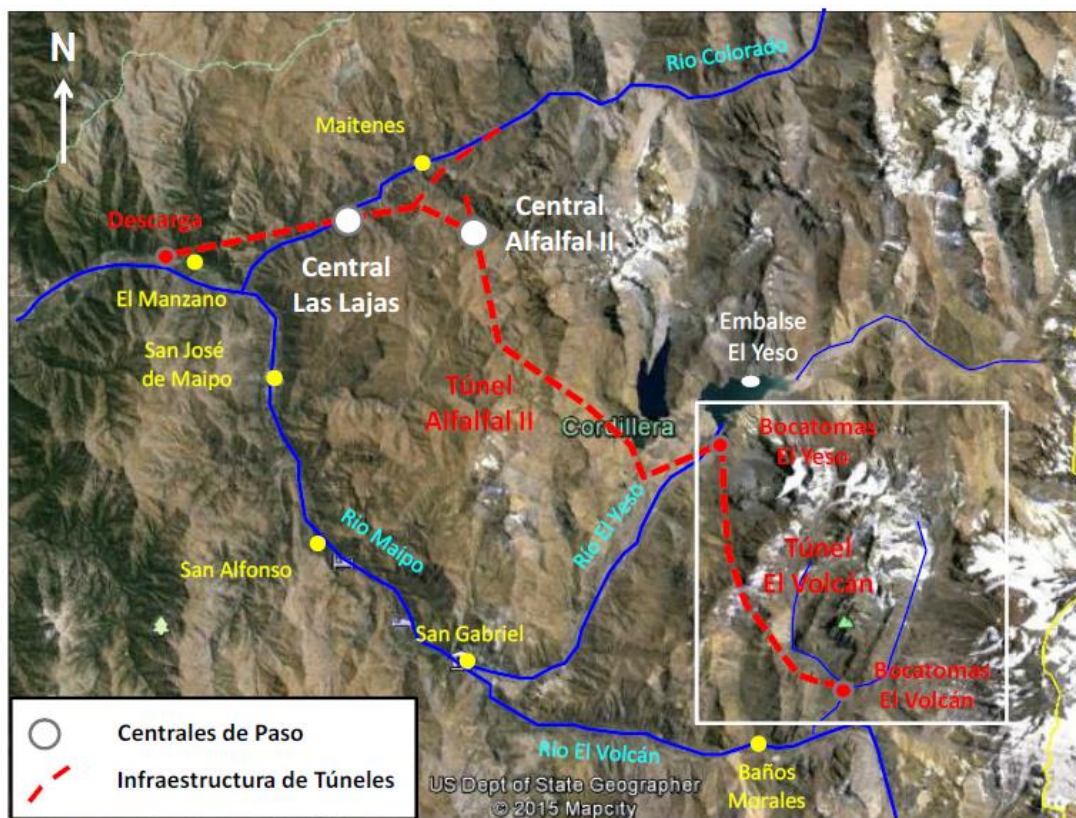
El programa considera el monitoreo de tronaduras en dos sectores del Túnel El Volcán, ubicados dentro de los dos primeros kilómetros de construcción del frente de D&B (km 0.5 y km 2.0). En cada tramo se realizará el monitoreo de vibraciones durante un período de un mes, mediante la utilización de sensores instalados tanto en superficie como dentro del túnel.

Con la información recolectada mediante el programa de monitoreo de vibraciones, se desarrollará un modelo de atenuación temprano para cada tramo, que servirá para estimar el nivel de vibraciones en la superficie del terreno producto de las actividades de D&B ejecutadas dentro del Túnel.

4 ANTECEDENTES GENERALES

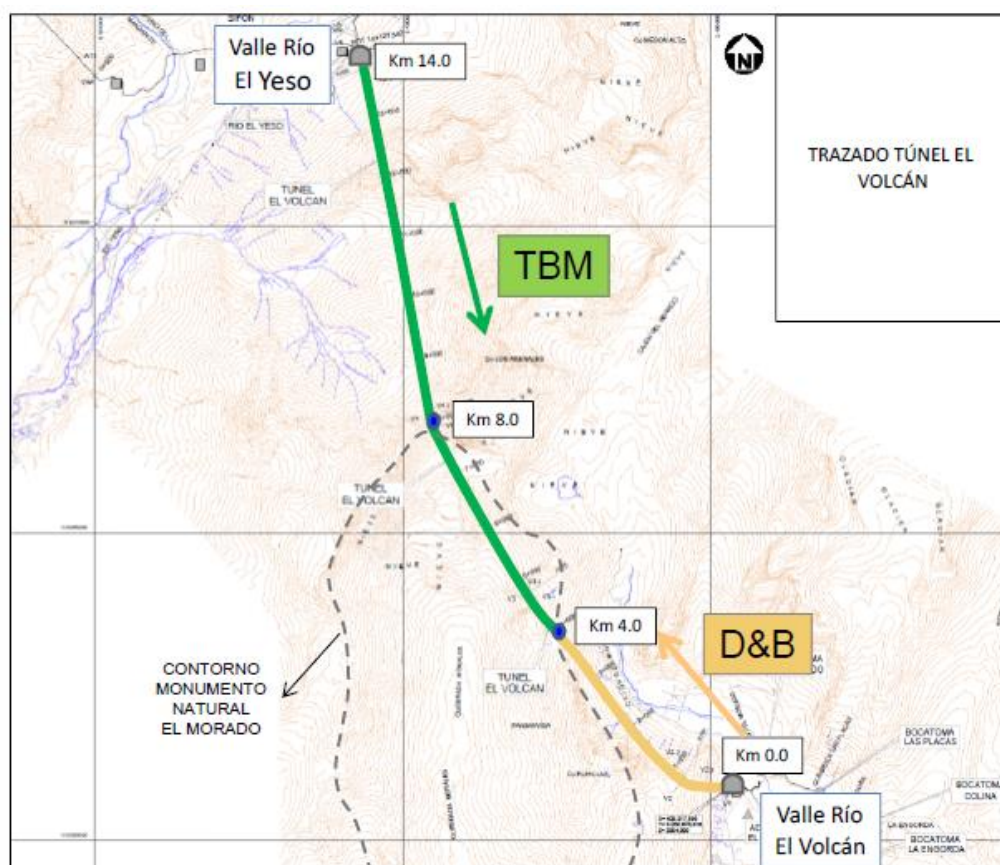
El proyecto hidroeléctrico Alto Maipo se ubica en el sector del Cajón del Maipo, al sureste de Santiago, Región Metropolitana, y contempla la construcción de dos centrales hidroeléctricas de paso y su red asociada de aproximadamente 70 km de túneles, que servirán para el transporte de agua desde bocatomas de captación hasta su posterior descarga en el río Maipo. En la Figura 4-1 se muestra la ubicación del proyecto y se detalla el área de estudio correspondiente al Túnel El Volcán dentro del cuadro blanco.

Figura 4-1. Proyecto Alto Maipo y área de estudio sector Túnel El Volcán.



El Túnel El Volcán constituye el primer tramo del sistema de colección y transporte de agua hacia la futura central hidroeléctrica Alfalfal II, uniendo los valles del río El Volcán (km 0) y río El Yeso (km 14). Su construcción se desarrolla en dos frentes de trabajo. El primer frente se desarrolla mediante D&B desde el Portal V1 (Coordenadas Datum WGS 84 Huso 19S: 405.128,49 E; 6.260.518,39 N) en el valle del río El Volcán; mientras que el segundo frente se desarrolla mediante TBM desde el Portal V6 en el valle del río El Yeso. Aproximadamente, entre el km 4.0 al km 8.0, el túnel El Volcán pasará bajo al Monumento Natural El Morado, y la excavación del túnel en este tramo se realizará mediante TBM. Los frentes de avance, su respectivo método de excavación y el M.N. El Morado se muestran a modo de esquema en la Figura 4-2.

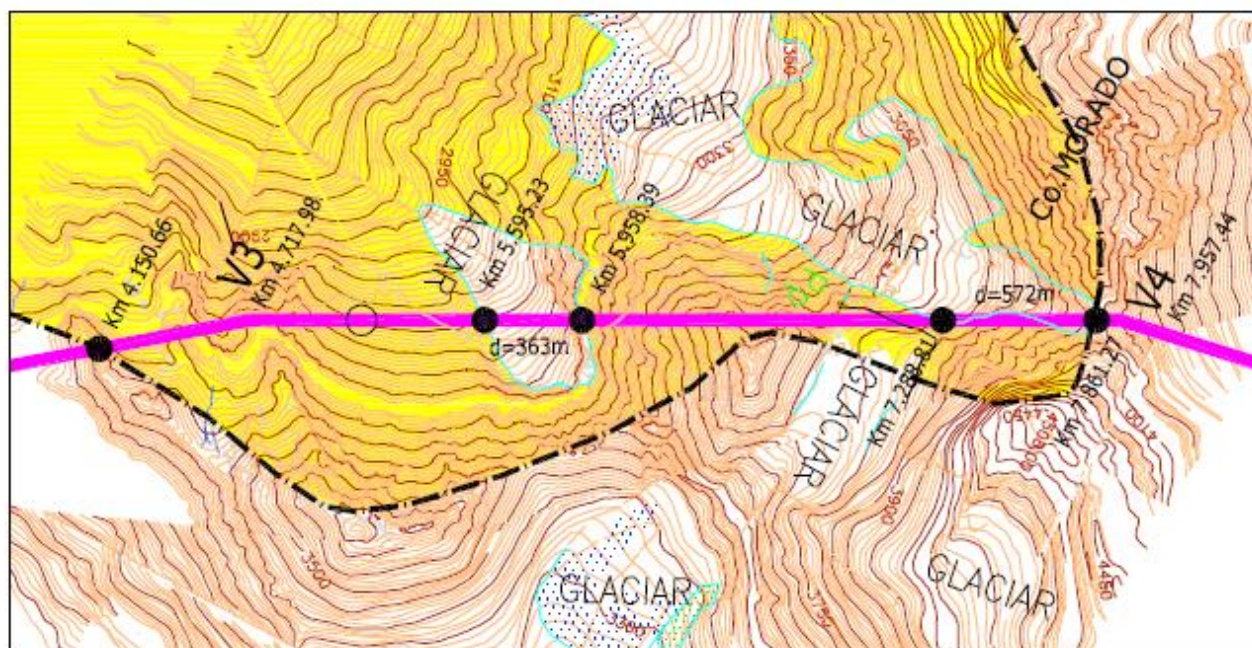
Figura 4-2. Ubicación Monumento Natural El Morado y frentes de avance de excavación del Túnel El Volcán.



De acuerdo a la CONAF [2], el M.N. El Morado contempla una superficie de 3.009 ha, y está constituido por un valle limitado en tres lados por cerros con alturas de hasta 5.000 m.s.n.m. El principal cauce de agua existente corresponde al estero Morales, un torrente que nace en las estribaciones de los cerros El Morado (5.060 m.s.n.m.) y San Francisco (4.345 m.s.n.m.), producto de los deshielos de los glaciares y nieves. El MN El Morado cuenta con dos glaciares principales, el Glaciar San Francisco y Glaciar Mirador El Morado, los que debido a su comportamiento de retroceso y deshielo glaciar, forman la Laguna El Morado a 2.400 m.s.n.m.

En la Figura 4-3 se muestra con mayor detalle, la intersección del trazado del Túnel El Volcán del PHAM y el límite del Monumento Natural El Morado. Cabe señalar que esta información se ha obtenido de los antecedentes contenidos en la evaluación ambiental del PHAM¹.

Figura 4-3. Detalle espacial de la intersección trazado del Túnel El Volcán y el límite del Monumento Natural El Morado, información contenida en la evaluación ambiental del PHAM.



¹ Plano AM-PL-TE-0018_REV_0 del Apéndice 1, Anexo 3 del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Similar información contenida en el Plano Anexo 8 de la Adenda 1 del proceso de evaluación ambiental del PHAM.

Considerando lo anterior, en la siguiente tabla se entregan las coordenadas aproximadas de los vértices del trazado del túnel El Volcán, en el sector que se desarrollará mediante tronaduras (D&B), correspondientes al tramo desde el Portal V1 (Km 0,0) al punto de intersección del trazado y el límite del M.N. El Morado (Km 4.150,66).

Tabla 4-1. Coordenadas aproximadas del sector donde el túnel El Volcán se desarrollará mediante tronaduras.

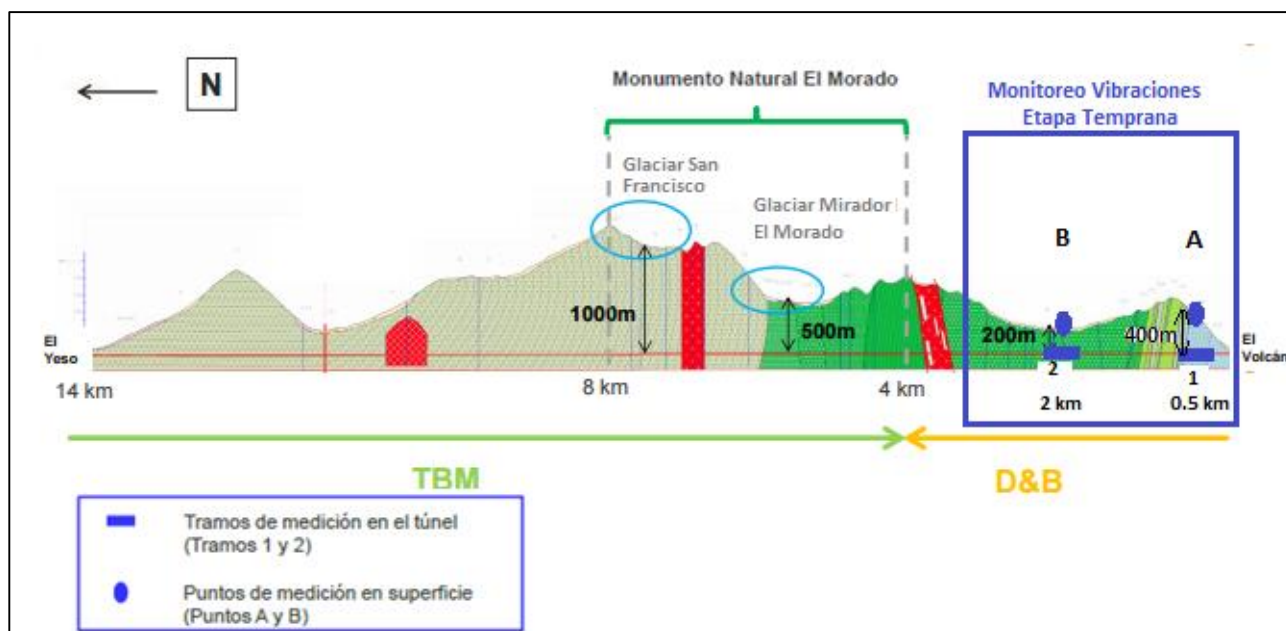
Vértices	Coordenadas (Datum WGS84, Huso 19S)	
	Este	Norte
V1	405.128,49	6.260.518,39
V2	404.311,82	6.260.562,01
V3	402.214,25	6.263.146,74

5 METODOLOGÍA

5.1 Lugar

El programa se desarrollará mediante el monitoreo de vibraciones superficiales y dentro del túnel en dos tramos del Túnel El Volcán, ubicados en el km 0.5 y km 2.0 del trazado, como se muestra en la Figura 5-1.

Figura 5-1. Tramos para monitoreo de tronaduras Túnel El Volcán.



En la siguiente tabla se entregan las coordenadas aproximadas de los dos geófonos superficiales (punto A y B Figura 5-1).

Tabla 5-1. Coordenadas aproximadas de ubicación de los geófonos en superficie.

Geófono	Coordenadas (Datum WGS84, Huso 19S)		Cota (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
Geófono en superficie punto A	404.822,86	6.260.605,30	2.692
Geófono en superficie punto B	403.534,69	6.261.519,58	2.798

5.2 Procedimiento y análisis

Para la ejecución del programa de monitoreo, en cada tramo se instalará instrumental de medición de vibraciones tanto en superficie como dentro del túnel. En la superficie del terreno (puntos A y B en la Figura 5-1) se instalará un arreglo triaxial de geófonos anclado a un afloramiento rocoso, mientras que al interior del túnel (puntos 1 y 2 en la Figura 5-1) se instalarán tres arreglos triaxiales. Estos sistemas estarán conectados a dataloggers autónomos (Geocintela) para la recolección de datos, y registrarán vibraciones durante un período de un mes.

Al interior del túnel, los arreglos triaxiales de geófonos se instalarán empotrados (cementados) en la pared de roca, ubicados a distintas distancias con respecto al frente de tronadura. Los arreglos se instalarán a una distancia aproximada de 30 m, 90 m y 150 m del frente, con el objeto de obtener la curva de atenuación de la amplitud de las vibraciones con la distancia.

Con el procesamiento de la información de monitoreo en cada tramo dentro del túnel se podrá construir y calibrar un modelo de atenuación a escala intermedia-lejana, el cual se validará con la información del monitoreo realizado en la superficie del terreno. De esta forma, se obtendrá el modelo de campo lejano para predecir los niveles de vibraciones de las ondas que se propagan dentro del macizo rocoso, y así estimar el nivel de vibraciones en superficie suponiendo un medio de transmisión de ondas homogéneo e isótropo.

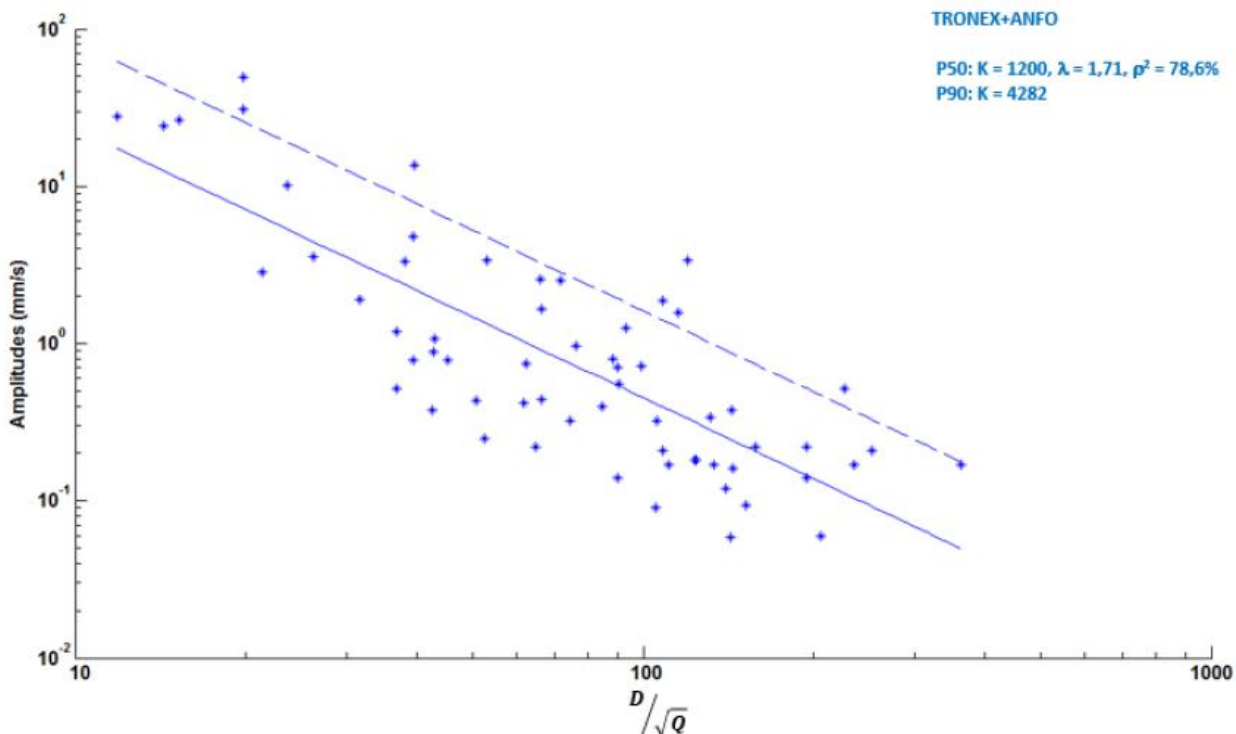
El modelo de campo lejano se determinará mediante el modelo de Devine, el cual estima la velocidad peak de partícula (PPV, por sus siglas en inglés) a una distancia de la fuente de tronadura dada una carga de explosivo detonada en forma simultánea. El PPV es un indicador de la cantidad de movimiento a la que una partícula es sometida por vibraciones y se puede estimar en base a la siguiente expresión:

$$PPV = K \left(\frac{\sqrt{Q}}{D} \right)^{\lambda} \text{ (mm/s)}$$

Donde Q es la carga de explosivos simultánea (kg), D la distancia a la fuente de tronadura (m), y K y λ son parámetros a determinar que dependen del medio y condición de la tronadura.

Con el modelo de campo lejano ya calibrado y a partir de la información de monitoreo, se puede entonces determinar la confiabilidad del modelo, obteniéndose resultados como el presentado en la Figura 5-2.

Figura 5-2. Ejemplo de Modelo de Devine y curvas de confiabilidad.



5.3 Fecha de ejecución de la actividad

Dado el avance actual de las excavaciones desde el frente de D&B, se han programado los trabajos de terreno durante el mes de Diciembre de 2015 (km 0.5) y Septiembre de 2016 (Km 2.0), donde se instalarán los geófonos con sus respectivos dataloggers. Para cada tramo, la captura de la información registrada en los dataloggers se realizará en forma semanal durante el mes de registro de vibraciones.

5.4 Frecuencia de medición

Se considera el monitoreo de tronaduras por un período de un mes, estimándose el registro de al menos doce tronaduras en cada tramo.

5.5 Normativa aplicable

De conformidad con lo dispuesto en los antecedentes de evaluación ambiental del PHAM², los niveles de vibraciones por tronaduras se contrastarán con los máximos permitidos por 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”. Para regular la vibración de terreno máxima aceptable, esta norma establece los valores de velocidad de partículas máxima permitida (peek) para distintas distancias, además de una fórmula para determinar los máximos de carga considerando la distancia a los receptores cercanos.

En la siguiente tabla se entregan los valores límite de velocidad de partículas máxima permitida según la norma de referencia, expresados en pulgadas por segundo, para distintas distancias expresadas en pies.

Tabla 5-2: Límites máximos de vibración del terreno permitidos según norma de referencia.

Distancia (D) del sitio de la explosión (pies)	Velocidad de partícula máxima permitida (V máx.) (pulgadas/segundos)
0 a 300	1,25
301 a 5.000	1,00
5.0001 en adelante	0,75

² Informe Consolidado de Evaluación, Capítulo IX Plan de seguimiento de las variables ambientales, Sección 1.2 Programa de Monitoreo de Ruido y Vibraciones en la Etapa de Construcción, Parámetros de Cumplimiento: “Para evaluar el ruido producido por las tronaduras se contrastarán los niveles de ruido en situación con Proyecto con los máximos permitidos por 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”).”.

5.6 Medidas en caso de superación de la norma

Si bien no se anticipan superaciones de la norma de referencia, con el objeto de responder a lo solicitado, se señala que, conforme lo establecen los antecedentes de evaluación ambiental del PHAM, en el caso de superación, se dará cumplimiento a lo establecido en la evaluación ambiental del Proyecto³.

Sin perjuicio de lo anterior, en caso de superación de la norma cómo medida correctiva se propone la modificación del diagrama de disparo, considerando lo siguiente:

- Redistribución de las cargas por tiempos de salida utilizando una sola serie (LP), por lo que se disminuye la cantidad de carga en tiempos simultáneos.
- Redistribución de las cargas por tiempos de salida utilizando dos series (MS y LP), por lo que se disminuye aún más la cantidad de carga en tiempos simultáneos.

En el escenario que las medidas antes señaladas no sean suficientes, la alternativa a seguir será disminuir aún más las cargas por tiempos de salida, utilizando detonación electrónica.

6 INFORMES

El programa de monitoreo ha contemplado un plazo tentativo de 14 meses de duración, con inicio durante el mes de Diciembre de 2015 y término en Febrero de 2017, lo que se ajustará conforme el avance real de la excavación en el Túnel El Volcán. Dado lo anterior, el programa

El programa considera la elaboración de informes de documentación de las actividades de terreno, procesamiento de la información e informe consolidado final.

³ Informe Consolidado de Evaluación del PHAM, Sección 1.2 Programa de Monitoreo de Ruido y Vibraciones en la Etapa de Construcción, “Cuando en un monitoreo se detecte la superación de la norma de referencia, el especialista acreditado que realice el monitoreo recomendará de inmediato medidas adicionales de mitigación que permitan minimizar el impacto, las cuales serán descritas y evaluadas en el informe de monitoreo correspondiente al periodo.”

7 REFERENCIAS

- [1] Resolución Exenta N° 256/09. República de Chile, Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago, Santiago, 30 de Marzo de 2009.
- [2] Documento de Trabajo N°256 Plan de Manejo Monumento Natural El Morado. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal Región Metropolitana, Abril 1997.