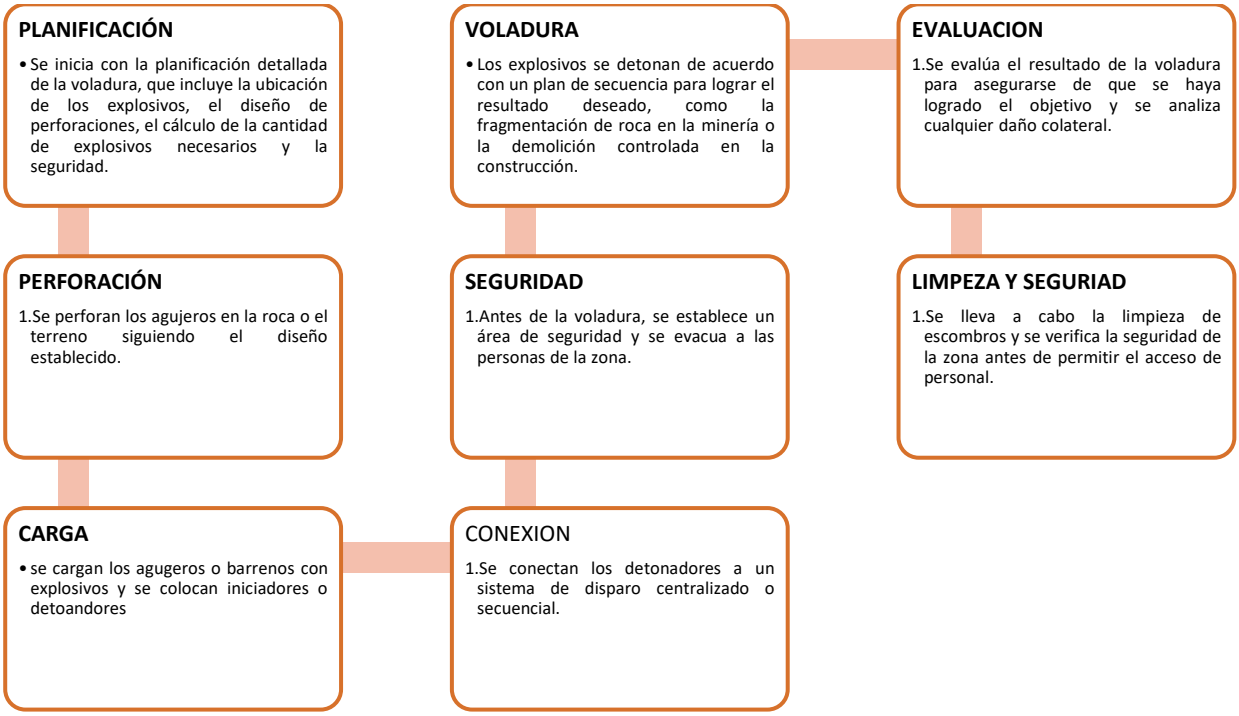
CONCEPTO TÉCNICO DE VIBRACIONES, CONTROL DE VIBRACIONES Y METODOLOGÍA DE VOLADURA PARA LAS VOLADURAS CONTROLADAS EN LAS MINAS TEOFILO II Y DIOGENES UBICADAS EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES DE CALI

La Empresa Explosiones Técnicas Controladas (Extecc) cuenta con Un flujograma del proceso de voladura el cual se utiliza para representar gráficamente los pasos involucrados en la realización de una voladura controlada en actividades como la minería o la construcción. Aquí hay una descripción simplificada de los pasos comunes en un proceso de voladura:



Dentro del estudio generado en las visitas realizadas al PNN los farallones de Cali se pudieron concluir lo siguiente:

Mina Teófilo II

- Roca con resistencia media-alta (RMR-60-70) y un módulo de Young entre 1.5 y 2.5
- factores de carga para poder realizar daño significativo en las paredes de los túneles. factores de carga de 2.8 a 3.4 kg/ m^3

En el sector de Teófilo II se encuentran una mina activa y otra mina inactiva tipo bóveda

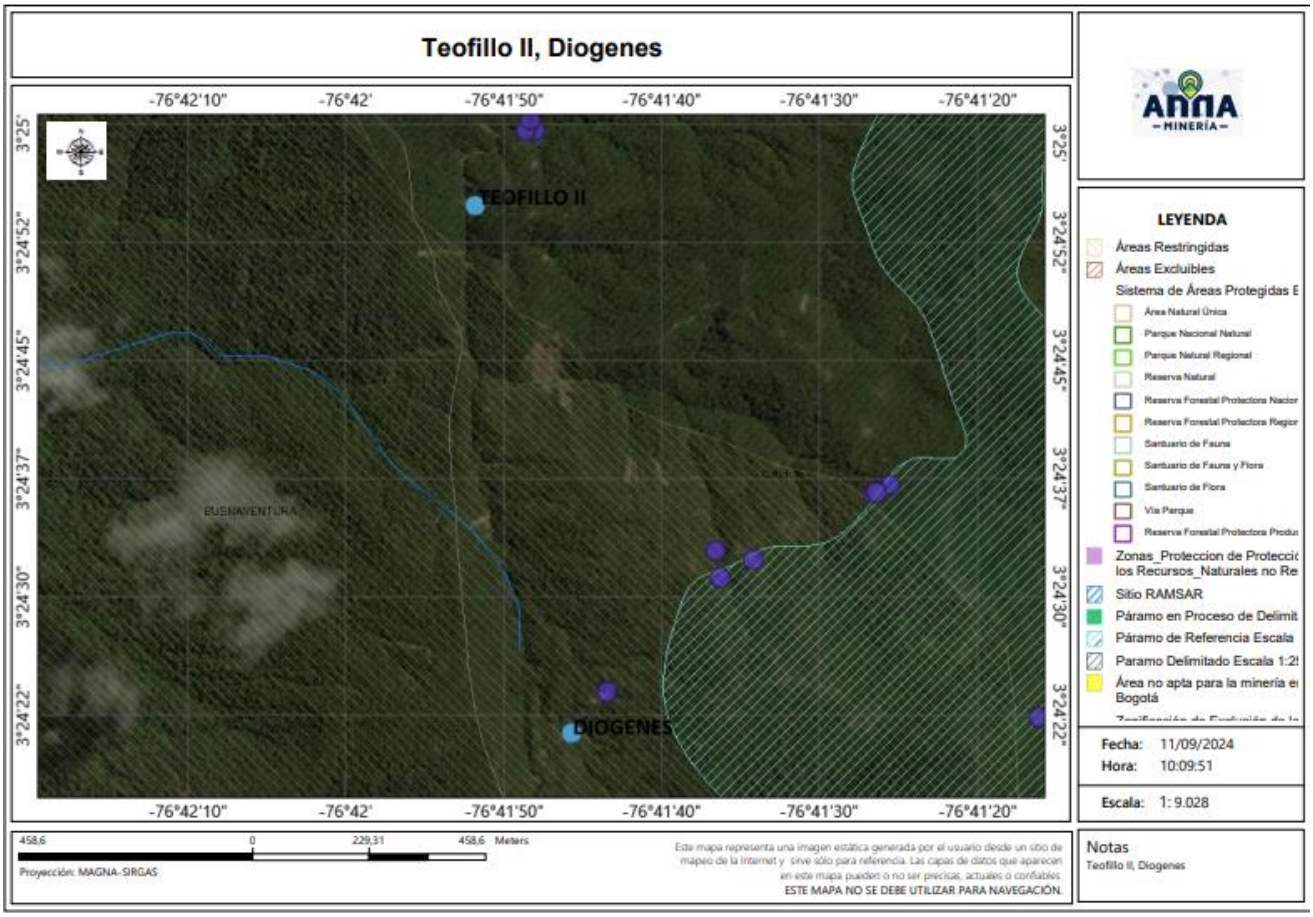
Mina Diógenes.

- Roca con resistencia media-baja (RMR-50-60) y un módulo de Young entre 1.5 y 1.8

- factores de carga para poder realizar daño significativo en las paredes de los túneles. factores de carga de 2.3 a 2.8 kg/ m³

con estas conclusiones y con datos hidrológicos tomados de la plataforma de información de la Agencia Nacional De Minera podemos observar que en las cercanías de las minas objeto de intervención no tenemos cuerpos de aguas superficiales.

HIDROGRAFIA SECTOR FERNEY PAISA TEÓFILO JUAN GETIAL



El agua presente en las minas son producto de la afectación a los niveles freáticos de cada una de las labores subterráneas, lo que causa que por su naturaleza el agua salga por las guías principales. Dentro del procedimiento la empresa EXTECC tiene diseñado en plan de voladuras seguras las cuales son fundamentales para evitar subsidencias en la minería subterránea.

Se expone el procedimiento básico:

1. Evaluación geológica: Realiza una evaluación geológica detallada para comprender la naturaleza de la roca y su estabilidad.
2. Diseño de disparo: Diseña el patrón de disparo considerando la ubicación de las galerías, la resistencia de la roca y el tamaño de los bloques.
3. Carga explosiva: Selecciona el tipo y la cantidad adecuada de explosivos para el diseño de disparo. Asegúrate de seguir las recomendaciones del fabricante.

4. Seguridad: Implementa medidas de seguridad, como el despeje de personal, la señalización y el uso de equipo de protección personal.
5. Perforación: Realiza perforaciones de manera precisa y siguiendo el diseño de disparo, asegurándote de que estén limpias y secas.
6. Iniciación controlada: Utiliza sistemas de iniciación controlada para secuenciar los explosivos y evitar tensiones excesivas en la roca.
7. Monitoreo: Implementa sistemas de monitoreo de vibraciones y deformaciones para controlar el impacto de la voladura en la estabilidad de las galerías.
8. Evacuación: Asegura que todo el personal esté evacuado antes de la voladura.
9. Inspección post-voladura: Realiza una inspección de las galerías después de la voladura para detectar cualquier cambio en la estabilidad de la roca.
10. Registro y análisis: Registra y analiza los datos de monitoreo y las condiciones post-voladura para ajustar futuros diseños de disparo si es necesario.

Este procedimiento busca minimizar las tensiones en la roca y reducir el riesgo de subsidencia. Sin embargo, ten en cuenta que las prácticas específicas pueden variar según la ubicación y las regulaciones locales. Siempre es fundamental contar con la asesoría de expertos en explosivos y geología en proyectos de voladura.

Con el fin de minimizar las vibraciones causadas por las detonaciones se maneja un factor de potencia de 0.539 kg/t, esto quiere decir que es la cantidad de kilogramos de explosivos por retardo de tiempo, lo que significa que nosotros controlaremos las voladuras en milésimas de segundo cada barreno saldrá en un tiempo distinto en cada milésima de segundo se detonaran 0.539 kg de explosivo.

Según la norma USBM RI8507 del U.S. Bureau of Mines, ampliamente utilizada en el sector minero, para cualquier frecuencia de vibración, una VPP de **5 mm/s** no afectará a una infraestructura.

Formula de Persson

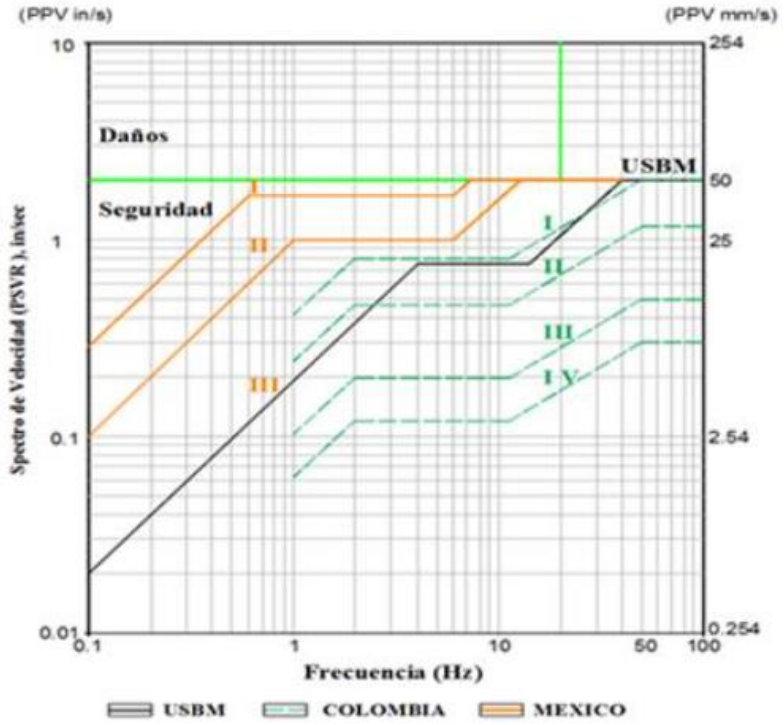
$$VPP = k \frac{K}{\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{\alpha}}$$

- VPP es la velocidad pico de partícula (mm/s)
- D es la distancia de la estructura a la voladura (m)
- W es la carga de explosivo (kg)
- K y α son constantes asociadas a la geología del terreno, la geometría de las cargas, las diferencias de cota entre los puntos de disparo y de medida y el grado de confinamiento.
- K y α se obtienen mediante ensayos.

Los máximos de VPP por los que se estima que no puede dañar ningún tipo de infraestructura varía en función de la normativa de cada país.

Teniendo que la carga máxima a detonar por periodo de tiempo es de **0.328 kg** dado que cada barreno será detonado independiente con la ayuda de los detonadores electrónicos.

Con el factor de potencia establecido para las minas **Teófilo II y Diógenes de 1.8 kg/m³,** no se afectará una vivienda a 80 mts de distancia lo que nos indica que las vibraciones del proyecto son muy mínimas.



Límites de regulaciones y guías de vibraciones

La afectación en cuanto a vibraciones se pretende que estén por debajo de los limites permisibles dado que contamos una carga por retardo de tiempo de 0.328kg. se concluye que estamos muy por debajo de afectar viviendas o cualquier otra edificación, para el caso del parque farallones no tendremos ningún tipo de vividas ni edificaciones para los sectores a trabajar con explosivos

Con la utilización de detonadores electrónicos mejoraremos el factor de potencia.

Las voladuras generan diferentes tipos de ondas que se propagan concéntricamente en el terreno y en el aire. Son difíciles de identificar, aunque por sus niveles de energía se sabe que las ondas Rayleigh son las de mayor amplitud e importancia para distancias medias y largas (>100 m), del punto de la voladura; mientras que a distancias cortas (30 m) las ondas compresionales pueden ser las que generan mayores deformaciones en una estructura, Las principales ondas que se propagan por la corteza terrestre incluyen dos clases, las de tipo volumétrico y las de tipo superficial, a saber:

- Ondas P, longitudinales o de compresión: son aquellas que provocan la vibración de las partículas en la misma dirección del radio de la onda, siendo análogas a las ondas sonoras.
- Ondas S, transversales o de corte: con vibración de la partícula perpendicular al radio de la onda, teniendo una velocidad inferior a la de las ondas P, y no se propagan en fluidos.
- Deformaciones inducidas por ondas de tipo superficial, Ondas R, o de Rayleigh: se propagan a lo largo de la superficie de la tierra con amplitudes que disminuyen exponencialmente con

la profundidad, transportando la mayor parte de la energía sísmica (semejantes a las ondas que se crean cuando cae un objeto sobre la superficie de un lago).

- Ondas L, o de Love: resultantes del movimiento plano horizontal de las partículas, sin componente vertical.

El movimiento ondulatorio se caracteriza por la propagación de vibraciones, no existe movimiento efectivo de masas ni de volúmenes, tampoco se realiza transporte de materia, sino que, tan solo consta de una transferencia de energía desde un punto a otro. El movimiento vibratorio se asemeja a un movimiento sinuosidad armónico, definido por la siguiente ecuación:

$$X(t) = A * \sin(\varpi t + \upsilon) = A * \sin(2\Pi f t + \upsilon)$$

(1)

Donde:
X: Desplazamiento en unidades de longitud
t: Tiempo en segundos
A: Amplitud
f: Frecuencia natural del movimiento, en hertzios
ω: Frecuencia angular del movimiento (v = 2P f), en radianes/seg
f : Fase inicial, oscilación en el tiempo cero de la partícula en movimiento.

La velocidad instantánea (v) y la aceleración (a) son, respectivamente, la primera y segunda derivada de la ecuación (1).

$$V = dx/dt = 2\Pi f * A \cos \varpi t + \varpi * A \sin(\sin(\varpi t + \Pi/2)$$

(2)

$$a = dv/dt = (2\Pi f)^2 * A \cos \varpi t + \varpi^2 * A \sin(\sin(\varpi t + \Pi)$$

(3)

Teóricamente, se puede apreciar que el desplazamiento, la velocidad y la aceleración están desfasados en P/2 sucesivamente.

Conclusión

- Con estos datos podemos llegar a la conclusión que la mejor forma para minimizar la carga operante es realizar la detonación con retardos de tiempo muy controlados y este tipo de control la da el detonador electrónico.

Para justificar el uso de explosivos en el cierre de minas informales dentro de parques naturales, y argumentar que es la manera más eficiente para un cierre técnico y la preservación del medio ambiente, podemos considerar los siguientes puntos clave:

Eficiencia en el Cierre Técnico:

- Rapidez y Control: Los explosivos permiten realizar el cierre de manera rápida y controlada, lo cual es crucial para minimizar el tiempo de exposición de áreas sensibles dentro del parque natural.
- Remoción Controlada: Facilitan la remoción controlada de escombros y estructuras mineras, asegurando que no queden materiales peligrosos o contaminantes expuestos.

Preservación del Medio Ambiente:

- Reducción del Impacto: Al utilizar explosivos de manera planificada y bajo supervisión técnica, se reduce el tiempo de intervención en el área y se minimiza la generación de escombros y residuos.
- Menor Alteración: Comparado con métodos mecánicos intensivos, los explosivos pueden reducir la alteración del suelo y la vegetación circundante, preservando mejor los ecosistemas naturales.

Uso de Detonadores Electrónicos:

- Mitigación de Vibraciones: Los detonadores electrónicos, como los que mencionas, como medida de mitigación de vibraciones son ideales. Pueden ser programados para generar ondas de choque más precisas y controladas, minimizando el impacto en estructuras cercanas y en el entorno natural.
- Monitoreo Preciso: El equipo Instantel Minimate Plus permite un monitoreo preciso de las vibraciones generadas durante la detonación, asegurando que estas estén dentro de los límites seguros establecidos para proteger estructuras sensibles y la vida silvestre.

En resumen, el uso de explosivos, especialmente cuando se combinan con tecnologías modernas como los detonadores electrónicos y el monitoreo de vibraciones, no solo facilita un cierre técnico eficiente de las minas informales en parques naturales, sino que también minimiza el impacto ambiental al controlar de manera precisa los efectos secundarios de la detonación.

LOS DETONADORES ELECTRÓNICOS son dispositivos utilizados en voladuras controladas que permiten una iniciación precisa y secuenciada de los explosivos. El concepto técnico de su utilización implica lo siguiente:

1. Control preciso: Los detonadores electrónicos son capaces de proporcionar un control altamente preciso sobre el momento en que los explosivos detonan. Esto es esencial para la seguridad y para lograr resultados específicos en la voladura, como la fragmentación de la roca.
2. Secuenciación: Los detonadores electrónicos permiten secuenciar la detonación de cargas explosivas en diferentes puntos o niveles de una voladura. Esto es útil para controlar la dirección en la que se desplaza la roca o para evitar daños en estructuras cercanas.
3. Reducción de vibraciones y ruido: La capacidad de controlar el tiempo de detonación de las cargas reduce la generación de vibraciones y ruido, lo que es crucial en entornos sensibles o urbanos.

4. Mayor seguridad: Los detonadores electrónicos suelen estar equipados con medidas de seguridad avanzadas, como bloqueo de disparo a distancia o sistemas de retardo programables, que reducen los riesgos asociados con la manipulación de explosivos.
5. Monitoreo y diagnóstico: Algunos detonadores electrónicos permiten la supervisión y el diagnóstico remoto de su estado, lo que facilita el mantenimiento y la detección de posibles problemas.
6. Mayor eficiencia: Al garantizar una detonación más precisa y controlada, los detonadores electrónicos pueden aumentar la eficiencia en la fragmentación de roca y, en última instancia, en la productividad de las operaciones mineras o de construcción.

En resumen, los detonadores electrónicos son dispositivos clave en las operaciones de voladura controlada, ya que brindan mayor control, seguridad y eficiencia en la utilización de explosivos en diversas aplicaciones industriales.

Siendo así las cosas la empresa EXTECC utilizaría lo más alto en tecnología en Colombia para las voladuras así minimizar el riesgo de subsidencia

LAS SUBSIDENCIAS POR VOLADURAS, también conocidas como hundimientos o subsidencias, son deformaciones o hundimientos en la superficie de la tierra que pueden ocurrir como resultado de voladuras en actividades mineras o de construcción. Estas subsidencias se deben a la liberación de energía en forma de ondas de choque y vibraciones generadas por la detonación de explosivos. Aquí hay algunos puntos clave:

1. Causas: Las voladuras liberan energía repentinamente en la forma de ondas de choque y vibraciones. Estas ondas de energía pueden propagarse a través de la roca y el suelo, causando perturbaciones en las capas subterráneas y en la superficie terrestre.
2. Efectos: Las subsidencias por voladuras pueden dar como resultado hundimientos en la superficie del suelo, agrietamiento de edificios o estructuras cercanas, daño a infraestructuras subterráneas como tuberías y cables, y, en casos extremos, pueden afectar la estabilidad de las galerías mineras o túneles.
3. Prevención: Para prevenir subsidencias no deseadas, se deben seguir prácticas de voladura seguras y controladas, que incluyen el diseño adecuado de disparos, el uso de explosivos apropiados, la secuenciación de la detonación y el monitoreo de vibraciones.
4. Monitoreo: Es importante llevar a cabo un monitoreo continuo de las vibraciones y deformaciones del suelo antes, durante y después de las voladuras para evaluar y controlar los impactos en la superficie y en las estructuras cercanas.
5. Regulaciones: En muchas jurisdicciones, existen regulaciones y normativas específicas que establecen límites de vibración y otros parámetros para proteger la seguridad de las personas y la integridad de las estructuras en áreas cercanas a operaciones de voladura.
6. En resumen, las subsidencias por voladuras son un riesgo potencial asociado con las actividades de voladura, y es fundamental llevar a cabo las prácticas de voladura de manera segura y controlada, así como seguir las regulaciones pertinentes para minimizar su impacto. El monitoreo y la evaluación constantes son esenciales para prevenir daños y garantizar la seguridad en las operaciones mineras y de construcción.

La adopción de detonadores electrónicos en nuestras operaciones es un paso importante hacia la mejora de la seguridad, la precisión y la eficiencia en nuestras actividades. Estos sistemas avanzados nos permiten un control preciso sobre las voladuras, reduciendo riesgos y maximizando resultados.

Hemos implementado todas las medidas de seguridad necesarias y cumplimos con las regulaciones para garantizar un entorno de trabajo seguro. Además, contamos con un equipo de expertos altamente capacitados que supervisan y operan estos sistemas.

La tecnología de detonadores electrónicos nos coloca en una posición más sólida para cumplir nuestros objetivos y metas. EXTECC está tomando todas las precauciones necesarias para garantizar un entorno de trabajo seguro y productivo.

para confiabilidad de la voladura se empleará un sismógrafo para medir las vibraciones

SISMOGRAFO MINIMATE PLUS es un sismógrafo que forma parte de la línea de instrumentos de monitoreo sísmico de la empresa Instantel. A continuación, se describen algunas de las características y funciones comunes del sismógrafo Minimate Plus:

1. Registro de Vibraciones: El Minimate Plus está diseñado para registrar y monitorear vibraciones y movimientos del suelo en tiempo real.
2. Rango de Frecuencia: Este sismógrafo es capaz de registrar una amplia gama de frecuencias sísmicas, lo que lo hace útil para diversas aplicaciones, como la evaluación de voladuras, la monitorización de la construcción y la evaluación de la sismicidad ambiental.
3. Almacenamiento de Datos: El dispositivo almacena datos de vibración en su memoria interna y puede ser programado para grabar eventos de forma continua o a través de umbrales de vibración predefinidos.
4. Transmisión de Datos: Algunos modelos del Minimate Plus cuentan con capacidad para transmitir datos de forma inalámbrica o mediante una unidad de descarga, lo que permite un acceso más rápido a los registros de vibración.
5. Software de Análisis: El sismógrafo se suele utilizar con un software de análisis que permite visualizar, analizar y exportar los datos registrados para su posterior evaluación.
6. Calibración: El equipo se calibra regularmente para garantizar mediciones precisas y confiables.
7. Aplicaciones: El Minimate Plus se utiliza en diversas aplicaciones, como la evaluación de impactos de construcción, el control de voladuras en la industria minera, la monitorización de vibraciones en estructuras, y la investigación de sismicidad ambiental.
8. Cumplimiento de Normativas: Estos sismógrafos suelen cumplir con las regulaciones y estándares de calidad para la monitorización de vibraciones y se utilizan para cumplir con requisitos de licenciamiento en proyectos de construcción y operaciones mineras.

El Minimate Plus es una herramienta valiosa para medir y registrar vibraciones, lo que es esencial en aplicaciones donde la prevención de daños estructurales y la seguridad son prioritarias



Conclusiones

Se realiza un análisis detallado para cada mina en el cuadro adjunto. Se presenta un breve concepto de las intervenciones a realizar. Esta metodología garantiza:

- Evaluación individualizada: Cada mina presenta condiciones geológicas, estructurales y operativas únicas, por lo que un análisis pormenorizado permite identificar los riesgos específicos y seleccionar las técnicas de voladura más adecuadas.
- Optimización de recursos: Al conocer en detalle las características de cada mina, se pueden diseñar planes de voladura más eficientes, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental.
- Seguridad: Un análisis detallado permite identificar y mitigar los riesgos asociados a cada operación, asegurando la seguridad del personal y de las instalaciones.
- Cumplimiento normativo: Al contar con un registro detallado de las intervenciones, se facilita el cumplimiento de las regulaciones mineras y ambientales.

El cuadro resumen, por su parte, proporciona una visión general de las actividades a realizar en cada mina, facilitando la comunicación entre los diferentes actores involucrados en el proyecto y permitiendo un seguimiento más eficiente del avance de los trabajos."

En resumen, la realización de un análisis detallado y la presentación de un cuadro resumen son herramientas esenciales para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones mineras que involucran el uso de explosivos.

Este enfoque permite:

- Personalizar las soluciones: Adaptar las técnicas de voladura a las condiciones específicas de cada mina.
- Prevenir incidentes: Identificar y mitigar los riesgos potenciales.
- Optimizar recursos: Maximizar la eficiencia de las operaciones.
- Cumplir con la normativa: Asegurar que las actividades se realicen de acuerdo con la ley.

En conclusión, este procedimiento demuestra un compromiso con la seguridad, la eficiencia y el cumplimiento de las mejores prácticas en la industria minera.

sector	mina	detalle	concepto
Sector Teófilo II	BMTFII01	mina activa	Se realiza perforación y voladura debido a que la afectación fuera de la boca mina no excederá los 2 metros, para no impactar las rondas ambientales. No se anticipa ningún deslizamiento ni remoción en masa como resultado
	BMTFII02	mina Inactiva bóveda	Se ha diseñado una voladura controlada para esta mina en especial con el objetivo de inducir el colapso de la bóveda interna, con el fin de sellar una cámara subterránea. Dada la presencia de la bóveda y la necesidad de un derrumbe controlado, se ha optado por utilizar una carga explosiva reducida. Esta medida busca minimizar los impactos en las zonas adyacentes de la mina, evitando vibraciones excesivas y daños a la infraestructura. La precisión en el diseño de la voladura es crucial para garantizar que el derrumbe se produzca de manera segura y eficiente, sin comprometer la estabilidad del terreno, la afectación no excederá los 5 metros desde la boca mina
Sector Diógenes	BMDG01	mina activa	Se realiza perforación y voladura debido a que la afectación fuera de la boca mina no excederá los 2 metros, para no impactar las rondas ambientales. No se anticipa ningún deslizamiento ni remoción en masa como resultado

- Como resultado de la voladura en las minas FERNEY TEOFOLO JUAN GETIAL Y EL PAISA, no se generarán subsidencias al momento de la voladura, pero se recomienda a las entidades correspondientes no permitir el ingreso de personal a las zonas nuevamente dado que eso queda como zona altamente inestable y si por algún motivo se intenta ingresar a los socavones, se generará un deslizamiento desencadenado.
- El uso de explosivos, cuando se aplica correctamente y con las medidas adecuadas de mitigación, puede minimizar significativamente el impacto sobre la flora y la fauna en áreas sensibles como los parques naturales. Aquí están las razones clave por las cuales esto es posible:

  Control Preciso de la Explosión:

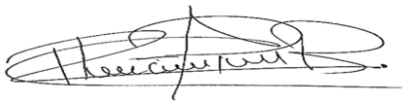
- Técnicas de Perforación: Antes de detonar, se realizan perforaciones precisas que permiten direccionar la explosión hacia áreas específicas, reduciendo así el riesgo de dañar la vegetación circundante y hábitats de vida silvestre.
- Planificación Detallada: Se planifica cuidadosamente la cantidad y distribución de los explosivos para asegurar que la explosión sea lo más localizada posible, minimizando el alcance de los efectos destructivos.

Reducción de Escombros y Residuos:

- Descomposición de Estructuras: Los explosivos facilitan la descomposición controlada de estructuras mineras, reduciendo la cantidad de escombros grandes que podrían afectar negativamente a la flora y la fauna locales.
- Menor Interferencia: Comparado con métodos mecánicos pesados, los explosivos pueden reducir la necesidad de movimientos intensivos de tierra, que son más intrusivos para el entorno natural.

Tecnologías de Monitoreo Avanzadas:

- Monitoreo de Vibraciones: Con el uso de detonadores electrónicos y equipos como el Instantel Minimate Plus, es posible monitorear y controlar las vibraciones generadas por la detonación. Esto asegura que las ondas de choque sean gestionadas dentro de límites seguros para la vida silvestre y estructuras sensibles cercanas.
- Control Ambiental Riguroso: Se implementan protocolos rigurosos de monitoreo ambiental antes, durante y después de la detonación para asegurar que los impactos sean mitigados y controlados adecuadamente.



ROSSBEL EDUARDO PALENCIA BRAVO
INGENIERO DE MINAS ESPECIALISTA EN EXPLOSIVOS