

“Análisis Comparativo de la Reducción de Vibraciones en la Cantera de Cerro Blanco, durante Voladuras; Utilizando Carga Tradicional de Explosivo y el Uso de Taponex”

Andrea Geanine Pérez Rodríguez (1), Gastón Proaño Cadena (2)

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (1) (2)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) (1) (2)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador (1) (2)

andpere1@espol.edu.ec (1), gproano@espol.edu.ec (2)

Resumen

Durante la explotación de roca caliza principal componente del cemento, material de construcción; en la actividad minera se presentan dos etapas bien definidas y primordiales, la perforación y voladura. En base a nuevas tendencias, con el objetivo de la optimización de estas etapas, se pretende lograr múltiples diseños hasta obtener la mejor predicción de cotos y curva de fragmentación, comprobando en el terreno mediante observaciones y mejorándolo continuamente. En el presente trabajo investigativo, se estudiará la afectación de las vibraciones producidas por las voladuras, de acuerdo al tipo de carga utilizada en la columna de perforación y a la influencia generada por el accesorio utilizado en las voladuras como es el Taponex. Ya que operacionalmente el excesivo movimiento vibratorio del macizo rocoso durante las voladuras, ocasiona rupturas innecesarias, que posteriormente generan fragmentaciones variadas pero no aplicables para el proceso en el cual se utiliza la roca explotada, afectando directamente a la producción. De manera general el presente trabajo no pretende solucionar un problema existente; más bien la idea central es de analizar comparativamente la influencia que produce la utilización del Taponex en el momento de la voladura en términos de vibración.

Palabras Calves: Voladuras, Fragmentación, Taponex.

Abstract

During the exploitation of limestone rock principal component of the cement, material of construction; in the activity mining showing two stages well-defined and primordial, the drill and blast. In base to new tendency with objective of the optimization of these stages, pretend to get multiple design until get the best prediction of enclosed and curves of fragmentation, proving in the land intervening observations and improvement continuity. In the present work investigating, will study the affectation of the vibrations produced for the blast, resolution the type of load utilized in the column of perforation and to the influence generated for the accessory utilized in the blast as is the Taponex. Since operation the excessive movement vibratory the compact rocky during blast, causing unnecessary ruptures, that posteriori generate fragmentations varied but not applicable for the process in the as utilize the rock exploited, affecting directly to the production. Manner general the present work not pretend to solve a problem existing; more good the idea central is of analyze comparative the influence that produced the utilization of the Taponex in the moment of the explosion in terms of vibration.

Keywords: Blast, fragmentation, Taponex.

1. Introducción

Para poder controlar la fragmentación, deben aplicarse correctamente dos principios importantes. La cantidad adecuada de energía debe ser aplicada en lugares estratégicos dentro del macizo rocoso y debe liberarse también en un tiempo preciso para permitir que ocurran las interacciones adecuadas, la distribución de la energía es dividida dentro de dos áreas distintas. Primero debe existir suficiente energía, utilizando la cantidad adecuada de explosivo el cual debe ser colocado en una configuración geométrica donde la energía se aproveche al máximo para la fragmentación. Esta configuración geométrica es llamada, la plantilla de voladura. Segundo si el tiempo de iniciación no es el correcto, pueden ocurrir diferencias en la fragmentación, exagerada vibración, golpe de aire, roca en vuelo y sobre-rompimiento trasero. Pero forme a pasado el tiempo han existido muchos métodos empíricos que han aparecido durante décadas, métodos de diseño que proponen como utilizar esta energía mas eficientemente. La industria minera hoy en día cuenta con un accesorio llamado TAPONEX que permite mantener confinada unos milisegundos más, la energía generada por la columna explosiva para lograr fragmentar mejor la roca en la zona del taco, permitiendo apreciar beneficios como son reducción de la roca en vuelo, cantidad de material explosivo utilizado y reducción de vibración por voladuras.

2. Características

2.1. Definición

El Taponex es un accesorio de plástico (Polietileno) con un diseño particular que permite crear cámaras de aire en un pozo de voladura, su exclusivo diseño permite ser instalado sin la necesidad de aire comprimido, su forma es auto soportante.

Esta nueva técnica utiliza un accesorio de diseño único, con una cámara de aire en el fondo del pozo y una masa predeterminada de detritus encima del tapón. A esta combinación se le denomina Power Deck™ en inglés ó Taponex para Latino América.

2.1. Descripción

Accesorio comercializado por Enaex S.A. bajo licencia de International Technologies (INTEC USA.), especialmente diseñado para asegurar la sustentación de la columna de material utilizado como taco dentro de perforaciones desde 6 3/4" a 12 1/4" de diámetro; evitar su proyección durante la Voladura y mejorar los resultados de fragmentación y desplazamiento.

Con la utilización de TAPONEX es posible acortar el largo del taco sin peligro de eyectarlo, para permitir que las ondas de choque y gases generados durante la detonación.

2.2. Componentes

El Elevador de Energía TAPONEX está compuesto por [7] el recipiente polietileno, una cuerda polipropileno, y una vara de madera o plástico de 100 cm de longitud.

La longitud de la cuerda dependerá de la longitud del taladro donde se instalará el TAPONEX.

Para el caso de colocarlo en el fondo de los taladros el TAPONEX consiste de un recipiente plástico y una vara de madera o plástico de 1 metro de longitud en la mayoría de los casos, ésta longitud dependerá de la longitud de la cámara de aire que se elija dejar en el fondo.



Figura 1. Esquema de un Taponex junto a un tubo de plástico

2.3. Fundamentos teóricos

Cuando el TAPONEX es usado correctamente en conjunto con detonadores electrónicos de precisión, ahorros sustanciales pueden ser alcanzados tanto en los costos de perforación, voladura, carguío y transporte.

Los resultados del estudio de Blasting Analysis International, Inc. (BAI) con la realización de pruebas a escala total y taladro por taladro para determinar como trabaja el Sistema Tensional de Voladura demostraron que:

- Reducción o eliminación de la sobre perforación en la perforación.
- Reducciones en las vibraciones hasta en un 33%.
- Reducción del consumo de explosivos entre 16 y 25%.
- Mejoramiento de la fragmentación hasta en un 25%.

El sistema TAPONEX está especialmente diseñado para asegurar la creación y aplicación de ondas de Tensión en el medio rocoso circundante al taladro cargado con explosivos, dando como origen el método de Voladura de Tensión.

Su peculiar diseño producto de numerosas pruebas en campo y su construcción en plástico de alta

resistencia, aseguran que el TAPONEX quede finalmente en la posición correcta.

Esto garantiza una instalación simple y rápida, principalmente en los siguientes casos: sobre el explosivo en la zona del Taco, como cámara de aire; y/o bajo el explosivo, para control del piso en una voladura.

Adicionalmente puede ser usado en hoyos secos y saturados con agua, además de poder sostener columnas de explosivos o material inerte con absoluta seguridad, así como sellar los taladros evitando la eyección de los tacos, e impidiendo la contaminación de los explosivos con material del taco en taladros saturados con agua.

2.4. Principales aplicaciones del taponex

Se destacan las orientadas a [7]:

- Reforzar el comportamiento del taco.
- Formar cámaras de aire en pozos secos.
- Formar cámaras de agua en pozos saturados de agua.
- Reducir el Air Blast u Onda Expansiva de la voladura.
- Evitar la contaminación de columnas de emulsión con el material del taco.
- Reducir las vibraciones producidas por la voladura.
- Control del piso y reducción o eliminación del sobrerompimiento, lo que permite disminuir el largo de la perforación.
- Fragmentación más homogénea.
- La granulometría es más fina a pesar de la disminución del factor de carga.
- El sistema se ha utilizado en rocas de 80 MPa hasta 230 MPa.
- Se mantiene la misma malla, secuencia de salida y tipos de explosivo.

3. Marco geológico

3.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se localiza [6] al Noroeste de la ciudad de Guayaquil y está ubicada sobre el talud meridional de la cadena montañosa que es parte de la Cordillera Chongón-Colonche en el km 18 de la vía Guayaquil-Salinas. El área se encuentra comprendida entre los meridianos 80°15' y 80°0' de Longitud Oeste y entre los paralelos 2°10' y 2°20' de Latitud Sur, abarcando una superficie aproximada de 2450 Has. Esta integrada por la Hoja Topográfica 3487- II Chongón, editada por el Instituto Geográfico Militar.

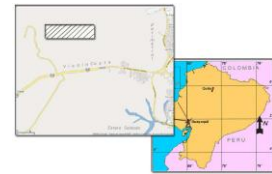


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio(fuente Holcim)

3.2. Información Geológica

3.2.1. Geología regional. La geología regional de la Cordillera Chongón Colonche, está dominada por vulcanitas básicas Jurásicas y sedimentitas del Cretáceo Terminal a Eoceno Terminal con series Cuaternarias indiferenciadas, aluviones y coluviones.

La Cordillera Chongón-Colonche es un monoclinial buzante al SSW, cuya secuencia estratigráfica yace sobre un basamento jurásico de lavas basálticas, tobas y brechas denominado Formación Piñón. Sobre dicho basamento, yace la Formación Cayo del Cretáceo Terminal, con cerca de 3000 metros de sedimentos siliciclásticos turbidíticos y volcánicos.

Formación Cayo (KTcg) se subdivide en 3 miembros que de base a techo estratigráfico son los Miembros Calentura, Cayo (sensu stricto) y Miembro Guayaquil. Sobre el Miembro Guayaquil (Kcg) yacen en su orden ascendente la Formación San Eduardo (Ese), la Formación Las Masas (Elm) y el Grupo Ancón (Ean).

Formación Guayaquil (KTcg) [Maastrichtiense a Paleoceno Tardío]. Constituye la parte superior del Grupo Cayo y aflora en la parte alta de la Cordillera Chongón Colonches, está constituida por una secuencia monótona de lutitas silíceas pardas a negras, lutitas tobáceas, y capas decimétricas de chert negro nodular y bandeado, tobas areniscas y lutitas físciles, con laminación planoparalela. Su espesor puede llegar a los 450 metros.

Formación San Eduardo (Ese) [Paleoceno Tardío a Eoceno Medio]. Conformado por una serie de calizas turbidíticas de aguas profundas (calizas clásticas, calcarenitas, calciruditas y calcilitas con chert nodular esporádico) [Vivar, 1994; Angeletti et al., 1980]. En el área de la concesión CENACA, la Formación San Eduardo se extiende de E a W a lo largo de 10 kilómetros, y ha sido subdividida en 4 unidades, llamadas, de base a techo estratigráfico como U4, U3, U2, U1.

Formación Las Masas (Elm) [Eoceno Medio – Eoceno Tardío]. En el área de estudio, esta formación está compuesta por una serie de limolitas decimétricas cálcico-montmorilloníticas con intercalaciones de

lutitas calcáreas y láminas milimétricas de areniscas de grano grueso a medio y lodolitas. La Formación Las Masas aflora muy bien a todo lo largo del yacimiento de CENACA en contacto concordante suprayaciendo la Unidad U-1 de la Formación San Eduardo. El espesor de la Formación Las Masas en el área varía de 35 a 60 metros, teniendo un promedio de 50 metros de espesor estratigráfico.

Grupo Ancón (Ean) [Eoceno Tardío]. Este grupo se ha dividido de una manera general en dos unidades diferentes, una inferior en donde predominan facies arcillosas (Ean-1) y una superior en donde predominan facies arenosas (Ean-2).

La unidad Ean-1, predominantemente arcillosa, puede variar de 45 a 50 metros de espesor estratigráfico.

La unidad Ean-2, es predominantemente arenosa y arenoarcillosa- micácea, y puede llegar a 700 metros de espesor estratigráfico.

3.2.2. Geología local. En el área de la Concesión CENACA afloran rocas de la Formación Guayaquil, Formación San Eduardo, Formación Las Masas, el Grupo Ancón y depósitos Cuaternarios aluviales y antropogénicos.

El área de los afloramientos de caliza dentro de la concesión se ha dividido en seis bloques, los cuales están demarcados por quebradas relativamente profundas que han erosionado la secuencia de caliza. Los bloques en sí están delimitados así:

- Bloque 1: entre la quebrada San Agustín y el límite oriental de la concesión.
- Bloque 2: entre las quebradas San Agustín y Rocafuerte.
- Bloque 3: entre las quebradas Rocafuerte y Guayjaso.
- Bloque 4: entre las quebradas Guayjaso y gallegos.
- Bloque 5: entre las quebradas gallegos y Candil.
- Bloque 6: entre la quebrada Candil y el límite Occidental de la concesión.

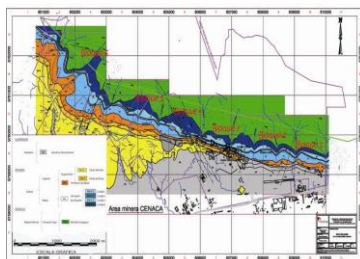


Figura 3. Mapa Geológico del área CENACA. (Fuente: Holcim)

4. Teoría del arte de la voladura

4.2. Origen de las vibraciones

Generalmente las vibraciones excesivas del terreno son causadas ya sea por colocar demasiada carga explosiva dentro del taladro o por el inapropiado diseño de la voladura, especialmente en lo referente a la secuencia de las salidas, de modo que parte de la energía que no es utilizada en fragmentar y desplazar la roca producirá vibraciones (por término medio un 40% de la energía del explosivo se gasta en generar ondas sísmicas en el entorno).

Por tanto los primeros factores a considerar son los parámetros geométricos del disparo, entre ellos:

Diámetro del taladro: el aumento de diámetro es negativo para el efecto de vibración, pues la cantidad de explosivo por taladro es proporcional al cuadrado del diámetro resultando en cargas en ocasiones muy elevadas.

Altura de banco: debe mantener una relación óptima $H/B > 2$ para mejor fragmentación y reducir las vibraciones al estar la carga menos confinada.

Burden y espaciamento: si el burden es excesivo, los gases de explosión encuentran resistencia para fragmentar y desplazar la roca, por lo que parte de la energía se transforma en sísmica, incrementando las vibraciones.

Este fenómeno es más notorio en las voladuras de precorte, donde pueden registrarse vibraciones cinco veces superiores a las de voladuras convencionales si no se mantiene un adecuado control.

4.2.1. Equipos para el monitoreo de vibraciones. Un equipo de control de vibraciones se compone básicamente de [1]:

a. Unos captadores electrodinámicos o piezoeléctricos (geófonos, anteriormente descritos).

b. Un equipo que amplifica las señales que vienen de los captadores, generalmente acoplado a un sistema de registro que permiten visualizar y tratar los datos para su interpretación, denominados sismógrafos para voladuras.

Los equipos de registro más simples sólo graban el dibujo de la onda en un papel, sirviendo para verificar esporádicamente si el valor pico de vibración sobrepasa un determinado nivel.

Los equipos más completos para la realización de estudios, llevan incorporados sistemas de grabación analógicos o digitales para el análisis de los valores recepcionada en el campo, proporcionando mayor información (frecuencia, nivel de energía, etc.).

Existen por tanto diversas opciones para la medición de vibraciones directamente en el terreno. Los que registran sólo la velocidad pico son baratos, fáciles de usar y adecuados en muchos casos para asegurar el cumplimiento de normas y regulaciones. Sin embargo, los sismógrafos que registran el evento total son más útiles para el mejor entendimiento e investigación de los problemas de vibración.

4.2.2. Criterio de velocidad de partícula:

- De 0 a 300 pies: 1,25 pie/s
- De 301 a 5 000 pies: 1,00 pie/s
- De 5 001 pies a más: 0,75 pie/s

Cantidad	Explosivo	Kg	Costo/\$
	ANFO	93.75	106.875
2	Booster	0.45	4.26
1	Taponex		1.00
1	Tecnel		8.05
Total			120.185

5. Reducción de niveles de vibración del terreno por voladuras

Un excesivo nivel de vibración en una voladura de producción señala [2] una sobrecarga o una inadecuada secuencia de tiempos de salida. Aunque cada caso requiere un análisis particular, se sugieren algunas medidas para aminorarlo:

1. Minimizar la carga de explosivo por unidad de microretardo:

- a. Reduciendo el diámetro de perforación.
- b. Acortando la longitud de los taladros.
- c. Seccionando y espaciando las cargas dentro de los taladros, e iniciándolas en tiempos escalonados
- d. Utilizando el mayor número de detonadores o tiempos de retardo posibles (con explosores secuenciales de microretardo si se supera la serie comercial de detonadores eléctricos o no eléctricos disponibles, esto naturalmente en voladuras con gran número de taladros o con muchas cargas espaciadas).

2. Reducir el número de taladros con detonadores instantáneos, ya que éstos producen más impacto.

3. Elegir un tiempo de retardo entre barrenos y filas efectivas que evite una fuerte superposición de ondas y permita un buen desplazamiento de la roca disparada.

4. Disponer la secuencia de iniciación de modo que ésta progrese desde el extremo más próximo a la estructura a proteger alejándose de la misma.

5. Utilizar el consumo específico adecuado, ya que un consumo excesivo da lugar a una sobrecarga innecesaria acompañada de grandes efectos perturbadores.

6. Disponer el esquema de taladros con una relación "H/B > 2".

7. Controlar la perforación para que las mallas reales coincidan con las nominales.

8. Emplear sobreperforaciones con las longitudes mínimas necesarias para un buen arranque.

9. Disponer los frentes con la mayor superficie libre posible.

10. Crear pantallas o discontinuidades entre las estructuras a proteger y las voladuras, por ejemplo con una cortina de taladros de precorte.

5.1. Cálculo de carga de explosivo

5.1.1 Presentación de datos experimentales

Tabla 1. Datos experimentales de perforación con taponex en la parte superior

Tabla 2: Valores experimentales

	1	2
A base (m ²)	0,01	0,01
V perforación (m ³)	0,10	0,13
Parámetros de Perforación		
Burden (m)	2,66	
Espaciamiento (m)	3,33	
Sobreperforación	0,80	
Taco	2,66	
L columna	7,89	
L carga fondo	2,24	
Volúmenes de carga		
Volúmen carga fondo	0,02	
Volúmen carga columna	0,06	
Concentración carga		
	Kg / m	Kg
Conc. Carga fondo	6,89	15,44
Conc. Carga columna	6,89	54,40

5.1.2 Posición superior del taponex en la columna de perforación

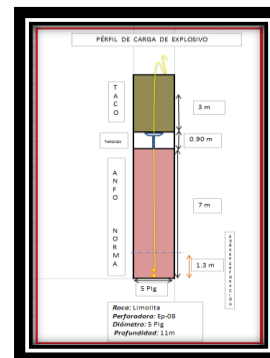


Figura 4. Esquema de una perforación con carga tradicional y taponex en la parte superior

En el caso que el taponex esté ubicado en la parte superior, ayuda para que la energía de la reacción se refleje y se mantenga concentrada hasta que termine su efecto, no permitiendo que el material del taco salga antes.

5.1.3 Posición inferior del taponex en la columna de perforación

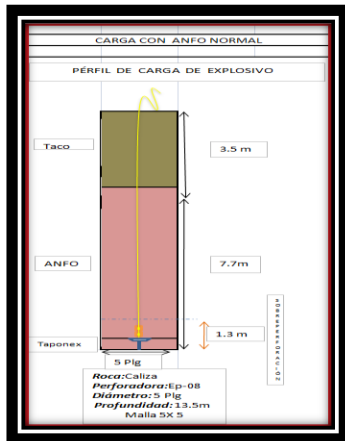


Figura 5. Esquema de una perforación con carga tradicional y taponex en la parte inferior.

Al utilizar el taponex en la parte baja del hoyo queda un espacio entre explosivo y roca del piso, lo que hace que en el momento de la reacción se genere un medio diferente ayudando a que la onda se refleje, y la energía sea menor para el medio diferente que para el medio sólido, lo que permite que no haya sobrerompimiento en el piso y el rompimiento de la sobre-perforación sea el adecuado. Otro de los beneficios es el de disminuir la cantidad de explosivo utilizado.

5.1.3 Posición superior e inferior del taponex en la columna de perforación

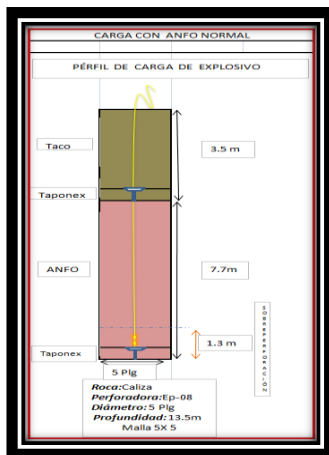


Figura 6 Esquema de una perforación con carga tradicional y taponex en la parte superior e inferior.

6. Resultados

6.1 Comparación de los resultados de los monitoreos de vibración sin y con taponex.

6.1.1 Comparación por pisos y bloques más representativos de la cantera.

Piso 60 Bloque 2

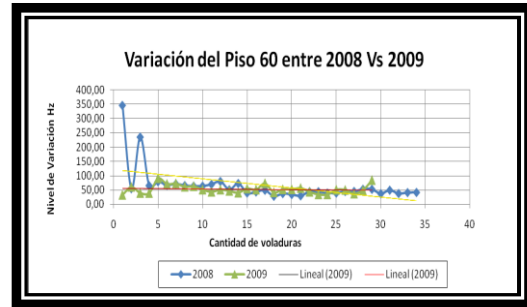


Figura 7. Nivel de variación de Frecuencia en el piso 60 entre el 2008 y 2009.

Tabla 3. Porcentajes de variación de frecuencias en los pisos 60 y 26 durante el 2008 y 2009

Porcentajes de variación en los picos de vibraciones (Frecuencias Hz)				
	Piso	2008	2009	% de Variación
Bloque 2	60	52,80	14,54	27,53
Bloque 4	26	53,21	19,69	37,01

Piso 26 Bloque 4

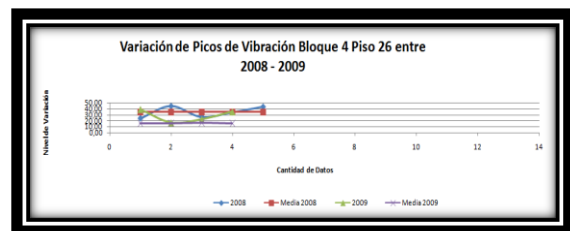


Figura 8. Nivel de variación de Frecuencia en el piso 26 entre el 2008 y 2009

6.1.2 Comparación de la variación de vibración durante el invierno y verano

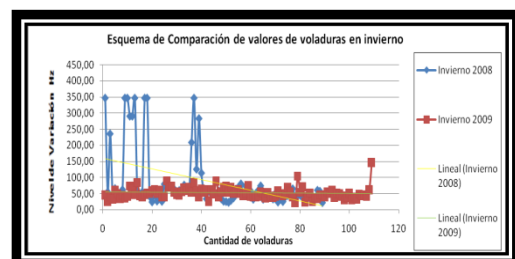


Figura 9. Nivel de variación de Frecuencia de vibración durante el invierno del 2008 y 2009

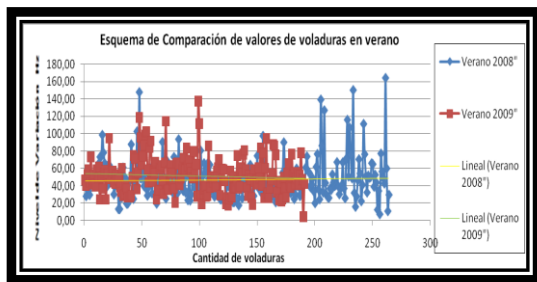


Figura 10. Nivel de variación de Frecuencia de vibración durante el verano del 2008 y 2009

Tabla 4. Porcentajes de variación de frecuencias durante el invierno y verano del 2008 y 2009

Porcentajes de variación en los picos de vibraciones (Frecuencias Hz)			
	2008	2009	% de Variación
Invierno	93,04	17,39	18,69
Verano	22,94	20,93	8,77

6.1.3 Comparación de los años 2008 y 2009

Resultado Final

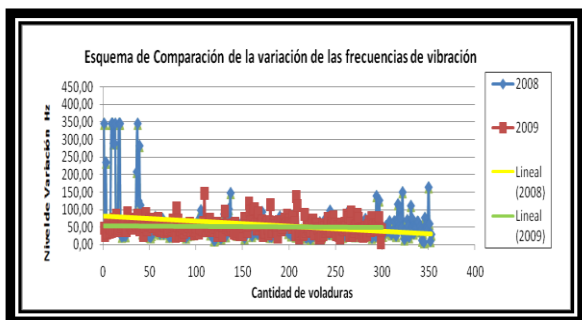


Figura 11. Nivel de variación de Frecuencia de vibración durante 2008 y 2009.

Tabla 5. Porcentajes de variación de frecuencias de vibración del 2008 al 2009

Porcentaje de reducción de vibración (Frecuencias Hz)		
	Desviación	
2008	66,29	
2009	19,69	
	% de Variación	29,7

7. Conclusiones

El área de los afloramientos de caliza dentro de la concesión se ha dividido en seis bloques, los cuales están demarcados por quebradas relativamente profundas. Pero para mi análisis se consideró los dos bloques más representativos por cantidad de voladuras realizadas en dicho sitio, los cuales son el bloque dos y el bloque cuatro, y a su vez los pisos de donde se extrae diariamente más material que son el piso 60 y el piso 26 respectivamente.

Una vez analizado los reportes de vibración del 2008 año en el cual aún no se implementaba el accesorio taponex, y los análisis del año 2009 cuando ya se había implementado la utilización del accesorio y realizadas las respectivas comparaciones tanto matemática como gráficamente, se obtuvieron los siguientes resultados.

Los resultados obtenidos en el análisis seccionado, por bloques, pisos, estaciones, y años 2008 y 2009 arrojaron que:

La variación del nivel de vibración en el piso 60 comparando el 2008 y el 2009 es de 27,53% presentando valores promedio en el nivel de energía de 19 mm/s donde en relación al criterio límite para vibraciones OSM que es de 19.05 mm/s es un valor aceptable comparando estos valores.

De la misma manera comparando en el bloque cuatro el piso 36 esta claramente visible la diferencia en la variación de picos de vibración cuyo valor es de 37,01%.

Comparando los estados del año en este caso los primeros meses del año lo que comprende el invierno no es difícil darse cuenta que el nivel de vibración es superior en el 2008 lo que hace una variación de 18,69%, hasta aproximadamente la mitad del año lo que hace que la tendencia de variación comience a disminuir haciéndose así igual o relativamente la misma en verano, ya que desde esos meses se comenzó a utilizar el taponex.

Una vez analizado minuciosamente la utilización del accesorio Taponex en el año 2009 y comparándolo con los valores ya existentes de los reportes de voladuras sin uso de dicho accesorio, se obtiene como resultado final que la variación de niveles de vibración es de 29.7%, lo que hace concluir que de acuerdo a los análisis previos realizados por la empresa encargada de producir los taponex, la cuál expresa que el uso del taponex genera una reducción en las vibraciones hasta en un 33% el accesorio esta funcionando de manera muy eficiente en la cantera. Lo que hace que se estén produciendo voladuras acercadas a ser ecológicas ya que no se estaría alterando el habita existente en las cercanías a la cantera, la producción de polvo por efecto de vibración se disminuyen con forme se ajustan los valores experimentales, y la producción es la más optima si generar bloques ni piedra de tamaño

pequeño lo que hace al accesorio no solamente físicamente sino económicamente efectivo.

8. Recomendaciones

Particularmente puedo decir que para que el Taponex haga efectivamente su trabajo el sitio a ser volado debe de tener las condiciones físicas adecuadas, como es un nivel de piso lo mas homogéneo posible, la carga de explosivo utilizada que sea uniforme, material estéril y tomar en cuenta las diversificaciones que se presentan en todo el año en relación a las condiciones climáticas.

Pero sobre todo es importante no olvidar que las dimensiones del taponex varían de acuerdo a la estructura de la perforación, diámetro, profundidad; además de la malla de voladura planificada.

De manera general me atrevo a recomendar que las empresas mineras cuyas rocas son extraídas por voladuras superficiales puedan usar como accesorio de voladura el Taponex, ya que es fácil de utilizar, su precio no excede un dólar por perforación pero sobre todo el beneficio que genera al utilizarlo sobrepasa los costos de su aplicación.

9. Referencias

- [1] International Society of Explosives Engineers (ISEE), *Manual del Especialista en Voladuras*, Cleveland, Ohio. USA, International Society of Explosives Engineers.
- [2] Instituto Tecnológico Geominero de España (*Manual de perforación y voladuras de rocas*).
- [3] Dr. Calvin J. Konya, Ing Enrique Albarrán N (*Diseño de Voladuras*).
- [4] Caterpillar, (2003), *Manual de Rendimiento*, EE.UU, Peoria. Illinois.
- [5] Atlas Copco, *Herramientas para perforación de rocas*, Secoroc Catalogo de Productos.

[6] Información experimental

- Información del personal Técnico de Concerro Azul
- Información del personal Técnico de Holcim.
- Información de trabajadores de Concerro Azul y Holcim.
- Datos experimentales.

[7] Páginas de Internet

- <http://webs.uvigo.es/bastante/index.php/escritos/19-resena-historica-sobre-los-explosivos>
- <http://www.mypfundaciones.com/index.php>
- <http://www.exsa.com.pe/explosivos/accesorios-voladura/retardo-cordon.html>
- http://www.famesa.com.pe/prod_Accesorios.asp
- <http://www.alt64.org/articulo/explos02.htm>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Explosivo>
- http://www.explotec.net/explosivos_iniciacion.htm