

PROYECTO VALENTINES

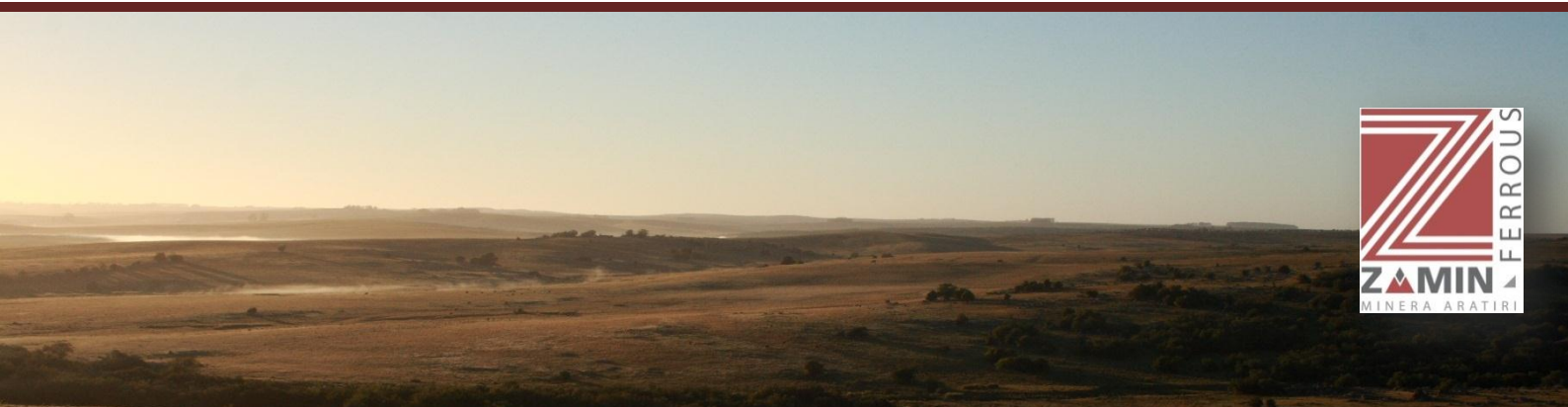
-Minera Aratirí-

Extracción y Beneficiamiento de Mineral de Hierro, Mineroducto y
Terminal Portuaria

Solicitud de Autorización Ambiental Previa

ANEXO E - EIA-AIRE

E.3 - Vibraciones causadas por voladuras



MINERA ARATIRÍ

PROYECTO VALENTINES

Extracción y beneficiamiento de mineral de hierro, mineroducto y terminal portuaria



Vibraciones Causadas por Voladuras

Setiembre 2011 – Autor: Ing. Dennis Cahill

Vibraciones causadas por voladuras

Índice de Contenidos

1. Resumen ejecutivo.....	3
2. Introducción.....	3
3. Velocidad Pico de Partícula y Frecuencia.....	3
4. Modelos utilizados para el cálculo.....	4
5. Reglamentación Nacional	4
6. Reglamentación Internacional	4
7. EEUU - USBM RI8507	5
8. Valores representativos del USBM RI8507	5
9. Efectos psicológicos de las vibraciones en personas	7
10. Características de las voladuras.....	7
11. Zonas de exclusión 1500	8
12. Calculo de VPP y valores esperados en los límites de las zonas de exclusión	8
13. Conclusiones	9
14. Medidas preventivas adicionales.....	10
15. Bibliografía	10

Índice de Figuras

Figura 1 – Daños causados en función de la frecuencia y la velocidad pico de partícula	5
Figura 2 Velocidad Pico de Partícula aceptable (pulgadas/s)	6
Figura 3 - Velocidad Pico de Partícula aceptable (mm/s)	6
Figura 4 - Respuesta humana a las vibraciones	7
Figura 5 - Velocidad Pico de Partícula (mm/s)	8
Figura 6 - Velocidad Pico de Partícula (pulgadas/s).....	9

1. Resumen ejecutivo

La extracción de mineral requiere realizar voladuras con explosivos y estas producen vibraciones que se propagan por el subsuelo. La velocidad pico de partícula (VPP) a distintas frecuencias es el parámetro utilizado internacionalmente para predecir los efectos causados sobre estructuras cercanas.

Las normas de la U.S. Bureau of Mining recomiendan que la VPP no supere los 50 mm/s de manera de no causar daños.

Los cálculos realizados siguiendo estas normas muestran que, para las distancias establecidas como seguras y el plan de voladuras propuesto para el proyecto Aratirí, la VPP no superará los límites internacionales a distancias fuera del área de exclusión.

Puede concluirse por lo tanto que las vibraciones no causarán daño alguno a estructuras fuera del área de exclusión.

2. Introducción

Para la extracción del mineral será necesario realizar voladuras en las áreas de minería y estas producen inevitablemente vibraciones. Las vibraciones que se generan se propagan a través del subsuelo y disminuyen su intensidad en función a la distancia recorrida desde el punto de voladura.

2.1 Efectos de vibraciones causadas por voladuras

Internacionalmente se han establecido límites máximos admisibles a los niveles de vibración generados por voladuras en la minería y la industria de la construcción, con el propósito de evitar daños a las estructuras circundantes. Estos límites se han determinado mediante análisis estadísticos de mediciones y comprobación de daños efectuados en casos reales y se han incluido en la normativa (ver **USBM RI8507**).

3. Velocidad Pico de Partícula y Frecuencia

Las voladuras producen vibraciones en el subsuelo que pueden causar daños en las estructuras circundantes debido a los esfuerzos y deformaciones de tipo dinámico que se superponen a las estáticas.

Los estudios teóricos muestran que la velocidad a la que se desplazan las partículas en el subsuelo es la variable determinante de la magnitud de los esfuerzos a los que son sometidas las estructuras (Persson, 1994).

Las deformaciones causadas por vibración de una estructura dependen también de sus frecuencias naturales de resonancia.

Por ende la variable utilizada internacionalmente para la predicción y medición de los efectos causados por voladuras es la Velocidad Pico de Partícula (VPP) a distintas frecuencias.

Basado en múltiples mediciones y observaciones las industrias de la construcción y minera han establecido los valores admisibles de VPP que se utilizan internacionalmente como guía para la prevención y control de daños causados por vibraciones.

En los casos de voladuras la planificación adecuada de la cantidad de explosivos utilizados y el retardo entre detonaciones permite limitar la VPP a niveles que no produzcan daño a las estructuras circundantes a la zona de minería.

El valor indicativo que más se ha implantado es el de 2 pulg/s (50.8 mm/s), que se fundamenta en observaciones estadísticas (Bollinger, 1980; Persson et al., 1994), que establecieron, para diversos tipos de suelos, valores de la velocidad de partícula pico y sus efectos asociados.

4. Modelos utilizados para el cálculo

Para el cálculo teórico de la velocidad pico de partícula se ha utilizado la siguiente fórmula elaborada por Persson en 1994:

$$PPV = 242 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$$

Donde:

PPV es la velocidad pico de partícula en pulgadas/s.

D es la distancia de la estructura a la voladura en pies.

W es la máxima cantidad de explosivos por retardo en libras.

En el sistema métrico la fórmula se traduce en:

$$VPP = 1729 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$$

Donde:

VPP es la velocidad pico de partícula en mm/s.

D es la distancia de la estructura a la voladura en m.

W es la máxima cantidad de explosivos por retardo en kg.

5. Reglamentación Nacional

A la fecha no existe reglamentación nacional referente a voladuras. Se ha optado por lo tanto por utilizar la normativa establecida por el USBM que es ampliamente utilizada en la industria minera.

6. Reglamentación Internacional

Internacionalmente se han aceptado para el manejo de voladuras las siguientes normas establecidas por la U. S. Bureau of Mining:

EEUU - Federal	USBM RI8507	1980
EEUU - Federal	OSM 817.67	1983

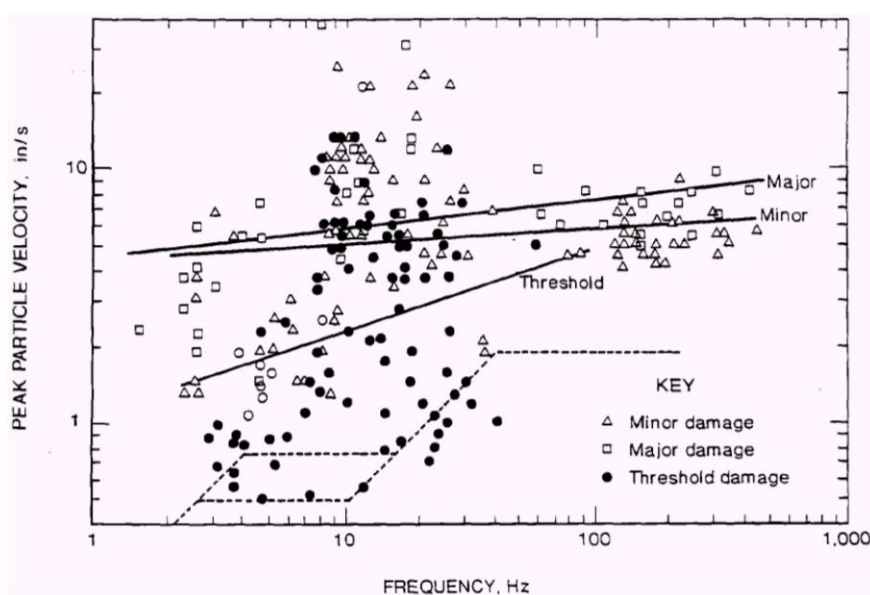
7. EEUU - USBM RI8507

La U.S. Bureau of Mines ha publicado un reporte de investigaciones sobre la respuesta de estructuras y daños producidos por vibraciones del suelo causadas por voladuras en minas a cielo abierto, identificado como USBM RI8507.

Los resultados de esta investigación se han adoptado internacionalmente como límites muy conservadores para evitar el daño estructural y cosmético en estructuras producido por voladuras.

Las variables medidas en este estudio fueron la velocidad pico de partícula y la frecuencia asociada. Los resultados se resumen en la siguiente gráfica tomada de Siskind et al. (1993)

Figura 1 – Daños causados en función de la frecuencia y la velocidad pico de partícula



8. Valores representativos del USBM RI8507

Los límites de velocidad resultante de la USBM RI8507 diferencian valores para viviendas con paredes con yeso y paredes aligeradas, a estas últimas se les permite mayores velocidades resultantes en el rango de frecuencias aproximadamente entre 4 y 11 Hz.

Las edificaciones en Uruguay son realizadas con métodos constructivos más robustos que los analizados por esta norma (mampostería vs. paredes de yeso) por lo cual puede concluirse que la adopción de estos valores representa en Uruguay una posición conservadora.

Las siguientes figuras grafican las velocidades de vibración aceptables según USBM RI8507.

Figura 2 Velocidad Pico de Partícula aceptable (pulgadas/s)

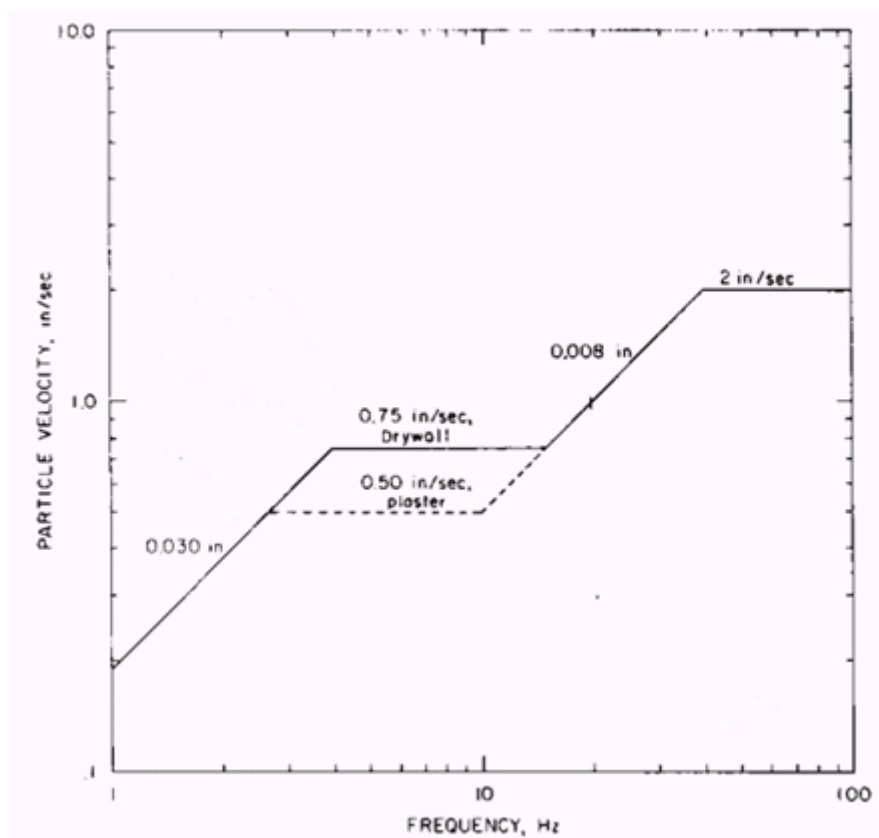
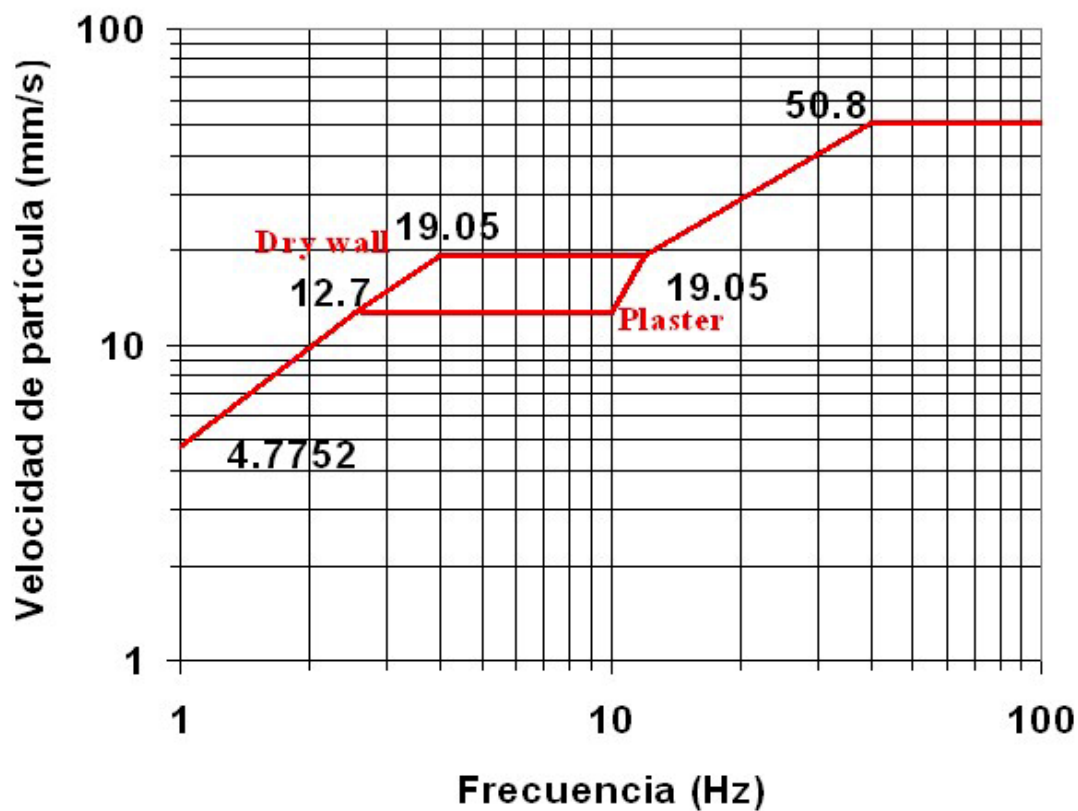


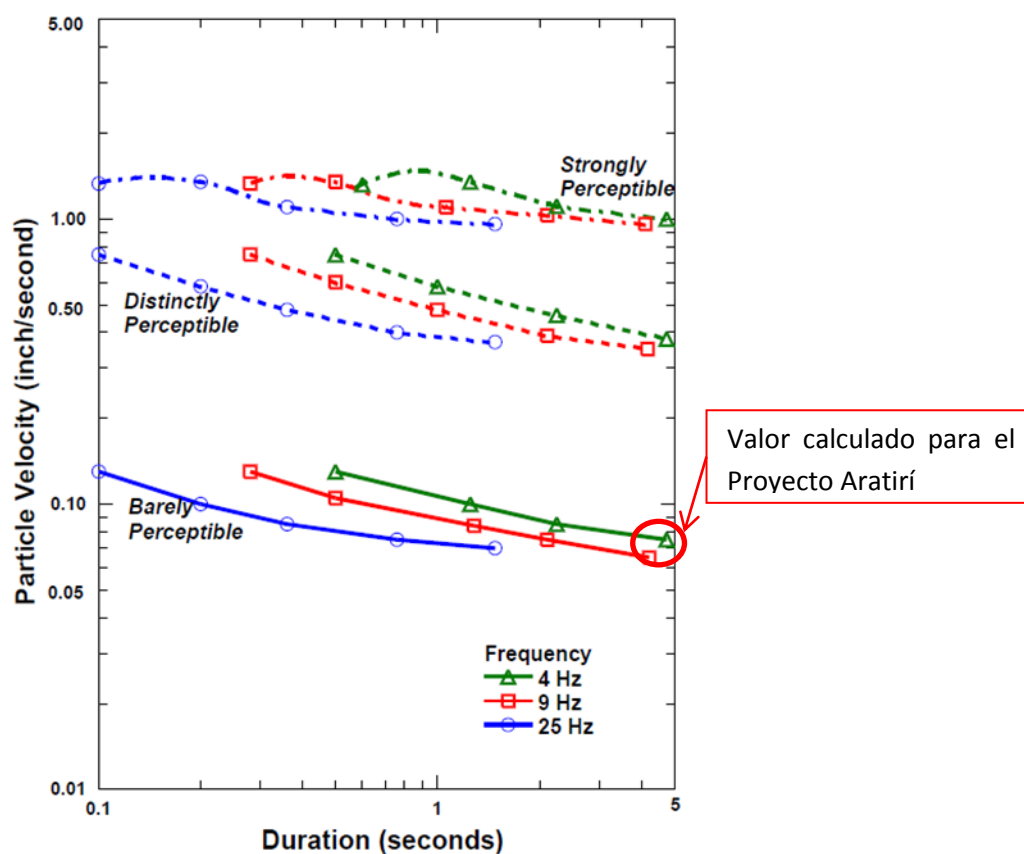
Figura 3 - Velocidad Pico de Partícula aceptable (mm/s)



9. Efectos psicológicos de las vibraciones en personas

La Figura 4, tomada de los estudios de Wiss y Parmelee, muestra la respuesta humana a las vibraciones relativas a la VPP.

Figura 4 - Respuesta humana a las vibraciones



10. Características de las voladuras

Las voladuras en la Minera Aratirí se realizarán de acuerdo con las siguientes características:

Parámetros de voladuras:

- 480 kg de explosivos serán utilizados por cada retardo
- 200 retardos por evento de voladura
- 5 segundos de duración por retardo
- 1 evento de voladura (promedio) por día en Las Palmas
- 1 evento de voladura (promedio) por día en cada mina abierta del Sector Sur
- Se realizarán voladuras 365 días/año

11. Zonas de exclusión 1500

Para el proyecto minero Aratirí se ha adoptado zonas de exclusión entorno a las canteras de 1500 m dedicada exclusivamente a la actividad minera. Dentro de esta zona no existirán otras construcciones que las destinadas a la minería y circularan en ella solamente los operarios de Minera Aratirí.

Las fuentes de vibraciones se sitúan en las áreas de minería donde se realizaran las voladuras. Por lo tanto la distancia mínima a la cual puede encontrarse una edificación expuesta a vibraciones es 1500 m.

12. Calculo de VPP y valores esperados en los límites de las zonas de exclusión

El cálculo de la VPP con las cargas explosivas previstas en el plan de voladuras mediante la aplicación de la formula mencionada se muestra en la siguiente grafica a diferentes distancias del punto de voladura:

Figura 5 - Velocidad Pico de Partícula (mm/s)

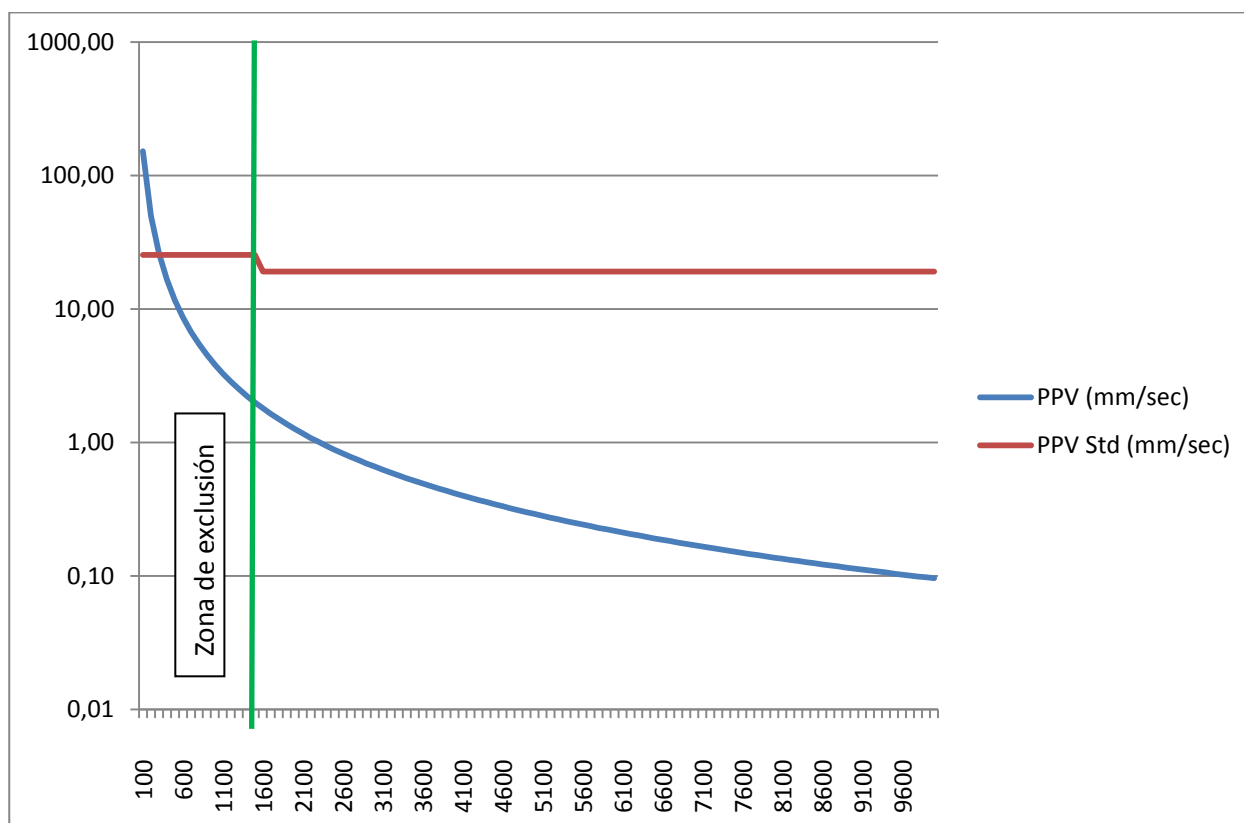
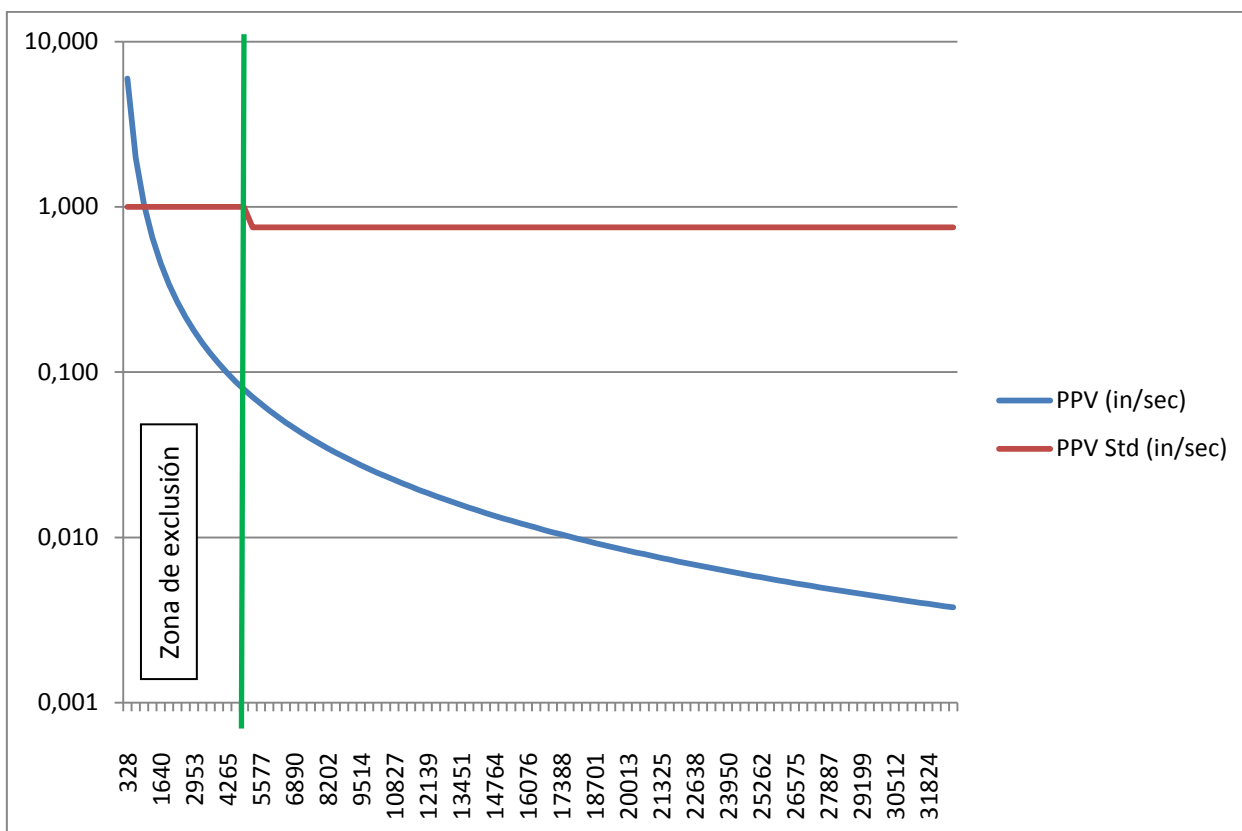


Figura 6 - Velocidad Pico de Partícula (pulgadas/s)



En particular a los 1500 m los resultados son:

$$\text{VPP a los 1500 m} = 2 \text{ mm/s}$$

13. Conclusiones

Efecto sobre estructuras fuera del límite de exclusión:

- El cálculo de la VPP con las cargas explosivas previstas en el plan de voladuras mediante la aplicación de la fórmula mencionada produce el siguiente resultado a los 1500 m:

$$\text{VPP a los 1500 m} = 2 \text{ mm/s}$$

- La comparación de este valor con los valores graficados por la USBM RI8507 (50mm/s) permite asegurar que las vibraciones no afectarán las estructuras que se encuentren a 1500 m o más de la zona de voladura.

Efectos psicológicos fuera del límite de exclusión:

- A la distancia de exclusión la velocidad pico de partícula calculada es .079 pulgadas/s.
- La comparación de este valor con los valores graficados en la gráfica correspondiente permite asegurar que las vibraciones no producen efectos psicológicos sobre personas que se encuentren a 1500 m o más de la zona de voladura.

14. Medidas preventivas adicionales

Línea Base: Los valores utilizados para el cálculo de vibraciones son conservadores. No obstante considerando que las construcciones en la zona son, en la mayoría de los casos, antiguas y en mal estado de conservación, se recomienda inspeccionar y documentar las condiciones de todas las edificaciones afectadas previo al comienzo de las obras y de la operación minera.

Monitoreo continuo: Es práctica común realizar monitoreo continuo de las vibraciones en puntos clave para optimizar las voladuras sin superar los valores aceptables. El mismo se realiza instalando aparatos especializados en puntos críticos.

Técnicas de Reducción de las Vibraciones: En base a las medidas de niveles de vibración resultantes los especialistas en voladuras planifican detalladamente en cada caso las voladuras de forma tal que minimicen los efectos causados sobre las estructuras y las personas. En particular es necesario dimensionar adecuadamente la carga, utilizar detonadores secuenciadores apropiados, ajustar la secuenciación a las frecuencias naturales del terreno en particular, ceñirse estrictamente a las técnicas del buen arte para realizar voladuras seguras y de buena calidad que generen el mínimo de vibraciones razonable.

15. Bibliografía

RI 8507 Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting, Siskind, U.S. Bureau of Mines.

EFFECTO DE LAS VIBRACIONES GENERADAS POR VOLADURAS EN MINAS SOBRE EDIFICACIONES RESIDENCIALES DE MAMPOSTERÍA SIMPLE EN COLOMBIA Daniel Ruiz Valencia, Camilo Otálora Sánchez, Jorge A. Rodríguez Ordóñez.

REGLAMENTACIÓN EN MANEJO DE VIBRACIONES INTI CIRSOC Instituto Nacional de Tecnología Industrial Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles Argentina.

PROBLEMÁTICA DE LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS.MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL Jesús A. Pascual de Blas – Unión Española de Explosivos, S.A.