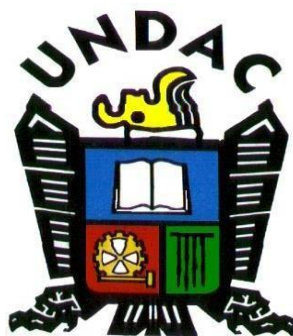


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

Incidencias de la perforación y voladura subterránea del tajo San Gerardo –

Nexa Atacocha

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Moises Marcos ZEVALLOS CUELLAR

Asesor:

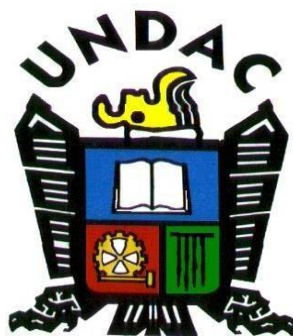
Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

Incidencias de la perforación y voladura subterránea del tajo San Gerardo –

Nexa Atacocha

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vicente Cesar DAVILA CÓRDOVA
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Dr. Raúl FERNANDEZ MALLQUI
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 014-2026

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. ZEVALLOS CUELLAR, Moises Marcos

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo:
**"Incidencias de la perforación y voladura subterránea del
tajo San Gerardo – Nexa Atacocha"**

Asesor:
Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Índice de Similitud: **20 %**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 26 de mayo de 2026



Firmado digitalmente por
FERNANDEZ MALLOQUE Real FAU
20154662646 web
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.05.2026 15:01:54 -05:00

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Jorge y Florentina, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia sin límites, por su amor incondicional y su apoyo continuo en cada parte de mi camino.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi alma mater, lugar en el cual adquirí las bases del conocimiento y el espíritu crítico que me ha permitido culminar esta etapa tan importante de mi formación académica.

Agradezco profundamente a los docentes que me guiaron a lo largo de este camino, en especial al Mg. Nelson Montalvo Carhuaricra, quien con su dedicación, paciencia y experiencia me brindó las herramientas necesarias para afrontar los retos de este proyecto y de la carrera profesional.

También deseo reconocer el apoyo y la colaboración de la empresa Nexa -Atacocha, donde tuve la oportunidad de aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos y brindarme el entorno ideal para desarrollar esta tesis.

Finalmente, extendiendo el agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, me apoyaron en este proceso y creyeron en mi capacidad de poder lograrlo.

RESUMEN

La economía del Perú se sustenta en la minería, gracias a la amplia red de minas a escala nacional. La empresa minera Atacocha es una compañía especializada en la obtención de minerales ricos en Pb, Ag, Au y Zn; clasificada como de minería de mediana escala. Se lleva a cabo mediante el procedimiento de explotación a tajo abierto.

La existencia de puntos de conexión para trabajos subterráneos no representaba un obstáculo significativo para los trabajos de perforación y voladura en los primeros bancos, pues estos eran nuevos.

El problema se presenta cuando la operación se intensifica a medida que la operación se intensifica, la aparición de puntos de conexión a tareas subterráneas aumentó y provocó una situación dañina para los trabajos de perforación y voladura, que, debido a su antigüedad, no se disponía de suficiente información para su identificación y su plan de trabajo futuro bajo esas circunstancias.

La eficiencia de la perforación era baja, aumentándose en promedio el costo total de la perforación (TDC) en un 10%, donde prevalecía la condición de puntos de conexión a trabajos subterráneos. En su mayoría, se presentaba la condición de relleno, originada por trabajos antiguos rellenos y en una proporción menor, conexiones a vacíos que representan un elevado peligro para los equipos y especialmente para el personal del piso.

La investigación, de acuerdo a su propósito, es aplicada y de carácter experimental, de modo que se manipularán las variables y se examinarán las conexiones entre ambas en el entorno natural. La tesis permitió la actualización de los PETS para las actividades de perforación y voladura.

Palabras claves: Método de explotación a tajo abierto, sostenible.

ABSTRACT

Peru's economy is based on mining, thanks to the extensive network of mines nationwide. The Atacocha Mining Company specializes in extracting minerals rich in Pb, Ag, Au, and Zn; it is classified as a medium-scale mining company. It is exploited using open-pit mining.

In the early banks, the existence of connection points for underground work did not pose a major obstacle to drilling and blasting work, given that their existence was recent. The problem arises when the operation intensifies as the operation intensifies, the appearance of connection points to underground tasks increased and caused a harmful situation for drilling and blasting works, which, due to their age, there was not enough information available for their identification and their future work plan under those circumstances.

Drilling efficiency was low, increasing the total drilling cost (TDC) by an average of 10% where connection points to underground works were prevalent. The majority were backfilled, caused by old backfilled workings, and to a lesser extent, connections to voids, which posed a high risk to equipment and, in particular, to ground personnel.

The research, in keeping with its purpose, is applied and experimental in nature, so the variables will be manipulated and the connections between them will be examined in the natural environment. The thesis enabled the updating of PETS for drilling and blasting activities.

Keywords: Sustainable open-pit mining method

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se presenta en forma de Informe de Experiencia Profesional denominado "Incidencias de la perforación y voladura subterránea del tajo San Gerardo - Nexa Atacocha", con el propósito de crear entendimiento acerca de las principales consecuencias que producen los puntos de vinculación con las tareas subterráneas en las operaciones de perforación y voladura dentro de la labor, situada en el Tajo San Gerardo, situado en Atacocha.

El periodo establecido para la investigación se refiere a información recogida durante la permanencia en la unidad minera Atacocha. El ámbito de estudio se restringe a las operaciones de minería en el Tajo San Gerardo. Las operaciones de perforación y voladura se tomarán en cuenta como única variable dependiente; Dentro de esto, se fijarán los parámetros correspondientes que son afectados por la variable dependiente. Una descripción de todas las variables se hará antes de eso. Se realiza una descripción de la variable, que se determina como variable independiente, resaltando su impacto directo sobre la variable dependiente.

Para concluir, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las variables y su concordancia bajo diversas condiciones. En las conclusiones se exponen la solución al problema que se está investigando, y también se proponen recomendaciones para mejorar continuamente el proceso de voladura y perforación del tajo San Gerardo.

El Autor

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del Problema	3
1.3.1.	Problema General.....	3
1.3.2.	Problemas Específicos	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo General	4
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	4
1.5.	Justificación de la Investigación	4
1.6.	Limitaciones de la Investigación	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	5
2.1.1.	Antecedentes Nacionales.....	5
2.2.	Bases teóricas – científicas.....	6
2.2.1.	Perforación.....	6
2.2.2.	Voladura.....	7
2.2.3.	Labor en el Tajo San Gerardo – Perforación	8
2.2.4.	Voladura Tajo San Gerardo	26
2.2.5.	Parámetros de voladura.....	36
2.3.	Definición de términos básicos.....	38
2.4.	Formulación de hipótesis	39
2.4.1.	Hipótesis general.....	39
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	40
2.5.	Identificación de variables	40
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	41

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	42
3.2.	Nivel de investigación.....	42
3.3.	Métodos de investigación	43
3.4.	Diseño de la investigación	43
3.5.	Población y muestra.....	43
3.5.1.	Población.....	43
3.5.2.	Muestra	43

3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	45
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	45
3.9.	Tratamiento estadístico	45
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	45

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	47
4.1.1.	La Unidad Minera Atacocha:	47
4.1.2.	Mineralización	54
4.1.3.	Plan Operativo del tajo San Gerardo	55
4.1.4.	Método de minado del tajo San Gerardo	56
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	56
4.2.1.	Impacto de las tareas subterráneas en la perforación.....	56
4.3.	Prueba de hipótesis.....	62
4.4.	Discusión de resultados	64

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Ubicación y Acceso - Nexa Atacocha	3
Figura 2. Esquema de procesos de las operaciones de perforación y voladura	8
Figura 3. Diseño de la malla con los parámetros determinados	9
Figura 4. Drifter hidráulico (martillo TH)	10
Figura 5. Drifter hidráulico (martillo DTH) y partes	12
Figura 6. Perforadora DP1500i - Sandvik.....	13
Figura 7. Perforadora FlexiROC D65	14
Figura 8. Perforadora DX800	15
Figura 9. Broca retráctil GT60 de 5"- RG127DSR (Robit), vista isométrica	16
Figura 10. Barra de perforación con acoplamiento incorporado (TH)	16
Figura 11. Barra de perforación con acoplamiento incorporado (TH)	18
Figura 12. Diseño de la malla de perforación - Tajo San Gerardo	19
Figura 13. Diseño de carga para taladros de producción	22
Figura 14. Diseño de carga para taladros de buffer	23
Figura 15. Diseño de carga para taladros de precorte	24
Figura 16. Diseño de carga para taladros con conexión a labores subterráneas	25
Figura 17. Simulación del proyecto de P&V N° 372, Banco 4222, Fase 3	26
Figura 18. Componentes del SAN-G	35
Figura 19. Comprobación de densidades en el TSG.....	35
Figura 20. Vista satelital de las Unidad Minera Atacocha.....	48
Figura 21. Vías de acceso a la unidad.....	49
Figura 22. Plano geológico de unidad minera Atacocha	50
Figura 23. Esquema geológico del Yacimiento de Atacocha	52

Figura 24. Configuración común de taladros que se unieron a trabajos subterráneos.....	57
Figura 25. Tiempo de perforación de taladros en roca y relleno	58
Figura 26. Tiempos de perforación por taladro en condiciones normales de roca	59
Figura 27. Tiempos de perforación por taladro en condiciones de relleno.....	59
Figura 28. Consumo de brocas de perforación	60
Figura 29. Carguío de taladros con conexión a vacío.....	61
Figura 30. Volumen desagregado por frente.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Proceso de Perforación y Voladura en el Tajo San Gerardo	7
Tabla 2. Limitaciones y Ventajas de los sistemas TH y DTH	12
Tabla 3. Parámetros de perforación en banco en el TSG.....	17
Tabla 4. Especificaciones técnicas del Fanel CTD	29
Tabla 5. Detalles técnicos del Fanel Dual.....	30
Tabla 6. Descripciones técnicas del Fanel LSEF (línea silenciosa).....	31
Tabla 7. Especificaciones técnicas del Booster HDP-1/2 (225g)	32
Tabla 8. Detalles técnicos del Examon P (ANFO)	33
Tabla 9. Detalles técnicos del SAN-G	34
Tabla 10. Detalles técnicos del Emulex 100.....	36
Tabla 11. Operacionalización de variables	41
Tabla 12. Características del bosquejo del Tajo San Gerardo.	55
Tabla 13. Ángulos de talud de Banco del Tajo San Gerardo.....	55
Tabla 14. Cuadro comparativo de costos del diseño anterior y el propuesto	63

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La empresa Pevoex Contratistas SAC, con especialización en perforación y voladura, ganó la licitación para el servicio de "Explotación del Glory Hole San Gerardo", el cual ha estado llevando a cabo hasta ahora bajo el nombre de Tajo San Gerardo debido a los permisos obtenidos. Las partidas comprenden la perforación, el carguío y acarreo de materiales (desmonte-mineral). Además, existe una partida extra para trabajos auxiliares como mantenimiento de vías.

El yacimiento polimetálico San Gerardo estaba siendo explotado mediante el método de corte y relleno ascendente subterráneo. Con el objetivo de extender sus operaciones, Nexa Atacocha amplió su producción, concibió e implementó la técnica de minado Glory Hole. Después, pasó a ser explotado a cielo abierto, lo que permitió aumentarla cantidad de material extraído y producido más desmonte. Se construyó un depósito de desmonte al pie de la presa de relaves de Atacocha, con una capacidad inicial de 1.5 MM m³, que se ampliará a 11 MM m³; las distancias para transportar el material estéril del proyecto hasta la zona de descarga oscilarán entre 2,5 y 3,5 km.

En la actualidad, numerosas operaciones mineras han evolucionado de ser subterráneas a ser a tajo abierto con el objetivo de aumentar la producción mineral. Esto conlleva un alto riesgo que implica trabajar sobre trabajos subterráneos viejas, ya sean conocidas o no. Una de las actividades consiste en reducir los peligros vinculados con la interacción entre el tajo abierto y los trabajos subterráneos antiguos, asegurando una operación segura para los equipos y las personas.

Se detectaron, durante el periodo de evaluación de las actividades de voladura y perforación, varios problemas que incluían: un rendimiento deficiente en la perforación, un aumento en los costos del acero utilizado para perforar, una fragmentación inadecuada de la roca (en algunos casos con material fino y en otros con bolonería), y todos estos hallazgos eran resultado de la situación del terreno y la existencia de puntos de conexión a actividades subterráneas.

a) Accesibilidad

La Unidad Minera Atacocha - Tajo San Gerardo es accesible por carretera desde Lima. La planta concentradora de la hacienda Chicrín se encuentra a una distancia vial de 334 km por la carretera central. Después de Eso, se toma la carretera de Yanapampa, que es una trocha carrozable y tiene una longitud vial de 11 kilómetros hasta el Tajo San Gerardo.

La carretera Canta - Huayllay, ubicada al norte de Lima y con una distancia vial de 295 kilómetros, es otra vía de acceso que se usa menos.

1.2. Delimitación de la investigación

Espacial

La relación entre la Implementación de un Programa de protección respiratoria y las enfermedades ocupacionales por exposición a humos metálicos y gases contaminantes.

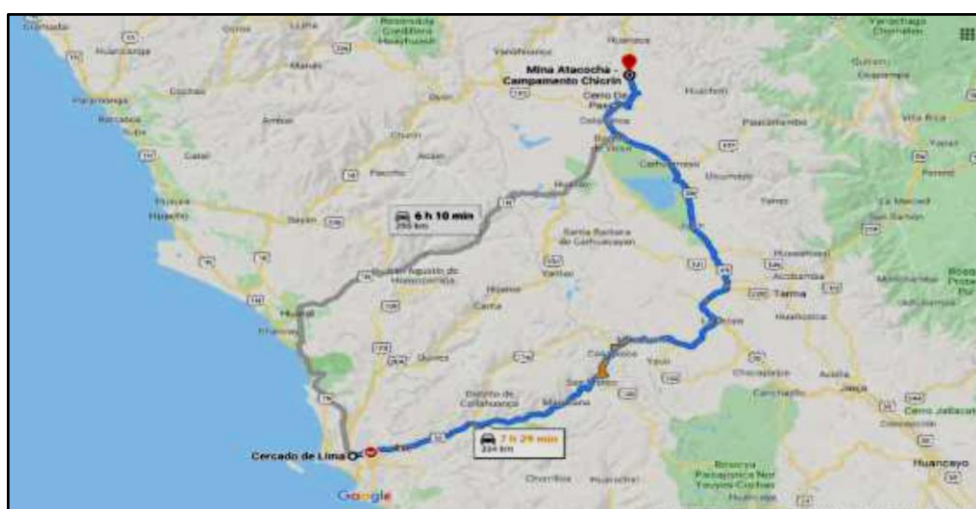
Temporal

En el proceso de investigación para la recolección de datos, el estudio de la interpretación de la información realizados en el año 2023.

Conceptual

Se desarrolla la búsqueda teórica del Programa de protección respiratoria y enfermedades ocupacionales por exposición a humos metálicos y gases contaminantes.

Figura 1. Ubicación y Acceso - Nexa Atacocha



Fuente: Google Maps.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Es posible controlar las Incidencias de la Perforación y Voladura Subterránea del Tajo San Gerardo – Nexa Atacocha?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo afectan las labores subterráneas antiguas en la perforación y voladura del Tajo San Gerardo?
- ¿Cómo afectan las incidencias del Tajo San Gerardo en el desarrollo del ciclo de minado?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General

Controlar las Incidencias de la Perforación y Voladura Subterránea del Tajo San Gerardo – Nexa Atacocha.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Detectar a tiempo las labores subterráneas antiguas para no perturbar la perforación y voladura del Tajo San Gerardo.
- b. Controlar las incidencias del Tajo San Gerardo para optimizar el desarrollo del ciclo de minado.

1.5. Justificación de la Investigación

La investigación surge a raíz de los incidentes relacionados con los puntos de conexión en trabajos subterráneos, en las operaciones de perforación y voladura del Tajo San Gerardo. Por lo tanto, es necesario examinar cada operación por separado, así como los parámetros pertinentes y todos los recursos empleados para lograr una fragmentación adecuada del material y reducir el peligro de accidentes debido a la existencia de trabajos subterráneos no identificados por su antigüedad.

1.6. Limitaciones de la Investigación

El tajo San Gerardo tiene limitaciones para efectuar la perforación y voladura por tener incidencias por haber coincidido con labores subterráneas antiguas, y se tienen puntos de conexión con estas labores las cuales generan deficiencias en la perforación y voladura, por lo que es necesario identificar para solucionar mediante un adecuado.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Cáceres Ariza, C. A. (2012). En su trabajo: “Implementación de estándares operaciones para dar cumplimiento a las normas de seguridad y salud ocupacional en la Cía. Minera Agregados Calcáreos S.A”., indica que:

La implementación de los estándares operativos posibilita que la compañía se ubique en el mercado de trabajo. Las formaciones continuas del personal en normas laborales reducen los costos de pérdidas debido a la falta de conocimiento. (p. 111).

Ramos Mantari, J. R. (2012). En su investigación, titulado: “Implementación del manual de estándares a fin de mejorar la herramienta de gestión de seguridad empresa Doe Run Perú - división Cobriza”, determina que:

A través del enfoque de realidad e investigación, se logró reconocer la diversidad de riesgos en los procesos productivos, lo que contribuyó a la construcción de nuevas realidades en el control de riesgos, las cuales pudieron ser reflejadas en un manual de estándares. (p. 98).

Roque Pulcha, R. M. (2013). En su trabajo denominado: “Plan de seguridad salud ocupacional y medio ambiente para incrementar los estándares de seguridad en operaciones de perforación y voladura E.E. Pevoex Contratistas S.A.C”., concluye que:

La elaboración de un plan de administración en la E.E PEVOEX, se enfoca en la gestión estratégica de una cultura organizacional comprometida con la seguridad, la salud laboral y la prevención de riesgos. Sugiriendo la puesta en marcha de un programa de incentivos para los empleados que muestren la implementación de los estándares de seguridad en el trabajo (p. 186).

López Arias, C. R., & Torres Pallarco, C. (2019). En su trabajo de investigación: “Implementación de estándares en perforación y voladura en la reducción de costos de producción en el crucero chunka diluvio de la empresa S.M.R.L. Los Tesoros del Inca-Ayacucho-2018”, menciona que:

Las implementaciones en los instrumentos de administración siguen las normativas legales que están en vigor. La Puesta en práctica de la norma sugerida de perforación y voladura mejora la reducción de los taladros perforados y disminuye, por lo tanto, los costos por metro lineal en perforación y voladura. (p.79).

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Perforación.

La perforación es la tarea que se lleva a cabo en el proceso de voladura con el objetivo de generar cavidades cilíndricas dentro del macizo rocoso, donde se coloca el explosivo y los elementos requeridos para volar. En el proceso, esos espacios se conocen como barrenos, taladros, hoyos o barrenos.

Para lograr un confinamiento adecuado y, por lo tanto, maximizar la energía del explosivo para dismantelar el macizo rocoso, es fundamental llevar a cabo correctamente el proceso de perforación.

2.2.2. Voladura

La voladura se refiere al conjunto de métodos utilizados para la fragmentación del macizo rocoso mediante el uso de explosivos, ya sea en minas subterráneas o en minas de tajo abierto.

Los sistemas de detonación, conocidos también como detonadores, tienen la posibilidad de ser usados en socavón y a cielo abierto para lograr el inicio en el barrenado, que es el cartucho que se activa con la explosión.

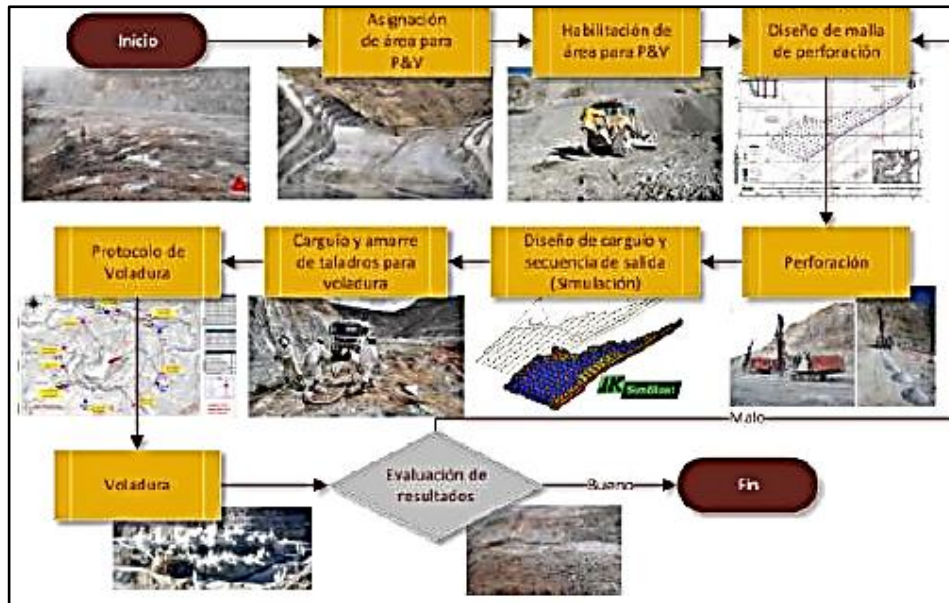
Tabla 1. Proceso de Perforación y Voladura en el Tajo San Gerardo

N°	Proveedor (Interno/ Externo)	Entrada	Subproceso / Actividades	Salida	Cliente (Interno/ Externo)
1	Geología CMA Pervol PVX Operaciones CMA y PVX Geotécnia CMA Planeamiento CMA y PVX	Reunión semanal de planeamiento	Asignación y secuencia de áreas para P&V	Áreas permitidas para proyectos de P&V	Geología CMA Operaciones CMA PVX Pervol PVX
2	Planeamiento PVX Geotécnia CMA	Zonificación geomecánica de las áreas asignadas para P&V	Diseño de malla de perforación	Plano de diseño de malla para perforación	Geología CMA Operaciones CMA PVX Geotécnia CMA, Planeamiento CMA y PVX Pervol PVX
3	Operaciones PVX	Coordinación con operaciones para la habilitación de la plataforma	Habilitación de plataforma para P&V	Plataforma habilitada para P&V	Pervol PVX
4	Topografía PVX Pervol PVX Geotécnia CMA	Plano de malla de perforación Marcación de los taladros Orden de trabajo Prueba de perforadora IPEC continuo Plano de riesgo de caída de rocas y comunicación de labores subterráneas PETAR	Perforación	Taladros perforados Reporte de perforación	Pervol PVX Oficina Técnica PVX Geología CMA
5	Topografía PVX Pervol PVX	Levantamiento de la malla de perforación ejecutada	Protocolo de Voladura	Cantidad de explosivos que se va a requerir, diseño de malla de voladura, diseño de carga, plano de radio de influencia de voladura.	Pervol PVX Operaciones CMA y PVX Geotécnia CMA Planeamiento CMA SSOMA CMA y PVX RRCC CMA
6	Pervol PVX Operaciones CMA	Diseño de malla de voladura Diseño de carga Autorización de salida de explosivos	Solicitud de Explosivos y Accesorios	Salida de explosivos y accesorios	Pervol PVX
7	Pervol PVX Operaciones CMA	Vale de salida de explosivos Carnet SUCAMEC Orden de trabajo Prueba de camioneta IPEC continuo	Transporte de explosivos y accesorios	Explosivos y accesorios en el área cargado	Pervol PVX
8	Pervol PVX Operaciones CMA	Diseño de malla de voladura Diseño de carga Orden de trabajo Carnet Sucamec IPEC continuo Plano de riesgo de caída de rocas y comunicación de labores subterráneas PETAR	Cargado y ensamble de taladros para voladura	Proyecto de P&V cargado con explosivos	Pervol PVX
9	Pervol PVX Operaciones CMA y PVX Mantenimiento PVX SSOMA PVX	Plano de radio de influencia Reunión LINE UP Vigías de voladura PETAR Carnet Sucamec IPEC continuo	Voladura del proyecto	Material fragmentado *En caso de tiros cortados se ejecutara el procedimiento de tiros cortados	Geología CMA Operaciones CMA y PVX Geotécnia CMA Planeamiento CMA y PVX
10	Pervol PVX	Carnet Sucamec Prueba de camioneta IPEC continuo	Devolución de remanente	Entramamiento de remanente en el polvorin	CMA

Fuente: Pervol, Pevoex S.A.C.,

Los subprocesos necesarios para adquirir el material fragmentado, así como las áreas implicadas tanto al comienzo como al término de la actividad, y los resultados logrados para la actividad, sin olvidar los recursos requeridos para llevar a cabo la actividad

Figura 2. Esquema de procesos de las operaciones de perforación y voladura

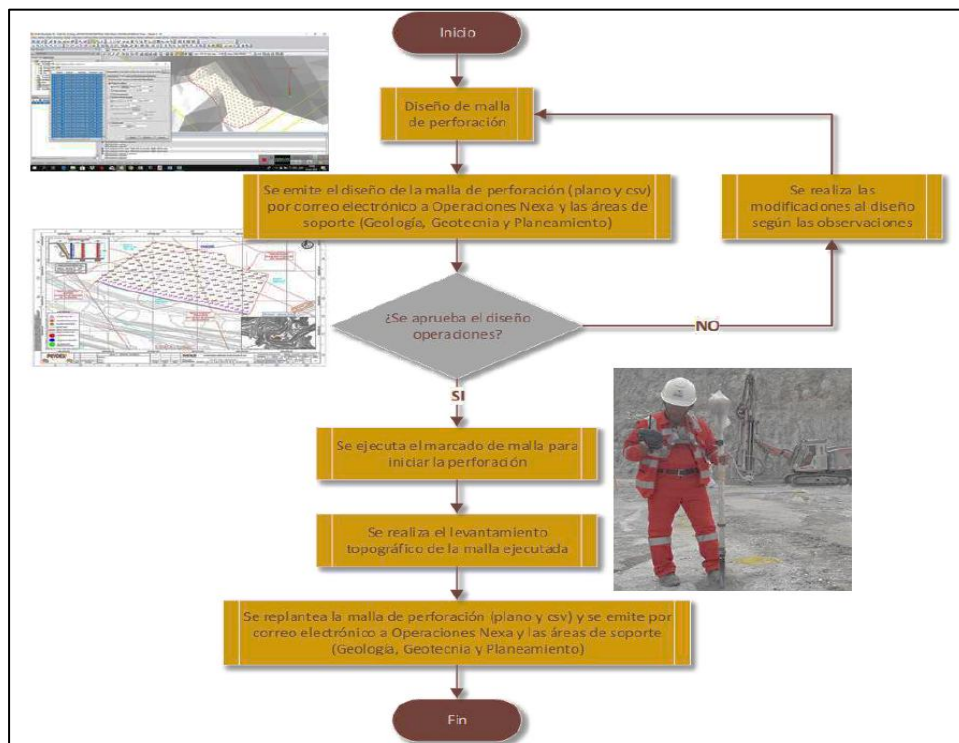


Fuente: Pervol, Pevoex S.A.C.,

2.2.3. Labor en el Tajo San Gerardo – Perforación

La perforación en el Tajo San Gerardo se inicia con la planificación semanal. En esta fase se definen las áreas para perforar y volar, y se trabaja junto al departamento operativo para poner en funcionamiento la plataforma designada. Cuando la plataforma está cerca del talud de diseño final, se coordina con el departamento de geotecnia para evaluar el talud. Si se encuentra algo como bancos sueltos o dedos fuera del diseño, se ajusta y perfila el talud usando una excavadora y, si es necesario, también un martillo hidráulico. Después de las correcciones, se libera el talud y se inicia la perforación. El diseño de la malla se realiza con los parámetros establecidos después de esto.

Figura 3. Diseño de la malla con los parámetros determinados



Fuente: Pervol, Pevoex S.A.C., 2019

Perforación roto percutiva

El método de perforación roto percutiva es el método más tradicional para perforar taladros. Este El procedimiento utiliza aire comprimido y el mecanismo de perforación de estos aparatos se basa en que un componente de acero (pistón) golpea a una herramienta, la cual transfiere la energía al fondo del barreno mediante un elemento final (broca). Los equipos rotopercutivos se dividen en dos grupos principales, según la ubicación del martillo.

Drifter hidráulico (martillo TH)

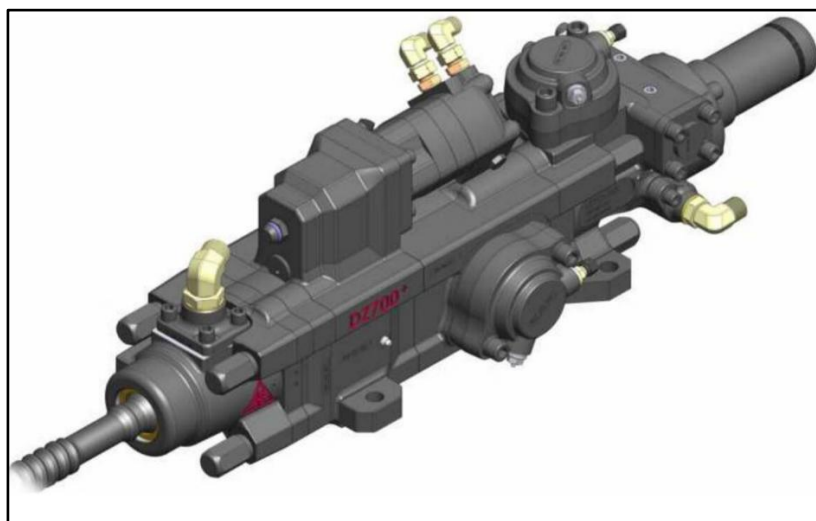
Las perforadoras de superficie son las más frecuentes y se llaman así porque el martillo de perforación trabaja sobre la superficie del terreno, y entre este y la broca se ubica la columna o sarta de barras. Sus beneficios son que los montajes de sus aceros o herramientas tienen un peso bajo y que la rotación y percusión suceden fuera del taladro. En este método de perforación, es necesario que se maximice la energía de

impacto que el martillo envía por medio de las varas de extensión, para que la fuerza de avance sin interrupciones; por ello, el equipo perforador tiene que estar bien asentado en el suelo.

La limitación de las longitudes de los taladros es uno de los problemas de las perforadoras de superficie, a causa del rango de profundidades y diámetros que pueden cubrir. La energía que se pierde en la sarta de barras se reduce significativamente. la penetración en perforaciones a 100 metros de profundidad, por ejemplo. Además, si el taladro se desvía al perforar en seco, puede llegar a su punto más crítico y dificultar el barrido o la limpieza.

El ruido es otra desventaja de las perforadoras de superficie, debido a que su emplazamiento casi a la altura del oído del intérprete hace que el nivel sonoro sobrepase los límites establecidos. El acero de perforación supone otro problema, pues requiere que toda la energía de impacto sea transmitida y absorbida por el equipo de perforación, lo cual genera una alta concentración de esfuerzos y tensiones. Por lo tanto, cuando se trata de perforaciones profundas, el precio del acero puede llegar a ser muy alto, debido a que un porcentaje significativo de esa energía no se transfiere al instrumento de corte.

Figura 4. Drifter hidráulico (martillo TH)



Fuente: Mantenimiento, Pevoex S.A.C.

Martillo en fondo (DTH)

Este sistema opera en la parte baja de una columna de perforación y su rasgo distintivo es que actúa directamente sobre la roca que necesita ser perforada. Esto incrementa significativamente la eficacia laboral, pues, a diferencia del sistema de perforación superficial, el gasto energético entre la herramienta de trabajo y la columna se mantiene en un mínimo constante.

La limpieza de los taladros, especialmente en terrenos áridos, es otro beneficio de este sistema. Esto se debe a que el escaso espacio anular entre las barras y la herramienta de corte permita que la velocidad de barrido sea óptima al utilizar el aire de escape del martillo perforador. El hecho de que el ruido sea bajo es otra ventaja, ya que la percusión del martillo y la salida de los ruidos se realizan en el fondo del pozo.

Entre sus inconvenientes se encuentra el peligro de manejar un equipo neumático debajo de la superficie. Si, por accidente o por desplome del pozo, el material cae al fondo, se creará un anillo de obstrucción que impedirá y/o complicará la extracción y remoción del material desplazado; En ciertos casos esto puede ser incluso imposible, lo que conllevaría la pérdida del martillo de perforación junto con su herramienta .y parte de la columna perforadora.

Figura 5. Drifter hidráulico (martillo DTH) y partes



Tabla 2. Limitaciones y Ventajas de los sistemas TH y DTH

Tipo	Limitaciones	Ventajas	Utilización
TH	- Presión máxima del aire comprimido 8 bar - En taladros con diámetros grandes, gran pérdida de energía - Área de trabajo del pistón grande - Efecto de colmatación en formaciones atravesadas - Longitud de taladro menor	- Rápido en rocas competentes - Ligeras - Diseño compacto - Gran versatilidad - Bajo mantenimiento - Fácil transporte - Poco empuje sobre la broca por lo que se reduce la velocidad de rotación - Costo reducido por metro perforado - Diámetros $\leq$ a 125 mm	• Perforación de taladros • Construcción • Minería de superficie • Canteras • Ingeniería civil • Eficientes en canteras de áridos y caliza
DTH	• Diámetros más limitados (a partir de 80 mm) • Equipo más pesado • Velocidad de rotación constante per más baja • Costes de adquisición mayores • No es adecuada para terrenos poco consolidados • Poco eficientes para diámetros $\leq$ 80 mm	• Menor área de trabajo del pistón • Requiere poco peso sobre la broca (1000 - 3000 kg) • NO precisa barras de carga • Mayor precisión de aire comprimido (hasta 25 bar) • Gran velocidad de avance • Menor ruido • Menor fatiga en la sarta • Menores desviaciones • Diámetros entre 80 - 200 mm	• Perforación de taladros • Construcción • Minería de superficie • Canteras • Ingeniería civil • Adecuada para terrenos muy duros

Fuente: González, D. (2016).

Equipos de Perforación

○ DP1500i (TH) - Sandvik

El equipo de perforación DP1500i es una perforadora hidráulica diésel y autopropulsada con martillo en superficie, que resulta perfecta para hacer perforaciones de precorte o reducción en minas a cielo abierto, sitios de construcción y explotaciones grandes. Genera una gama de datos de perforación, que incluye el estado del equipo de perforación y la mano de obra ejecutada, y proporciona la mayor potencia en su categoría para optimizar la velocidad de penetración. Permite realizar perforaciones con taladros de un diámetro que varía entre 89 y 152 milímetros (equivalente a entre 3 ½ y 6 pulgadas).

Figura 6. Perforadora DP1500i - Sandvik



Fuente: Mantenimiento

La perforadora DP1500i se utiliza en las operaciones de extracción del Tajo San Gerardo. Realiza el trabajo de perforar taladros de producción con una broca

de 5 pulgadas, aunque a veces, debido a las demandas operativas, el equipo también perfora taladros de buffer y precorte con brocas de 4 pulgadas.

- **FlexiROC D65 (DTH) – Epiroc**

La perforadora hidráulica FlexiROC D65 con martillo de fondo (DTH) está pensada para la minería y las canteras grandes; Realice orificios rectos y limpios, con abundante aire, con el fin de mantener limpio el orificio para facilitar la carga. La Perforadora FlexiROC D65, con un diámetro de broca de 5 pulgadas, es utilizada para hacer taladros de producción en las operaciones mineras del Tajo San Gerardo.

Figura 7. Perforadora FlexiROC D65



- **DX800 (TH) – Sandvik**

La perforadora DX800 es un equipo de perforación hidráulica autopropulsada, que cuenta con motor diésel y martillo en superficie. Su propósito consiste en llevar a cabo un cabo taladros de precorte y producción en la perforación de superficie.

El equipo autocontenido montado sobre oruga presenta una superestructura que puede girar, es muy estable y tiene la capacidad de perforar taladros con un diámetro que varía entre 76 y 127 milímetros (3 a 5 pulgadas).

La perforadora DX800 realiza la función de hacer taladros de precorte, buffer y producción en rampas, con un diámetro de broca de 4 pulgadas, durante las operaciones mineras del Tajo San Gerardo.

Figura 8. Perforadora DX800

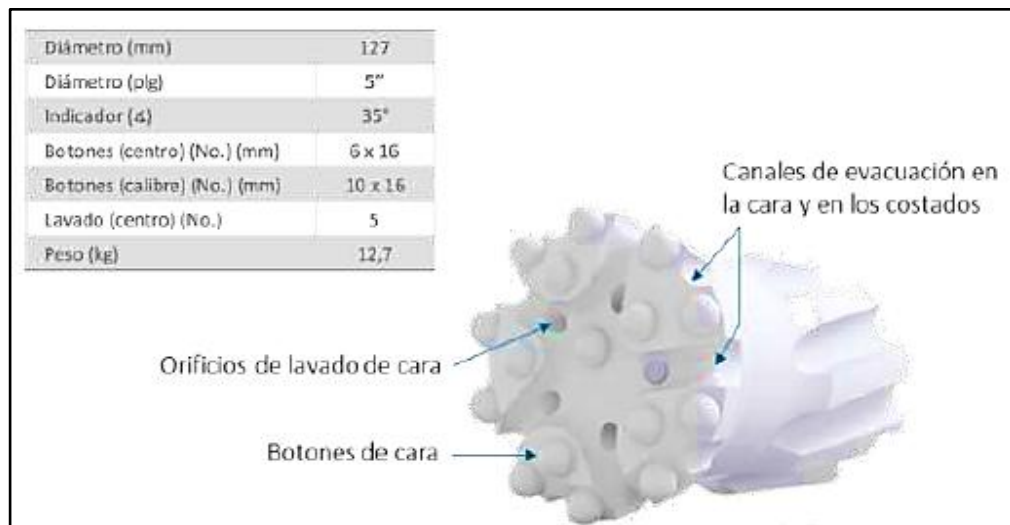


Aceros de perforación

- **Brocas de botones**

Estas brocas tienen botones o insertos cilíndricos de carburo de tungsteno que están distribuidos por toda la superficie, según ProRock (2013). Se producen en diámetros que oscilan entre los 50 mm y los 251 mm. Las brocas de botones tienen un mejor rendimiento en la perforación rotativa, alcanzando velocidades de avance más altas. Además, son más resistentes al desgaste, no solo gracias a la forma de los botones, sino también porque el acero se sujeta con mayor eficacia mediante contracción o presión en frío alrededor del perímetro de los insertos.

Figura 9. Broca retráctil GT60 de 5"- RG127DSR (Robit), vista isométrica



○ **Barras de perforación (TH) y tubos (DTH)**

Las barras de perforación tienen la función de llevar la energía del martillo (TH) a la broca. Estas barras roscadas poseen para acoplarse. Hoy en día, se emplean barras con acopladores integrados, por lo que los adaptadores han pasado a ser innecesarios.

Figura 10. Barra de perforación con acoplamiento incorporado (TH)



Parámetros de perforación

Según Gonzáles (2016), los parámetros de perforación más importantes para diseñar las mallas son: el taco, el espaciamiento, la carga, la sobreperforación y el diámetro del taladro. Los parámetros que se aplican en las mallas de perforación en el Tajo San Gerardo cambian dependiendo del modelo de taladro.

Tabla 3. Parámetros de perforación en banco en el TSG

Parámetros	Unidades	Producción	Buffer	Precorte
Altura de Banco	m	6.00	6.00	6.00
Diámetro de Broca	plg	5.00	4.00	4.00
Malla	m	Triangular	Triangular	Lineal
Espaciamiento	m	4.80	3.00	1.50
Burden	m	4.17	3.00	-
Profundidad	m	6.80	6.20	6.00
Sobreperforación	m	0.80	0.20	0.00

○ Diámetro de taladro

Pensamos que es el criterio más importante para diseñar la malla de perforación, ya que los otros parámetros están vinculados directamente con el diámetro del taladro.

Aumentar el diámetro del taladro produce un aumento en los parámetros de carga y espaciamiento, lo que a su vez provoca una disminución del número de taladros por proyecto. Esto lleva a una reducción del costo total de perforación y voladura. Sin embargo, conlleva a la pérdida de control sobre la fragmentación debido a la distribución inadecuada de la carga explosiva. Además, si se incrementa la carga operativa, esto puede generar más vibraciones y potenciales daños en distribución los taludes de la carga explosiva. En el Tajo San Gerardo, los taladros de producción tienen un diámetro de 5" y los taladros de precorte de 4".

- **Burden**

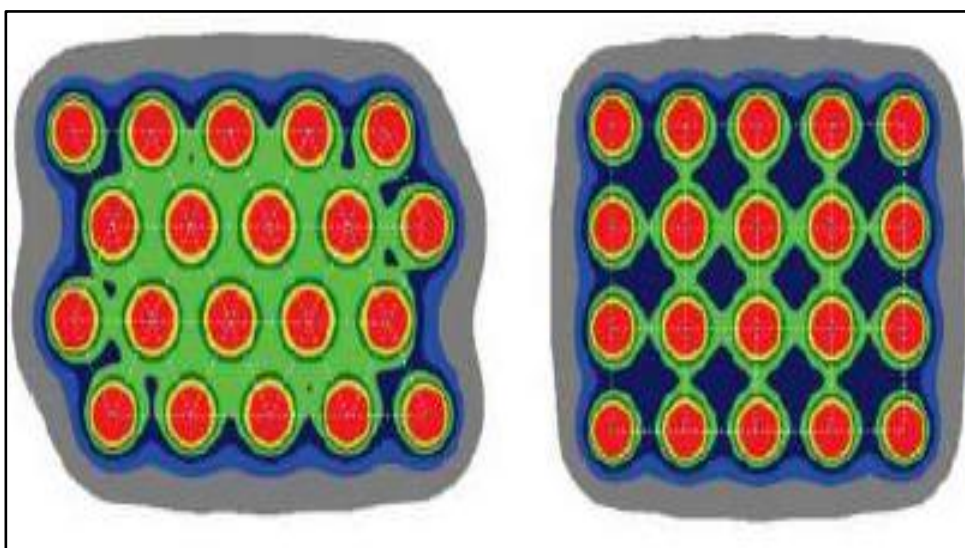
La carga de un taladro es la distancia más corta entre el taladro y la cara libre, que se mide en ángulo recto con respecto a la línea del taladro que forma una fila. El cargo efectivo, por otro lado, es la distancia lineal entre el taladro y la posición más cercana de la cara libre en el momento en que se detona el taladro; este último toma en cuenta también la dirección de iniciación.

- **Espaciamiento**

El espaciado es la distancia lineal entre los taladros adyacentes que conforman una fila, y a menudo se mide de manera paralela a la cara libre. La distancia lineal entre los taladros que se detonan uno tras otro, considerando la dirección de la cara libre, se llama espaciado efectivo.

Para efectos de comparación, examinamos la distribución de energía en las mallas de voladura cuadradas y triangulares. El resultado fue más favorable para la triangular, ya que presenta una mejor distribución de energía en el área central de los taladros. En contraste, la plaza muestra un déficit energético en esa misma zona.

Figura 11. Barra de perforación con acoplamiento incorporado (TH)



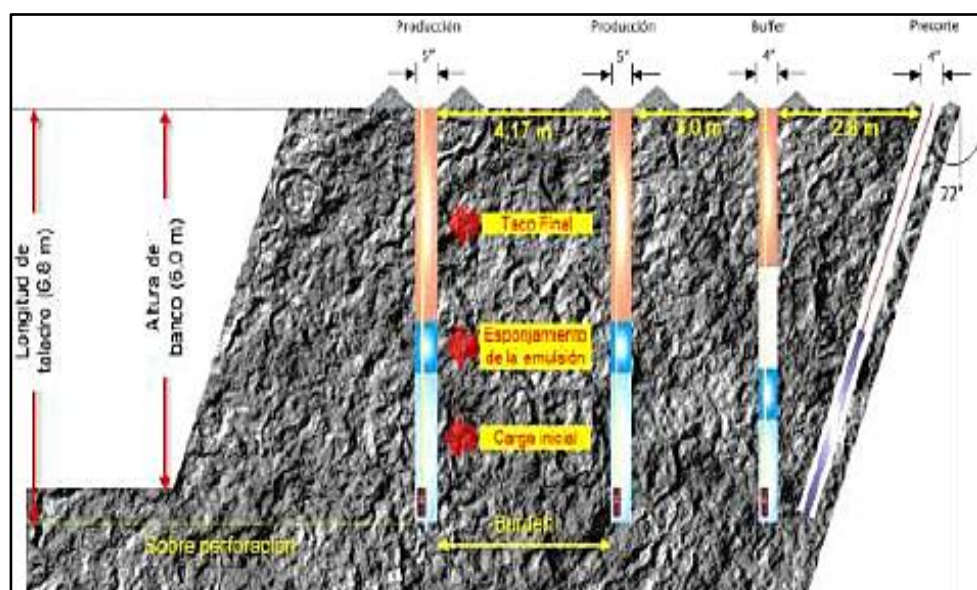
- **Taco**

El taco es el material estéril que se incorpora a los taladros con el objetivo de encerrar la energía de la voladura. Cuanto más tiempo se mantenga el taco en su posición, más efectiva será la energía de la voladura y mayor será la fragmentación. Es importante señalar que el taco tiene relevancia para el medio ambiente porque reduce la onda de choque generada por la voladura y regula la proyección de rocas (fly rock).

- **Sobre perforación**

La sobreperforación ofrece un nivel de fragmentación adecuado al nivel del piso. Los taladros deben perforarse por debajo del nivel del piso del banco, en relación con lo mencionado anteriormente. Si no se realiza una perforación adecuada, el piso puede volverse irregular, lo que ocasiona inconvenientes como pisos encalaminados que perjudican los elementos de los equipos de acarreo y disminuyen su rendimiento, demoras en la reparación de los equipos auxiliares, sobreestimaciones de recursos minerales por banco, entre otros.

Figura 12. Diseño de la malla de perforación - Tajo San Gerardo



Fuente: Pervol, Pevoex S.A.C.,

Parámetros de voladura

El diseño de carga explosiva en Tajo San Gerardo está gobernado por una serie de variables controlables que hemos agrupado en tres categorías:

- Parámetros geométricos (diámetro de taladro, longitud de carga, burden, espaciamiento, etc.)
- Parámetros del explosivo (tipo de explosivo, velocidad de detonación, energía, sistema de primado, etc.)
- Parámetros de tiempos (tiempos de retardo y secuencia de iniciación)

El diámetro influye directamente en la carga lineal del explosivo en un taladro: cuanto más grande es el diámetro, mayor es la densidad lineal, siempre que el factor de acoplamiento sea 1. En el Tajo San Gerardo, podemos decir que los taladros de producción y buffer tienen diámetros de 5" y 4", respectivamente, y que su factor de acoplamiento es 1 porque empleamos explosivos a granel (SAN-G y ANFO si los taladros están conectados a trabajos subterráneos). La emulsión encartuchada acoplada en mangas de 1¼" se emplea para los taladros de precorte con un diámetro de 4". Se lleva a cabo el precorte con este tipo de explosivos debido a que el COM de la mina no permite el uso de otros explosivos, como el famacorte o las dinamitas, que mejorarían las detonaciones en la etapa del precorte. Es importante señalar que no se repite al cordón tonante por el ruido que genera este material y que perjudica a la comunidad vecina de las operaciones.

La altura de banco es un factor controlable que se establece en base al diseño del tajo. La relación entre la altura del banco y la carga efectivo (H/B) es de 1,5. Esta relación no es muy grande, lo que podría señalar dificultades al mover el material durante la voladura; Sin embargo, esto se compensa con la energía de detonación del agente de voladura.

La inclinación de los taladros es un factor manipulable que tiene un impacto directo en la voladura, ya que el explosivo en perforaciones no paralelas puede provocar pies de buey en el piso o bolonería en el collar.

El taco es otro factor controlable de relevancia, pues este material ubicado en la parte alta del taladro permite encerrar la energía de la voladura para que sea eficaz en el macizo rocoso y no se pierda por el collar del taladro. Para elegir el tipo y tamaño del material, en el Tajo San Gerardo se selecciona el desmante de voladuras previas. Para conseguir un material apropiado, se cuna este componente y así separamos el taco ideal para los proyectos de voladura; la altura promedio del taco para taladros destinados a producción es 2.8 m.

La sobreperforación es una variable que se puede controlar, en el Tajo San Gerardo, en los taladros de producción se hace con una altura de 0,8 m, lo que garantiza una fragmentación óptima en los pisos de cada banco. Es importante señalar que en los taladros de precorte y buffer la sobreperforación es de 0,2 m y 0,4 m respectivamente.

Diseño de carga

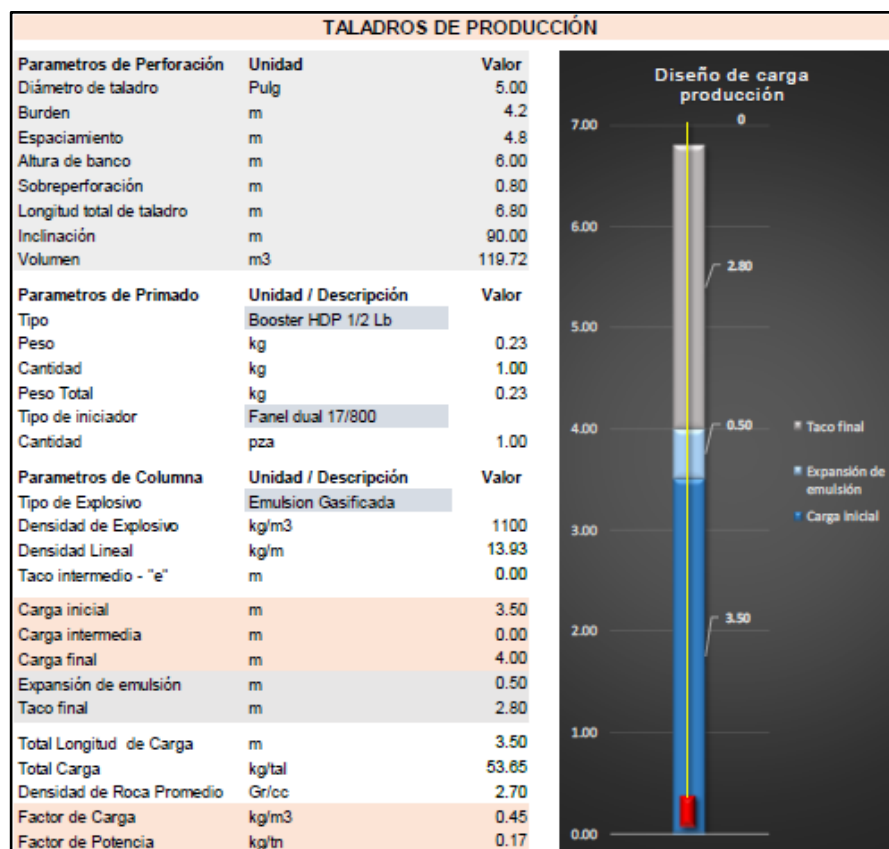
El diseño de carga consiste en los explosivos y accesorios que se emplean para cargar un taladro de perforación, como el detonador, la prima (cebo), el taco, la carga de fondo (explosivo) y las dimensiones de esta última, incluyendo su longitud y la cantidad del material a utilizar.

Taladros de producción (PRD)

La figura muestra cómo está diseñado el cargado de los taladros en la producción del Tajo San Gerardo. Este diseño incluye, entre otras cosas, una columna de carga que emplea emulsión gasificada SAN-G; un booster hdp de media libra como cebo y el fanel dual de 17/800 (con un retardo superficial de 17 ms y uno de fondo de

800 ms) como detonador. El factor de potencia promedio para este tipo de taladro es 0,17 kg/Tn.

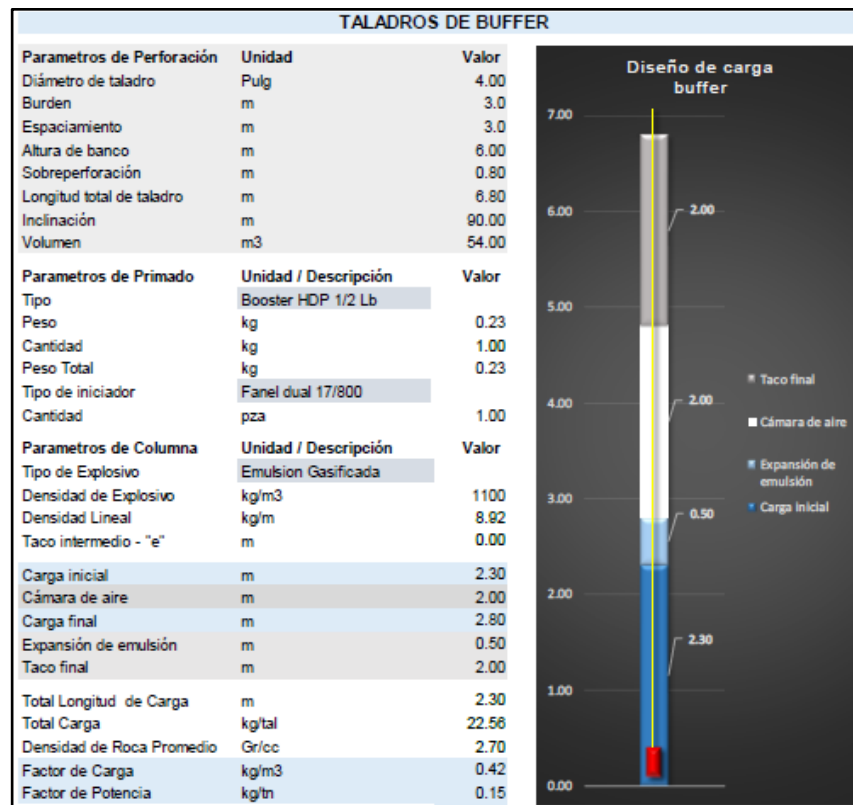
Figura 13. Diseño de carga para taladros de producción



Taladros de buffer (BF)

La Figura 14 ilustra el diseño de la carga para perforaciones de amortiguamiento (buffer) en Tajo San Gerardo. Este diseño consiste, esencialmente, en emplear una emulsión gasificada SAN-G, en la columna de carga; un booster hdp de ½ libra se usa como cebo, y un fanel dual de 17/800 (17 ms retardo superficial y 800 ms retardo profundo), como detonador. El diseño de cargade perforadoras para producción se distingue por la menor cantidad de emulsión y por crear una cámara de aire (airdeck) que tiene como objetivo amortiguar la energía de las perforadoras para producción.

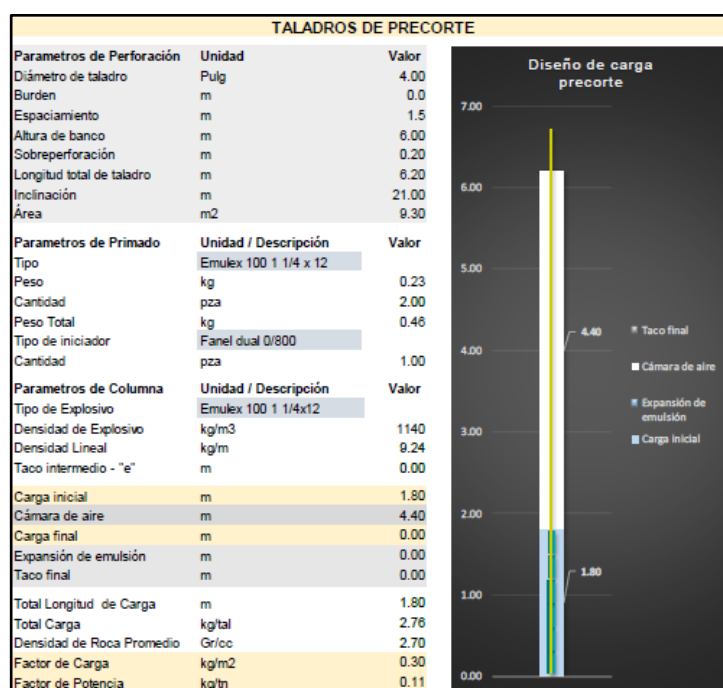
Figura 14. Diseño de carga para taladros de buffer



Taladros de precorte (PC)

El diseño de carga para perforadoras de precorte en el Tajo San Gerardo se detalla en la Figura 15. La función principal de este tipo de perforadora es generar la cara del talud, por lo que la carga explosiva es mínima. El diseño consiste en una carga acoplada de emulsión, encartuchada en mangas de polietileno. El cebo consiste en un paquete de emulsión y no incluye taco, el detonador ventilador dual con una duración de 0/800 ms.

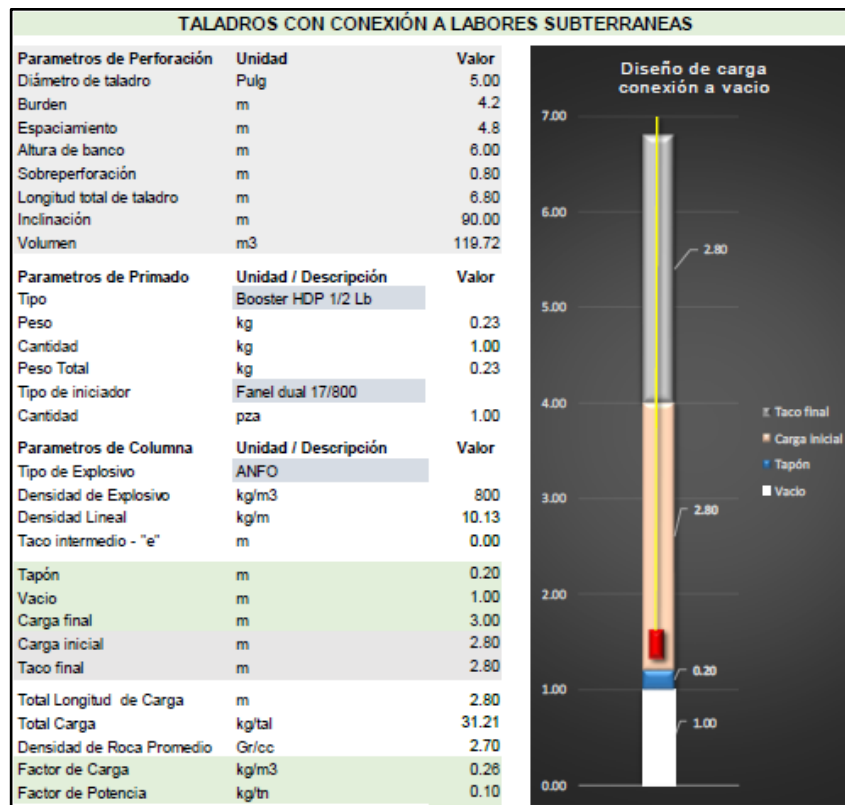
Figura 15. Diseño de carga para taladros de precorte



Taladros con conexión a labores subterráneas

El diseño de la carga para taladros que se conectan a trabajos subterráneos es diverso y está determinado en gran medida por el tipo de conexión, ya sea a vacío o a relleno. En la Figura 16 se muestra el diseño de un taladro conectado al vacío. En esta situación, se emplea un tapón que mantiene la carga de ANFO dentro de las mangas de polietileno. El resto del diseño es semejante al de un taladro Destinado a producción, pero con una carga más reducida debido a su longitud más corta. Para los taladros conectados a relleno, se utilizan cargas en mangas que contienen ANFO y un sistema de iniciación doble para garantizar que toda la columna de carga detone.

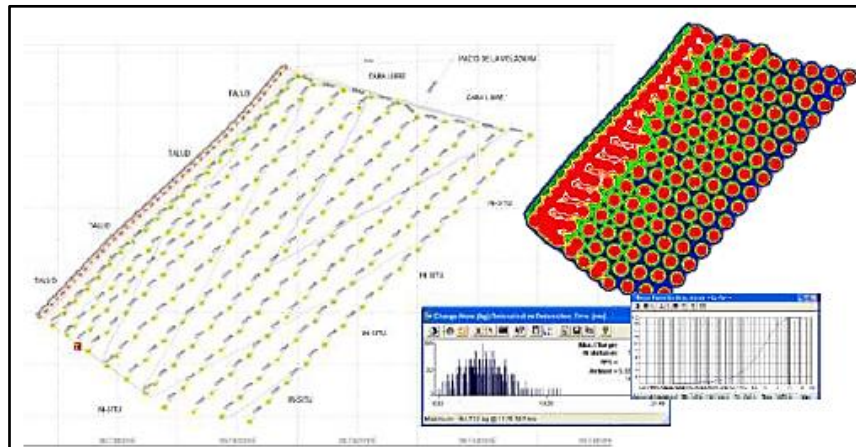
Figura 16. Diseño de carga para taladros con conexión a labores subterráneas



Simulación de Malla de Voladura

Cuando se cuenta con el diseño de carga para los taladros, se pasa a diseñar la malla de voladura. Para ello, es necesario realizar un levantamiento topográfico de los taladros hechos en campo. Estos taladros son cargados en el software JK Simblast y se llevan a cabo las simulaciones. El objetivo de estas simulaciones es conseguir parámetros que estén cerca de la realidad, como la carga máxima por grupo de taladros (carga operante). Se calcula la VPP (velocidad pico partícula) con el objetivo de controlar las vibraciones, el ruido, la fragmentación y la distribución de energía de los taladros en la malla de voladura. Para determinar cuál es el mejor momento para que se produzca la salida de esta, ya sea "v", "echelon" o "diamante" en el caso de explosiones sin cara libre, se utilizan las isolíneas temporales. La simulación de la voladura número 372 se puede apreciar en la Figura 17.

Figura 17. Simulación del proyecto de P&V N° 372, Banco 4222, Fase 3



2.2.4. Voladura Tajo San Gerardo

Se emplea emulsión gasificada para el llenado de taladros, que es bombeada con un camión de fábrica de 12 toneladas de capacidad. La densidad de la emulsión a emplear se determina en función del tipo de litología y la cantidad de energía necesaria para fragmentar la roca. Esta densidad se controla en el terreno mientras los taladros están cargando, tomando las densidades y esponjando la emulsión en el taladro. Con la emulsión gaseosa, únicamente tenemos silos disponibles en el polvorín que tienen un espacio de 60 toneladas para almacenar la emulsión matriz.

Se emplean accesorios de arranque no eléctrico silencioso (sin interruptor detonante), con un retardo de 800 ms en el fondo y 0,17 ms en la superficie entre cada taladro; También se usa un refuerzo de 1/2 libra para la detonación. El intervalo entre cada fila es de 25, 35, 42 y 65 ms.

Para calcular la fragmentación y la vibración generadas, se simula cada diseño de amarre de voladura y su secuencia de salida con un programa informático. De este modo, se pueden realizar correcciones en función del objetivo de cada disparo.

Para regular el grado de vibraciones provocadas por la voladura, se dispone del equipo de dos sismógrafos (INSTANTEL) para campo cercano y lejano.

- **Campo lejano**, Se refiere al seguimiento de distancias superiores a 50 metros, comprobando las ondas superficiales que son de menor magnitud y se propagan a grandes distancias. Esto nos lleva a considerar a construcciones civiles como viviendas, escuelas, instituciones, oficinas, en este caso, la localidad de San Juan de Milpo.
- **Campo cercano**, Incluye el seguimiento en distancias inferiores a 50 metros, vigilando las ondas P, S y V para proteger la estabilidad de los taludes y prevenir la posible ruptura excesiva en las paredes del Tajo.

Explosivos disponibles

Los explosivos y componentes de voladura empleados en el Tajo San Gerardo, cabe destacar que estos explosivos están registrados en el COM (Certificado de Operación Minera) otorgado por el Ministerio de Energía y Minas.

Explosivos primarios

Los iniciadores, también conocidos como explosivos primarios, se degradan a través de una detonación si son activados con un mínimo estímulo externo. Este estímulo puede ser casi cualquiera: fuego, fricción, impacto, choque, corriente o incluso una llama, efecto eléctrico, radiación, entre otros. Su sensibilidad es extremadamente alta, particularmente cuando son puros, y suele estar fuertemente vinculada a su estructura cristalina y granulometría.

Fanel CTD

El Fanel CTD es un sistema de iniciación que se emplea para retrasar taladros, y consiste en una manguera fanel ensamblada a un fulminante de retardo y colocada en un bloque de plástico. Este bloque es parecido al que utiliza el fanel dual y tiene la capacidad de albergar hasta seis (6) mangueras fanel. Los componentes que componen el Fanel CTD son los siguientes:

- **Fulminante de retardo:** Es un Fulminante N° 3 que posee en su interior un explosivo primario de gran sensibilidad, uno secundario con una potente capacidad de explosión y un componente retardador, conforme a su número. Por último, está ensamblado en uno de los extremos de la manguera Fanel y se encuentra insertado en un bloque plástico de tipo "Hongo".
- **Manguera fanel o tubo de choque:** Confeccionado con materiales termoplásticos de gran resistencia mecánica y cubierto internamente por una sustancia reactiva que, al ser activada, genera una onda de choque capaz de encender el fulminante retardado debido a su presión y temperatura. Uno de sus extremos está sellado con ultrasonido, mientras que el otro está acoplado al fulminante de retardo.
- **Etiqueta:** Está situado en el extremo de la manguera y señala el tiempo de retardo en milisegundos. Además, contamos con un código de barras que posibilita la trazabilidad del producto.
- **Conector plástico tipo "Hongo":** Es un bloque de plástico hecho a medida para optimizar la conexión y garantizar el contacto entre las mangueras fanel y el fulminante de retardo. Este componente posibilita la unión de múltiples tubos de choque.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del Fanel CTD

Especificaciones técnicas	Unidades	Fanel CTD
Del fulminante de retardo		
Diámetro	mm	7,3
Longitud	mm	60
Prueba de esopo,	mm	Min. 4
Diámetro de perforación		
Volumen trauzl	cm3	Min. 2,0
Resistencia al impacto	2kg/1m	No detona
De la manguera fanel		
Material		Termoplástico
Diámetro	mm	3,3 ± 0,2
Longitudes	m	Variable
Color		Amarillo
Velocidad de onda	m/s	2000 ± 200



Fanel Dual

El sistema de iniciación no eléctrica llamado Fanel Dual fue diseñado para la minería subterránea, la minería superficial y las construcciones civiles. Su rasgo principal es que elimina la necesidad de conservar y almacenar varios tiempos de retardo, lo que posibilita al usuario ahorrar dinero. Para perforaciones de producción y buffer, en el Tajo San Gerardo se emplea la Fanel Dual 15.0 MTL 17/800 MS; Para las perforaciones de precorte, se utiliza la Fanel Dual 15.0 MTL 0/800 MS. La Fanel Dual está constituida por los siguientes componentes:

- Fulminante de superficie: Está montado en uno de los extremos de la manguera fanel y contiene un bloque plástico tipo hongo, además incluye un elemento de retardo en un Fulminante N° 3.
- Fulminante de profundidad: Este está montado en el extremo opuesto de la manguera fanel y tiene un componente de retraso en un fulminante N° 12.
- Manguera fanel o tubo de choque: Se elaborado con un material termoplástico de resistencia mecánica elevada y, en su interior, se encuentra recubierta por una sustancia reactiva que genera una onda de choque al ser activada; esta posee suficiente presión y temperatura como para dar comienzo al Fulminante.

- Etiqueta: Señala el tiempo de retardo en milisegundos; primero aparece el del fulminante de profundidad y después el de superficie. Además, contamos con un código de barras que posibilita la trazabilidad del producto.
- Conector plástico tipo “Hongo”: Es un bloque de plástico que ha sido creado con el propósito de facilitar la conexión y garantizar el contacto entre el fulminante de superficie y la fanel, lo cual posibilita ensamblar hasta seis mangueras.

Tabla 5. Detalles técnicos del Fanel Dual

Especificaciones técnicas	Unidades	Fanel Dual
Del fulminante de superficie		
Diámetro	mm	7,3
Longitud	mm	60
Prueba de esopo, Diámetro de perforación	mm	Mín. 4
Volumen traúz	cm ³	Mín. 2,0
Resistencia al impacto	2kg/1m	No detona
De la manguera fanel		
Material		Termoplástico
Diámetro	mm	3,3 ± 0,2
Longitudes	m	Variable
Color		Rojo - Naranja
Velocidad de onda	m/s	2000 ± 200



A photograph showing two red, coiled fanel hoses with white connectors, resting on a grey, textured surface.

Fanel LSEF (línea silenciosa)

El Fanel LSEF, también conocido como línea silenciosa de encendido, es un accesorio diseñado para iniciar disparos primarios y secundarios de manera segura y en silencio. Se utiliza a una distancia previamente acordada por el jefe de voladura y consta de los siguientes elementos:

- Fulminante: Está compuesto por un fulminante número 6 instantáneo que alberga en su interior un explosivo primario extremadamente sensible y uno secundario con una potencia explosiva elevada.
- Manguera fanel o tubo de choque: Está construido con materiales termoplásticos que tienen una gran resistencia mecánica. En su interior, está cubierta de manera uniforme por un material reactivo que, cuando es activado, produce una onda de choque cuya temperatura y presión son lo suficientemente altas como para iniciar

el fulminante de retardo. En uno de los extremos están ensamblados con un fulminante y en el otro extremo está sellado a través de ultrasonido.

- Conector plástico tipo “Bunch Block”: Se trata de un bloque de plástico que se ha creado específicamente para simplificar la conexión y garantizar el contacto entre cuatro mangueras o una línea de cordón detonante.

Tabla 6. Descripciones técnicas del Fanel LSEF (línea silenciosa)

Especificaciones técnicas	Unidades	Fanel LSEF
Del fulminante		
Diámetro	mm	7,3
Longitud	mm	60
Prueba de esopo, Diámetro de perforación	mm	Min. 9
Volumen trauzl	cm3	Min. 15
Resistencia al impacto	2kg/1m	No detona
De la manguera fanel		
Material		Termoplástico
Diámetro	mm	3,3 ± 0,2
Longitudes	m	100 / 200 / 400 / 500 / 700 / 1000
Color		Amarillo
Velocidad de onda	m/s	2000 ± 200



Explosivos secundarios

Los explosivos secundarios, también conocidos como rompedores, son cargas de gran potencia y seguridad que tienen una baja sensibilidad a los golpes o fricciones. Estos solo pueden ser detonados a través de un explosivo primario o detonador # 8. El 100% de los explosivos secundarios (también conocidos como cebos) que se utilizan en el Tajo San Gerardo son boosters de ½ lb (225 gr).

Booster 1/2 lb 225 gr

El Booster, también llamado "cebo", "primer" o "Cast Booster", está conformado principalmente por pentolita. Este es un explosivo de alta presión, velocidad y densidad de detonación. Por lo tanto, al activar la columna explosiva con él, se maximizará su desarrollo energético, lo que tendrá un impacto positivo en el resultado de la voladura.

Se emplear para iniciar explosivos insensibles o agentes de voladura de tipo slurries, Anfo y nitra carbonitratos, que no pueden ser activados por un fulminante

estándar o la fuerza explosiva de un cordón detonante. Estos se emplean en la voladura de perforaciones con diámetros variados en las minas de tajo abierto. Consulte la Tabla 7 para ver las especificaciones técnicas.

Tabla 7. Especificaciones técnicas del Booster HDP-1/2 (225g)

Especificaciones técnicas	Unidades	HDP-1/2 (225g)
Diámetro	mm	43,0 ± 2,0
Altura	mm	120,0 ± 2,0
Peso (g)	g	225 ± 15
Velocidad de detonación	m/s	Min. 7000
Diámetro de perforación en plancha de hierro de 1/2" de	mm	Min. 28
Resistencia presión hidrostática por	kg/cm ²	2,1
Sensibilidad al cordón detonante		5P
Resistencia al agua		Excelente
Densidad	g/cm ³	1,6



Agentes de voladura

Son explosivos muy seguros porque son insensibles a los roces, golpes, el calor, el campo electrostático y al fulminante número 8. Para que detonen, necesitan un explosivo secundario (booster o cebo).

Examon "P" (ANFO)

Es un agente de voladura granulado que se utiliza en explosiones superficiales, puede ser usado como carga de columna en terrenos intermedios o duros y está diseñado específicamente con una mezcla equilibrada de nitrato de amonio y petróleo con oxígeno.

Estos componentes le otorgan un valor energético elevado, seguridad, facilidad de manejo y un costo bajo para su uso en minería. Consultar Tabla 8 para las especificaciones técnicas.

Tabla 8. Detalles técnicos del Examon P (ANFO)

Especificaciones técnicas	Unidades	Examon - P
Densidad Aparente	g/cm ³	0.72 – 0.82
Densidad Compacta	g/cm ³	0.82 ± 3%
Velocidad de detonación*	m/s	3,200 ± 200
Presión de detonación	kbar	21
Energía**	KJ/kg	3,899
RWS**	%	104
RBS**	%	106
Resistencia al agua		Nula
Volumen de gases**	l/kg	1,056.5
Categoría de gases	Categoría	2da
Color Anaranjado		Anaranjado



Solución Acuosa de Nitrato Gasificable SAN-G

Según Huayanay (2017), es un agente de voladura que se elabora a partir de una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua, la cual es estabilizada por un elemento emulsionante. Esta emulsión es sensibilizada en las operaciones de minería o canteras antes de ser cargada a los taladros, utilizando la dosificación de sales oxidantes que están equilibradas químicamente, lo cual genera una mezcla explosiva con las siguientes propiedades principales

- Una densidad que puede ser alterada dependiendo del tipo de roca.
- Una alta velocidad de detonación.
- Altamente resistente al agua.
- Elevada viscosidad.
- Segura cuando es sensibilizada

Tabla 9. Detalles técnicos del SAN-G

Especificaciones técnicas	Unidades	SAN-G
Densidad relativa de la matriz	g/cm ³	1,35 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada	g/cm ³	0,90 a 1,20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales *	cP	13000
Velocidad de detonación de la matriz sensibilizada **	m/s	4 600 a 5 500
Presión de detonación	kbar	48 a 91
Energía	kcal/kg	770
Volumen normal de gases	l/kg	1020
Potencia relativa en peso ***	%	70
Potencia relativa en volumen †	%	118
Resistencia al agua		Excelente
Categoría de humos		Primera
Diámetro crítico de taladro	mm	76 (3 pulgadas)
Tiempo de espera en el taladr	días	7



SAN-G Es un explosivo que se genera justo antes de ser inyectado o retirado del taladro, a través de una reacción química entre la matriz SAN gasificable y el sensibilizante llamado Solución N-20.

SAN (Emulsión matriz) es una dispersión de una solución oxidante en agua en una fase oleosa continua, que se sensibiliza solo durante la operación minera al incorporar sales oxidantes equilibradas químicamente (gasificante). Esto proporciona al taladro un compuesto explosivo con menor densidad, más viscosidad, velocidad de detonación, presión de detonación y resistencia al agua.

N-20 (sensibilizador): Cuando el sensibilizador se combina con la matriz oxidante, ocurre una reacción química en pocos minutos, ocurre una reacción química en pocos minutos, lo que da lugar a burbujas de nitrógeno. La SAN-G se convierte así en explosivo y su densidad disminuye. El tamaño y la distribución de las burbujas establecen la velocidad de detonación del agente.

Figura 18. Componentes del SAN-G

Primer componente	Segundo componente
Matriz San Inerte Gasificable	Sensibilizante (solución N20)
	
Densidad de matriz inerte = 1.38 g/cm3	Densidad N20 = 1.12 g/cm3

La emulsión se sensibiliza gracias a las burbujas de nitrógeno que quedan atrapadas en la matriz, resultado de una reacción química entre la solución N20 y la emulsión matriz inerte.

- Densidades de la SAN-G = 0.9 - 1.20 /cm3
- Velocidad de detonación = 5,200 a 5500 m/s.
- AWS (Energía/Masa) = 610 Kcal/Kg.
- Excelente resistencia al agua.

La densidad depende de la temperatura y de la concentración del sensibilizante N20; con estos, podemos regular hasta alcanzar una densidad adecuada para el grado de dureza de roca que hay en el terreno.

Figura 19. Comprobación de densidades en el TSG



Emulsión Emulex 100 1 1/4" x 12"

Es una emulsión encerrada en una lámina de plástico, sensible al detonador y con un alto valor energético, que posibilita su adaptación a cualquier tipo de operación, incluyendo terrenos inundados o húmedos (con presencia de agua). En las operaciones del Tajo San Gerardo, empleamos la emulsión encartuchada como cebo inicial en los taladros de precorte con el fin de prevenir daños en el dedo del talud; lo mismo ocurre en los taladros de corte bajo, por ejemplo, voladuras en rampas diseñadas. Consulte la Tabla 10 para ver las especificaciones técnicas.

Tabla 10. Detalles técnicos del Emulex 100

Especificaciones técnicas	Unidades	Emulex 100
Densidad	g/cm ³	1.16 ± 5%
Velocidad de detonación *	m/s	5,600 ± 300
Velocidad de detonación **	m/s	4,300 ± 300
Presión de detonación **	kbar	91
Energía **	kJ/kg	4,425
RWS **	%	120
RBS **	%	180
Resistencia al agua **		Excelente
Volumen de gases **	l/kg	909
Categoría de humos		Primera



2.2.5. Parámetros de voladura

El diseño de carga explosiva en Tajo San Gerardo está gobernado por una serie de variables controlables que hemos agrupado en tres:

- Parámetros geométricos (diámetro de taladro, longitud de carga, burden, espaciamiento, etc.)
- Parámetros del explosivo (tipo de explosivo, velocidad de detonación, energía, sistema de primado, etc.)
- Parámetros de tiempos (tiempos de retardo y secuencia de iniciación)

La carga lineal del explosivo en un taladro es directamente proporcional al diámetro. Es decir, si el diámetro es mayor, la densidad también lineal lo es, siempre que el factor de acoplamiento sea 1. En el Tajo San Gerardo, se puede afirmar que el

factor de acoplamiento es 1 en los taladros de producción y buffer, que tienen diámetros de 5" y 4", respectivamente. Esto se debe a que empleamos explosivos a granel (SAN-G y ANFO para los taladros conectados a trabajos subterráneos). La emulsión encartuchada acoplada en mangas de 1¼" se emplea para los taladros de precorte con un diámetro de 4". Se lleva a cabo el precorte con este tipo de explosivos debido a que el COM de la mina no permite el uso de otros explosivos, como el famecorte o las dinamitas, que mejorarían las detonaciones en la etapa del precorte. Es importante señalar que no se repite al cordón tonante por el ruido que genera este material y que perjudica a la comunidad vecina.

La altura del banco es un factor controlable que depende del diseño del tajo. La proporción entre la altura del banco y la carga efectivo (H/B) es de 1,5; aunque esta relación no es muy alta, lo que podría sugerir problemas en el movimiento del material durante la voladura, se compensa con energía de detonación del agente de voladura.

La inclinación de los taladros es un factor manipulable que tiene un impacto directo en la voladura, ya que el explosivo en perforaciones no paralelas puede provocar pies de buey en el piso o bolonería en el collar.

El taco es otro factor controlable de relevancia, pues este material ubicado en la parte alta del taladro permite encerrar la energía de la voladura para que sea eficaz en el macizo rocoso y no se pierda por el collar del taladro. Para elegir el tipo y tamaño del material, en el Tajo San Gerardo se selecciona el desmonte de voladuras previas. Para conseguir un material apropiado, se cuna este componente y así separamos el taco ideal para los proyectos de voladura; la altura promedio del taco para taladros destinados a producción es 2.8 m.

La sobreperforación es una variable que se puede controlar. En el Tajo San Gerardo, en los taladros de producción se hace con una altura de 0,8 m, lo que garantiza

una fragmentación óptima en los pisos de cada banco. Es importante señalar que en los taladros de precorte y buffer la sobreperforación es de 0,2 m y 0,4 m la sobreperforación es una variable que se puede controlar.

2.3. Definición de términos básicos

Banco. Un banco se refiere a cada nivel o escalón en una mina a cielo abierto, creado por la extracción escalonada de material. Estos bancos son esenciales para la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras, ya que facilitan el acceso, la perforación, la voladura y el transporte del mineral.

Broca. Componente cortante del barreno, que es universalmente muy duro o extremadamente duro, hecho de diamante artificial (carborundo) o carburo de tungsteno.

Botadero. Es una zona designada para el almacenamiento temporal o permanente de materiales estériles, es decir, rocas o minerales que no tienen valor económico o que están por debajo del nivel de corte (ley de corte). Estos materiales son extraídos durante la operación minera para acceder al mineral deseado y se depositan en el botadero para su disposición final o almacenamiento.

Depósito. Un depósito mineral es una concentración de minerales valiosos que se encuentra en la corteza terrestre y que puede ser explotada económicamente con las tecnologías disponibles. No todos los depósitos minerales son económicamente rentables, ya que se requiere que cumplan con ciertos criterios como la calidad del mineral, la cantidad, la accesibilidad y las condiciones económicas y sociales.

Desbroce. el desbroce se refiere a la remoción del material estéril (desmante o sobrecarga) que cubre el yacimiento mineral para poder acceder al mineral deseado. Es una etapa crucial en la minería a cielo abierto, donde se retira una gran cantidad de material estéril para llegar al mineral valioso. La relación de desbroce es un indicador

importante que compara la cantidad de material estéril removido con la cantidad de mineral extraído.

Horas totales del equipo (HT). Se refieren al total de horas en un período determinado, generalmente un año, que un equipo minero está disponible para trabajar. Considera las 24 horas del día, los 365 días del año, sin importar si el equipo está operando o no. Es un valor de referencia para medir la disponibilidad y eficiencia de los equipos.

Demoras operativas. Cualquier interrupción o retraso en las actividades de producción planificadas que impiden que el equipo o personal realice sus tareas de manera continua y eficiente. Estas demoras pueden ser causadas por una variedad de factores, como problemas mecánicos, falta de recursos, condiciones ambientales adversas, o errores en la gestión de la operación.

Stand-by (SB) o Pausa. Se refiere a un estado de espera o interrupción temporal en las operaciones mineras, donde ciertas actividades o equipos se detienen, pero no se considera un cierre definitivo. Es un estado intermedio entre la operación normal y el cese completo de actividades.

Tajo Abierto. Es un procedimiento de extracción de mineral que tiene lugar en la superficie terrestre, y es también conocido como minería a cielo o rajo abierto. Se emplea cuando los depósitos minerales están próximos a la superficie o cuando no es posible realizar minería subterránea. Esta La modalidad de minería requiere excavar un gran espacio en el terreno para llegar a los minerales que se buscan.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Controlar las Incidencias de la Perforación y Voladura Subterránea del Tajo San Gerardo – Nexa Atacocha.

2.4.2. Hipótesis específicas

Si detectamos a tiempo las labores subterráneas antiguas no perturbaremos la perforación y voladura del Tajo San Gerardo.

Si controlar las incidencias del Tajo San Gerardo optimizaremos el desarrollo del ciclo de minado

2.5. Identificación de variables

- Variable Independiente

X: Incidencia de la Perforación y Voladura Subterránea en el Tajo San Gerardo.

- Variables Dependiente

Y: Incidencia de labores Subterránea en el Tajo San Gerardo

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 11. Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Incidencia de la Perforación y Voladura Subterránea en el Tajo San Gerardo.	La investigación se lleva a cabo debido a los incidentes relacionados con los puntos de conexión en trabajos subterráneos durante las operaciones de perforación y voladura en el Tajo San Gerardo. Por ello, es necesario examinar cada operación por separado, así como los parámetros pertinentes y todos los recursos empleados para lograr una fragmentación del material óptima y reducir el riesgo de accidentes causados por trabajos subterráneos no detectados debido a su antigüedad	Planeamiento Operaciones Mineras Ciclo de Minado	Profundidad Conexión de taladro Parámetros
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Incidencia de labores Subterránea en el Tajo San Gerardo.	Hoy en día, hay numerosas operaciones mineras que han hecho la transición de la minería subterránea a la minería a tajo abierto con el objetivo de aumentarla producción de minerales. Sin embargo, esto conlleva un alto riesgo debido a que se trabaja sobre trabajos subterráneos antiguos, sean estas conocidas o no. Una de las actividades consiste en reducir los riesgos relacionados con la interacción entre el tajo abierto y los trabajos subterráneos antiguos para asegurar una operación segura para el personal y los equipos.	Tajo San Genaro Nexa Atacocha	Voladura Tajo Abierto Labores Subterráneas

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

- Fundado en las Incidencias de la Perforación y Voladura Subterránea, se determina que tenemos una investigación del tipo Cuantitativo.
- Aplicada: En la Perforación y Voladura Subterránea, teniendo como objetivo la seguridad en las operaciones.
- Experimental: Por el control de las incidencias en la perforación y voladura Subterránea, estableciendo los parámetros para optimizar el ciclo de minado.
- Documental: Por todo el proceso documentación efectuado para llevar a cabo la investigación.
- De campo y de laboratorio: Por la toma de datos en el campo como y los análisis efectuados en gabinete para la investigación.

3.2. Nivel de investigación

El estudio realizado es descriptivo y explicativo, dado que posee una relación causal que explica el desarrollo de la explotación en el tajo abierto de San Gerardo.

3.3. Métodos de investigación

A partir del enfoque hipotético-deductivo, el cuantitativo, el paradigma positivista y la extensión de carácter descriptivo, contamos con:

Método deductivo: Análisis de los datos generales para alcanzar una conclusión concluyente.

Método inductivo: Por obtener conclusiones mediante la observación y el razonamiento y después de examinar y buscar la estructura o diseño para mejorar y/o resolver lo encontrado.

3.4. Diseño de la investigación

Se cuenta con un diseño que es de tipo descriptivo, correlacional y cuantitativo, que posibilita controlar las incidencias en la voladura y perforación subterránea. Esto lleva a hacer un análisis y a establecer un diseño apropiado para la perforación y voladura, lo que mejora el ciclo de extracción minera del Tajo San Gerardo.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población en este caso viene a ser el Tajo San Gerardo, objeto de la investigación por tener incidencias que perturban la perforación y voladura, generando riesgos en las operaciones de explotación.

3.5.2. Muestra

La Muestra están dadas por los puntos de conexión con las labores subterráneas antiguas los cuales permiten tener dificultades para desarrollar adecuadamente el ciclo de minado en el Tajo San Gerardo, generando retrasos en la explotación del mineral e incremento de los costos en el proceso.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Descripción de técnicas empleadas

- Selección y análisis de datos

Se realizó los análisis respectivos para controlar las incidencias de conexión con labores subterráneas, para optimizar las operaciones en el Tajo San Gerardo.

- Observación directa y toma de datos

Las observaciones realizadas en cada disparo nos dan las referencias necesarias para analizar y diseñar la perforación y voladura en el Tajo San Gerardo, manteniendo el control para efectuar el minado.

- Búsqueda de información bibliográfica

La información obtenida es referencia a operaciones mineras que tuvieron acontecimientos semejantes al del Tajo San Gerardo, las cuales sirvieron como referencia para mejorar el proceso de perforación y voladura, controlando las incidencias de labores subterráneas estableciendo nuevos parámetros de perforación, para mejorar el desarrollo del ciclo de minado, manteniendo una adecuada producción en la mina.

Instrumentos de Recolección de Datos

- Materiales

- Planos topográficos.
- Parámetros de la perforación.
- Informes Geotécnica – Geomecánica de la Mina.
- Reporte de procesos de perforación y voladura realizados.
- Mallas de Perforación utilizadas.
- Informe de fenómenos imprevistos en la perforación.
- Libreta de campo.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

- Documentos de registro. Se utiliza para registrar los datos de las observaciones realizadas.
- Disponibilidad de archivos técnicos. El objetivo es obtener datos sobre los procedimientos en mina.
- Formulario de información y formato de campo. Se comprende todo lo relacionado con la seguridad, en cuanto a los trabajos a realizar con la seguridad correcta.
- Conversación en charlas para aclarar los problemas planteados.
- Capacitaciones dirigidas a los trabajadores.
- Creación de tablas y diagramas. Para valorar los resultados de comparación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La técnica empleada consistió en realizar un control sistemático por cada disparo efectuado en las zonas de incidencias, teniendo como referencia principal la longitud de la conexión con las labores subterráneas, permitiéndonos contar con un puente de seguridad entre el tajo y las labores subterráneas de acuerdo al RMR de la roca.

3.9. Tratamiento estadístico

Los trabajos de Perforación y Voladura, siempre conllevan a determinar una serie de datos los cuales son procesados estadísticamente para obtener un diseño de acuerdo al tipo de roca presente en la perforación, esto nos permite obtener un modelo estadístico, para el control sistemático de las operaciones que se ven a efectuado.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La ética es tener como punto de referencia la afirmación de la conciencia individual por lo que se hace o se lleva a cabo. Este proceso es esencial para formar al

individuo, tanto profesional como socialmente, mientras se preserva el respeto hacia las personas y la sociedad.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. La Unidad Minera Atacocha:

La Unidad Minera Atacocha está situada en la provincia y departamento de Pasco, a una altura de 4,200 metros sobre el nivel del mar y a 15 kilómetros al noreste de Cerro de Pasco, en la sierra central peruana.

Con una capacidad instalada de 4,500 tpd, en su planta concentradora realizan flotación de mineral para producir concentrados de zinc, plomo y cobre que contienen oro y plata.

Ubicación:

Su preciso emplazamiento geográfico es: Latitud: 10° 35' 00" Sur, y Longitud: 76° 14' 00" Oeste, de acuerdo con investigaciones sobre la mejora del método de minería. Las actividades mineras y la fábrica de concentración están ubicadas en los distritos de San Francisco de Asís, específicamente en Yarusyacán y Yanacancha.

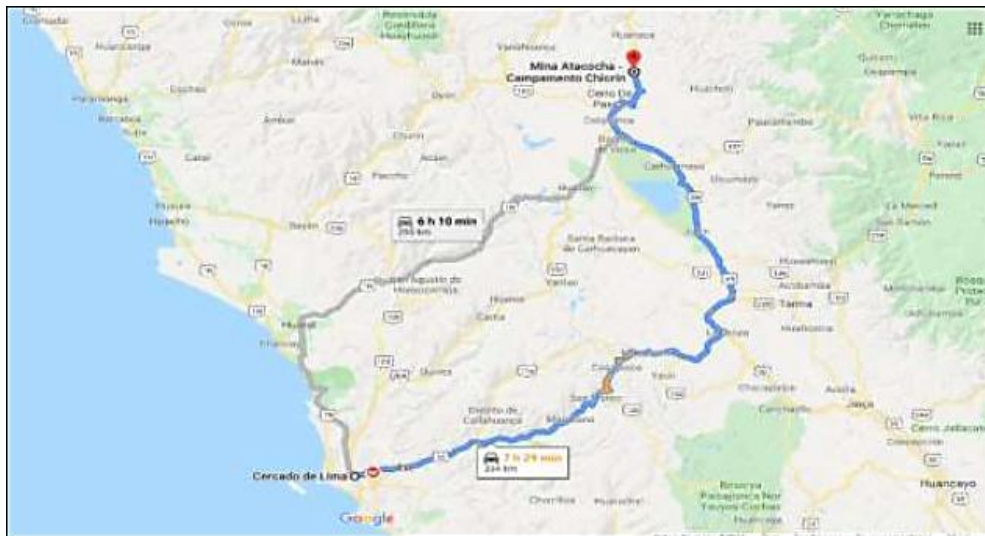
Figura 20. Vista satelital de las Unidad Minera Atacocha



Accesibilidad:

La mina Atacocha, situada a 15 kilómetros al noreste de Cerro de Pasco, con una altitud promedio de 4050 metros, cuenta con accesos principales por medio de la vía central Lima-Huánuco. La mina de Chicrín, ubicada a 324 km de Lima, se puede llegar por esta vía y desde ese lugar se puede llegar a la mina mediante una trocha carrozable de 5 km o una carretera asegurada de 24 km

Figura 21. Vías de acceso a la unidad



Geología Regional

El yacimiento Atacocha se localiza en la zona central de los Andes peruanos, dentro de un contexto geológico regional que incluye rocas sedimentarias, metamórficas e intrusivas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, respectivamente. Estas se distinguen entre sí por medio de discordancias erosionales.

El Grupo Mitú, el Grupo Pucará, la Formación Goyllarisquizga y la Formación Pocobamba están asociados con las secuencias de estratificación que se han definido a escala regional.

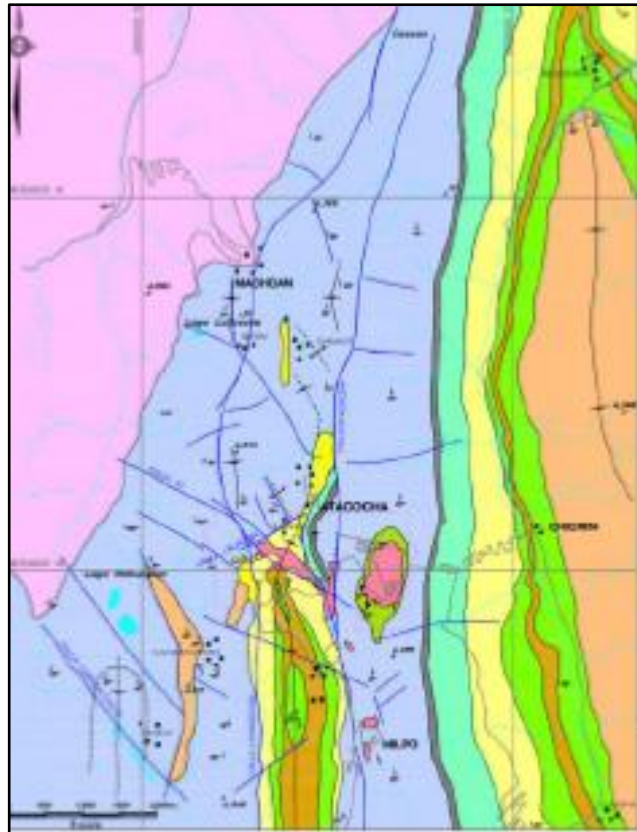
Estos sistemas de intrusión están organizados en dos corredores bien definidos. El corredor estructural Este (Milpo - Atacocha) está situado en la meseta de Junín, mientras que el corredor estructural Oeste (Cerro de Pasco - Colquijirca) está situado en la faja subandina, hacia el surgimiento de los valles amazónicos.

Los sistemas de fallas NS y NO-SE, donde se encuentran los distritos mineros de Cerro de Pasco - Colquijirca y el sistema estructural Norte-Sur (primario) y Este-Oeste (secundario) de Milpo - Atacocha - Machcán, situados en la base de las secuencias del Pucará (Jurásico Inferior), son los más significativos en la región.

En la región de Pasco, se han encontrado tres cinturones magmáticos de distintas edades asociados a depósitos hidrotermales que son parte de la familia de los pórfidos de cobre. Un cinturón viejo (de 38 a 35 Ma) ha formado sistemas epitermales de hidrotermalización con metales valiosos en Quicay y Pacoyán, con una sulfatación elevada. Un segundo cinturón más nuevo (29-26 Ma) contiene intrusivos, normalmente dacíticos, que han generado skarns asociados a la mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu en Milpo, Atacocha, Machcán y Vichos. Entre los años 10 y 15 millones de años atrás se creó un tercer cinturón más temprano y dinámico, que incluía las antiguas áreas mineras de Cerro de Pasco y Colquijirca. Estas son erupciones de volcanes domo-diatrema, generalmente dacíticas y relacionadas con depósitos polimetálicos no vinculados a skarn (cordilleranos), así como también escasas manifestaciones epitermales de metales preciosos tipo "high sulfidation"

Figura 22. Plano geológico de unidad minera Atacocha





A) Geología Local

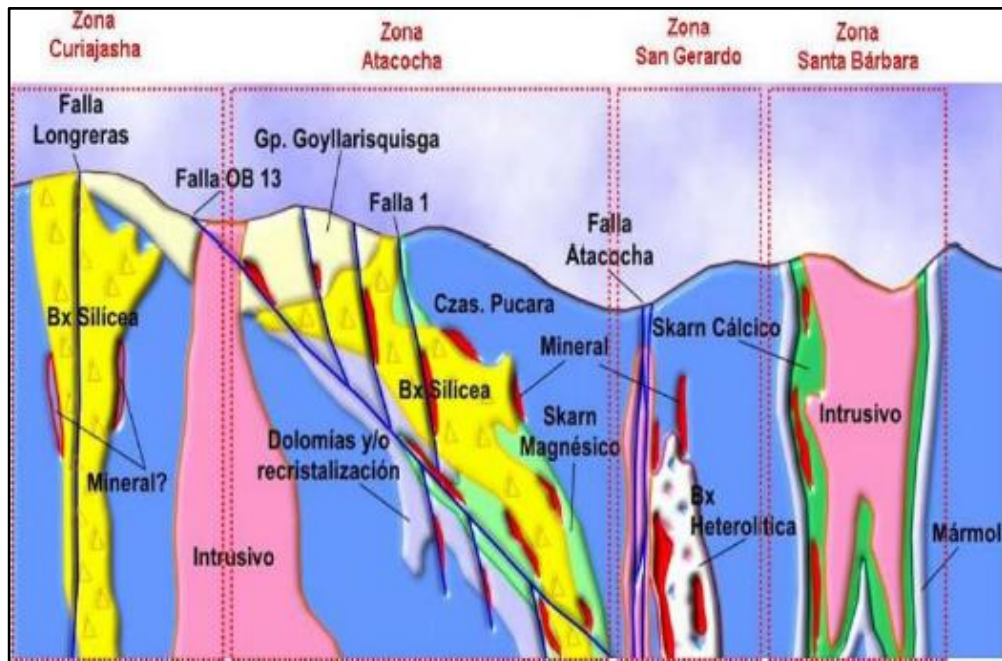
Rocas ígneas y sedimentarias conforman el tajo San Gerardo, que se encuentra en la zona oriental del sinclinal Milpo. Constituido litológicamente por calizas del Pucará y un intrusivo diorítico de 30 Ma del Paleógeno, que están asociados a sistemas de fallas Milpo-Atacocha (NS) y falla 13 (120°). Las areniscas del grupo Goyllarisquizga se ubican bajo estos estratos, formados por areniscas cuarzosas entrelazadas con lutitas negras carbonizadas.

B) Geología Estructural

Unidad minera Atacocha está estructuralmente regido por el sistema de fallas NO-SE, siendo la Falla 13 la que muestra un mayor desarrollo y con la que se vincula la localización de intrusivos vinculados a la mineralización económica del NE (bloque techo) de tal falla. Estas son otras fallas que forman parte de este sistema: Estrella y Manuel 5 que supervisan la disposición de diques dioríticos

tardíos. El sistema E-O se manifiesta a través de errores de rumbo en gran parte del área de Atacocha, supervisando principalmente el desarrollo de vetas no rentables (óxidos de manganeso y hierro). A pesar de que el sistema NS tiene el control más grande sobre la evolución tectónica y estructural de la zona, parece que en Atacocha se restringe a la influencia de las fallas Longreras y Milpo-Atacocha.

Figura 23. Esquema geológico del Yacimiento de Atacocha



- **Falla Milpo-Atacocha.**

Ubicado en el área central a lo largo de la totalidad del área de investigación. En la zona del Porvenir, tiene una dirección general NS con una pendiente hacia el este y otra subvertical (75° - 90°). Asimismo, se puede ver a lo largo de toda la trayectoria de la falla ramales que generalmente atraviesan las calizas del grupo Pucará. Los ramales más importantes se ubican en El Porvenir, donde se orientan hacia el este, interrumpiendo la secuencia silicoclástica de la formación Goyllarisquiza y una porción del tope del grupo Pucará (Formación Aramachay /Formación Condorsinga). Tienen un

movimiento inverso y tienden a asociarse a la traza principal de la Falla Milpo-Atacocha en términos de profundidad

- **Sistema de Fallas NO-SE**

Su presencia al este de la falla Milpo-Atacocha se ve restringida por algunos lineamientos y fallas menores. Se desarrolla entre las zonas de las fallas Santa Bárbara y Carmen Chico, al oeste de la falla Milpo-Atacocha. El sistema presenta una inclinación hacia el norte y una dirección de 310° - 330° , lo que indica la presencia de diques discontinuos con estructura andesítica-diorítica.

- **Falla 13.**

Sistema de fallas de 300° - 335° de longitud, subverticales inclinados al NE en profundidad. Se lleva a cabo en el corazón del distrito, en la zona de Atacocha-San Gerardo, siendo el principal control de la mineralización polimetálica. Está restringido al este por la falla Milpo-Atacocha, notándose algunas líneas menores al oeste. Por lo general, abarca la totalidad de la secuencia sedimentaria calcárea y silicoclástica de la región, además de las rocas basálticas que emergen al sur del tajo Glory Hole y los intrusivos dioríticos.

- **Sistemas de fallas E-O.**

Son un conjunto de fallas ubicadas en una extensa área del distrito.

en el área al este de la falla Milpo-Atacocha, entre la mina intrusa Santa Bárbara y la mina El Porvenir, se hallan vinculados a la explotación anterior de mineralización económica (sulfuros de zinc y plomo) y no económica (óxidos de hierro y manganeso). Se presenta con una inclinación alta (80° - 90°)

y una dirección principal EO. Está interrumpiendo los sistemas que se mencionaron antes.

La falla 13 y la falla Milpo-Atacocha regulan el emplazamiento y la dispersión de los intrusivos Atacocha-San Gerardo y Santa Bárbara en dirección este del área antes citada. Los diques dioríticos que se encuentran entre Santa Bárbara tienen una pendiente hacia el este. Todo ocurre en una fase transpresiva, que es facilitada por una cinemática de rumbo.

4.1.2. Mineralización

El control estructural que se presenta a continuación es el causante de la mineralización en el intrusivo San Gerardo:

El sistema de Fallas 13 regula estrictamente la ubicación de los cuerpos intrusivos con composición diorítica al occidente de la falla Milpo-Atacocha (zona de Atacocha-San Gerardo), además de las brechas hidrotermales relacionadas.

Este sistema de fallas, que incluye zonas de apertura sinistral o intersección de fallas N-S, regula la mineralización en los cuerpos minerales y vetas económicas en profundidad. En la quebrada La Laquia se han encontrado vetas sub económicas NO-SE con un grosor de 0.2 a 1.0 m y relleno con óxidos de hierro y manganeso.

La falla E-O, que está situada entre la intrusiva Santa Bárbara y la Milpo-Atacocha, y al este-sureste del Stock Milpo, regula la aparición de vetas de relleno de falla en su mayoría no económicas con un grosor que va desde los 0.2 hasta los 1.5 m (relleno de óxidos de manganeso y hierro). Esta interviene cortando y moviendo las estructuras N-S, además de dejar residuos de vetas económicas ya extraídas que comparten las mismas características.

4.1.3. Plan Operativo del tajo San Gerardo

Se pudo optimizar y diseñar un pozo ideal gracias a la obtención de un modelo geológico y de recursos. Esto quiere decir que fue diseñado dentro del cono óptimo, estableciendo así la posición de las rampas y vías de acarreo, taludes de banco, bermas y otros elementos.

Tabla 12. Características del bosquejo del Tajo San Gerardo.

Parámetros de Diseño Operativo	Unidad	Valor
Altura de banco	m	6
Ancho de minado mínimo	m	16.6
Ancho de doble vía	m	11
Gradiente en rampa	m	10
Radio de giro	m	18
Ancho de berma	m	3.0 – 4.0
Angulo de talud de banco (BFA)	°	60 – 80
Angulo inter rampa (IRA)	°	Variable
Angulo global de talud (OA)	°	35 - 45

Fuente

La Tabla N° 21 presenta los ángulos de banco y globales para las distintas etapas del Tajo San Gerardo en la actualidad. Es importante señalar que, aunque los ángulos de banco promedio son aproximadamente 60°, en ciertos sectores alcanzan incluso hasta 70° o 80°. Los valores de los ángulos globales oscilan entre los 35° y los 45°.

Tabla 13. Ángulos de talud de Banco del Tajo San Gerardo.

Ángulos	Rango de ángulo de banco (°)	Promedio de ángulo de banco (°)	Global (°)
Fase 2 Sur	49-64	58	35
Fase 0	58-63	61	45
Fase 2 centro	46-70	60	36
Fase 3	54-80	64	45

La mina está dividida en cuatro fases de minado (fase 0, fase 2 sur, fase 2 centro y fase 3), el acarreo de mineral se realiza hasta el OP-1 (Ore Pass 1) en el Nv 4222, ubicado a 1.6 km promedio de los polígonos de mineral, cabe mencionar que el OP-1 Se encuentra en la superficie, el OP-1 conecta hasta el Nv 3600

4.1.4. Método de minado del tajo San Gerardo

El Tajo San Gerardo emplea el método de extracción a cielo abierto, que emplea un Ore Pass (OP-1). Esto posibilita que el Tajo San Gerardo se comuniquen de manera directa con el nivel de extracción de Atacocha, tan pronto como el mineral llegue al nivel principal de extracción, Este es transportado con las tolvas de gruesos, que se encuentran en el nivel principal de extracción (Nv. 3600), mediante locomotoras y vehículos mineros para iniciar la trituración, que ocurre con el mineral extraído de la mina subterránea.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

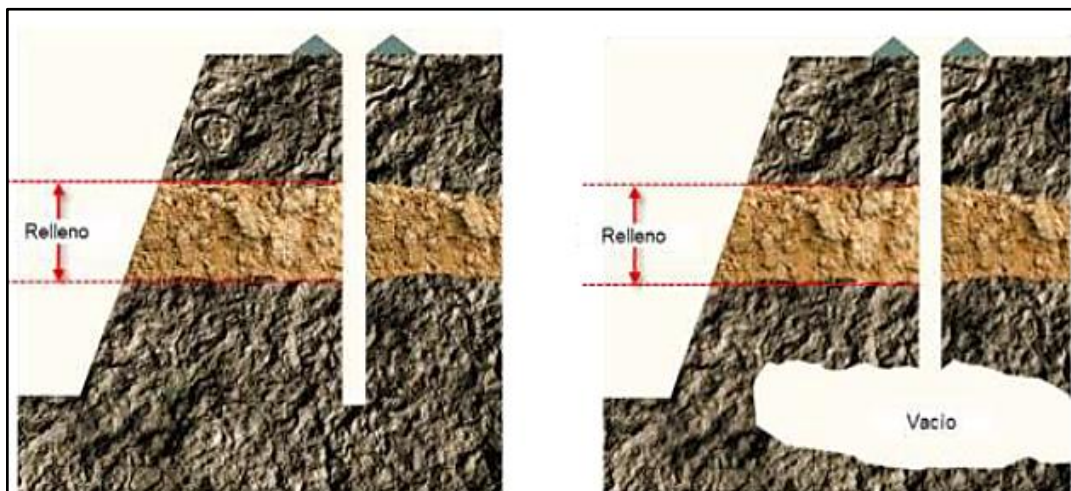
4.2.1. Impacto de las tareas subterráneas en la perforación

La perforación es la primera fase del procedimiento para conseguir el material fragmentado. La perforación es eficaz cuando el macizo rocoso es competente; no obstante, en el Tajo San Gerardo existen condiciones de labores subterráneas viejas, las cuales son chimeneas (trabajos verticales), tajos y cruceros (trabajos horizontales). De estas se tiene muy poca información, lo que produce incertidumbre a la hora de realizar tareas en los pisos del tajo y puede provocar un accidente por caída a desnivel debido al hundimiento del piso, tanto para personas como para equipos. En vista de esta circunstancia, se determinó perfeccionar el control de perforación de taladros. Esto implica una modificación del informe de perforación que contiene el control del tiempo

por taladro. El formato diario de producción de la perforadora está disponible en el Anexo 01.

En esencia, existen dos configuraciones para conectarse a trabajos subterráneos: la primera es una conexión de taladros a relleno, que puede ser al principio del collar, en el centro del taladro o al final del mismo; la segunda es una conexión a vacío, que normalmente se realiza al final del taladro. En la Figura 34 se ilustran estas dos configuraciones de conexión más frecuentes con respecto a trabajos subterráneos. Es importante señalar que la configuración de relleno es la más común.

Figura 24. Configuración común de taladros que se unieron a trabajos subterráneos



Respecto a las perforaciones que se conectan a relleno, la mayor desventaja radica en el desempeño de la perforación. Al observar los taladros, se notó una discrepancia entre los tiempos totales de perforación en roca y en relleno: ocho (08) minutos para el primero y diez (10) minutos para el segundo, lo que supone una diferencia de dos (02) minutos. La tardanza en construir el taladro en relleno es la razón principal, pues toma más tiempo y existe la posibilidad de que la barra se atasque por el derrumbamiento del material de relleno sobre la broca. También hay un desgaste temprano de esta última debido a lo agresivo del material de relleno. La lluvia provoca el colapso de taladros, lo que a su vez causa la necesidad de volver a perforarlos, lo que

aumenta los costos y los tiempos para concluir un proyecto de perforación y voladura; por lo tanto, el problema se agrava con la presencia de agua.

Los taladros que se conectan a vacío, en contraste con los que se conectan a relleno, no afectan el tiempo y el costo de la perforación. Sin embargo, sí tienen un impacto en la seguridad del equipo y el personal que se encuentra sobre estos vacíos, lo cual representa una situación de alto riesgo. La cantidad promedio de taladros conectados a vacío por proyecto de voladura es muy baja en comparación con los taladros en relleno. Esto se debe a que las labores subterráneas antiguas eran rellenadas y porque las voladuras en bancos superiores provocaron derrumbes y el llenado de estas labores.

Figura 25. Tiempo de perforación de taladros en roca y relleno

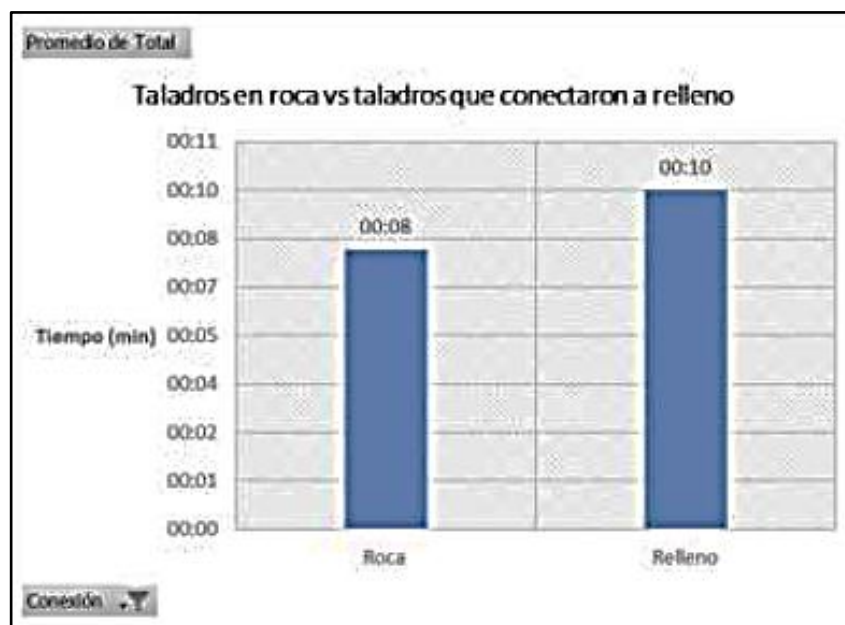


Figura 26. Tiempos de perforación por taladro en condiciones normales de roca

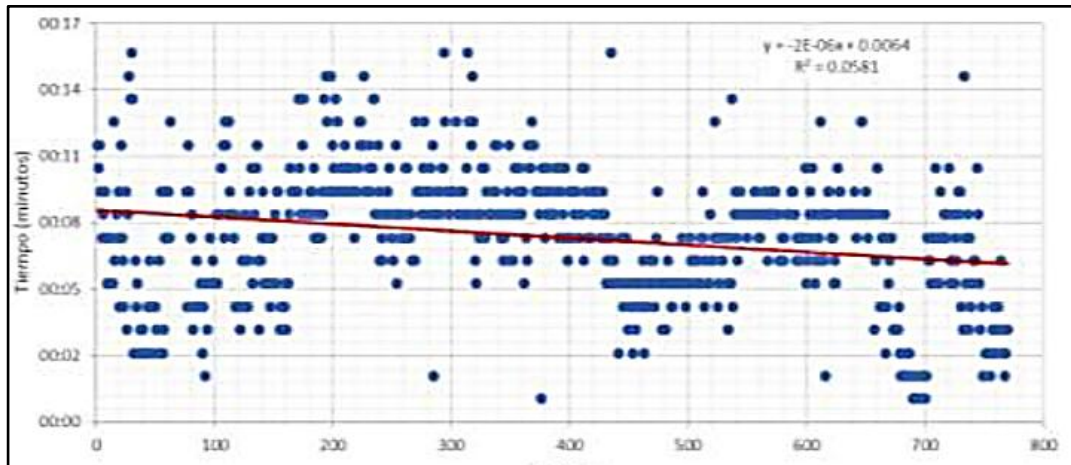
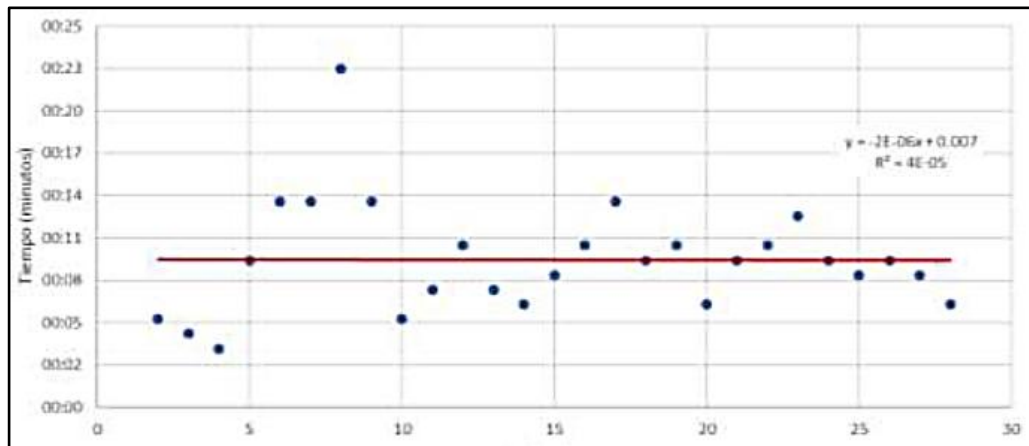
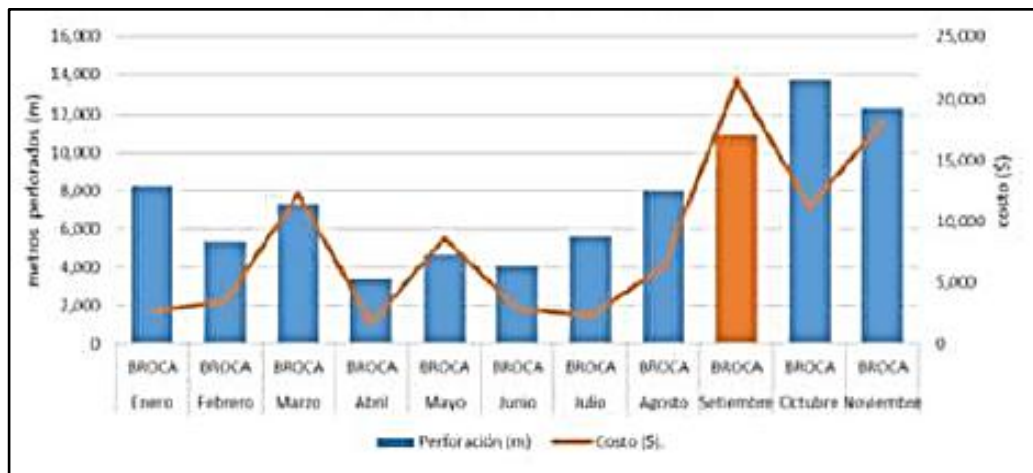


Figura 27. Tiempos de perforación por taladro en condiciones de relleno



En lo que respecta al consumo de aceros para perforación, utilizamos las brocas como punto de referencia, ya que es el acero que se cambia con más regularidad y es la variable que más claramente muestra cómo los puntos de conexión afectan la perforación. En la Figura 38, se puede ver el consumo mensual de brocas y su costo por mes. En septiembre, se observa un aumento significativo en comparación con los meses pasados, debido a una perforación más eficiente. Esto sucede porque comienza la minería de la ampliación del tajo, que se caracteriza por no tener puntos de conexión con trabajos subterráneos.

Figura 28. Consumo de brocas de perforación



Incidencia de las labores subterráneas en la voladura

En lo que concierne a la voladura, el impacto de las tareas subterráneas se basa en la eficacia del control de pisos y en la fragmentación de la roca. La pérdida de energía en los segmentos donde el taladro ha conectado con relleno o vacío afecta la eficiencia de la voladura. La energía no tiene un efecto eficiente en el macizo rocoso, lo que produce material heterogéneo a lo largo de todo el proyecto de voladura. Por un lado, los taladros que se conectaron con el relleno generan material muy fino, lo cual es perjudicial si este material es mineral, ya que tiende a apelmazarse con el agua y causa obstrucción en el ore pass. Si el relleno está ubicado entre los taladros, puede resultar en bolonería en la parte superior o pies del collar; consulte el Anexo 08 para más detalles. El plano de stock de materiales, que permite observar el control de pisos, puede ser perjudicial al cargar material. Si se producen bolonerías, los rendimientos de acarreo y carguío disminuyen; si ocurren toes en los pisos, resultará un gasto extra en la corrección de estos al hacer voladuras de refine o utilizar martillo hidráulico, así como más horas del tractor y un desgaste anticipado de los gets de corte de estos equipos.

En cuanto a la carga de taladros con explosivos, los tiempos de carga aumentan debido a que el diseño de carga para este tipo de taladros es más complicado. El uso de

SAN-G se limita en taladros que están conectados a labores subterráneas porque la emulsión está semilíquida y tiende a perderse en los espacios vacíos y en el relleno. Por esta razón, preparar magas con ANFO requiere más tiempo. En muchas ocasiones, para garantizar una fragmentación adecuada, es necesario realizar bajadas dobles (doble iniciación), lo que encarece la voladura. Las precauciones de seguridad para el carguío de taladros con conexión a vacío, incluyen implementar un sistema contra caídas y anclarlo a un equipo ligero que no produzca una carga excesiva alrededor de los vacíos, con el fin de evitar un posible hundimiento del piso. En la figura 35, se puede ver el carguío de taladros que fueron conectados a vacío.

Una medida de control para prevenir la entrada de personal o equipos en el área de conexión a vacío consiste en delimitarla utilizando cintas rojas y señales de advertencia.

Figura 29. Carguío de taladros con conexión a vacío.

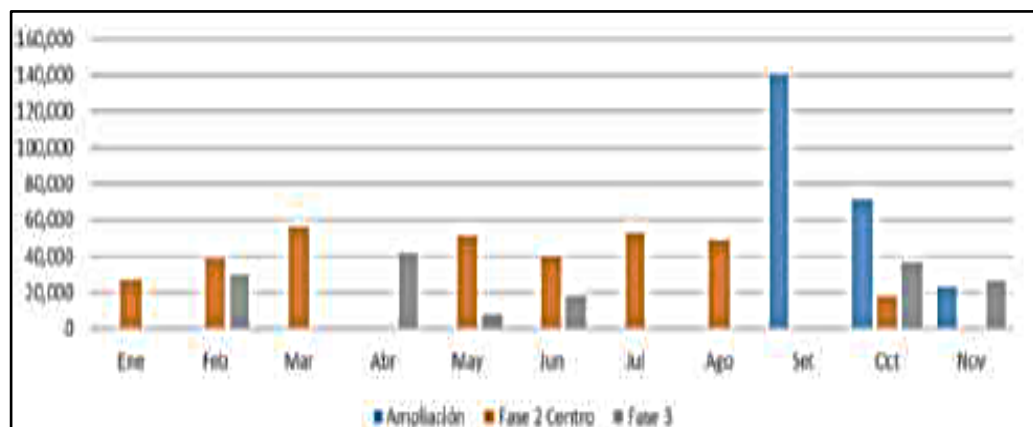


En la Figura 40 se puede observar que en septiembre se llevaron a cabo explosiones en la ampliación del tajo. En comparación con meses previos, el volumen obtenido presenta una diferencia significativa. Es importante señalar que no hubo

limitaciones durante todo el año, lo que indica un aumento en la productividad de las explosiones desde septiembre. En octubre, es posible ver explosiones tanto en el tajo como en la ampliación, y este mes es cuando se nota el rendimiento bajo en la fase 2 centro, etapa en la que se agrupa el mayor número de puntos de conexión a trabajos subterráneos, pero el balance es positivo debido a los proyectos de P&V ejecutados durante la ampliación; en noviembre únicamente se registran dos voladuras.

Los resultados muestran con claridad que los puntos de conexión a trabajos subterráneos tienen un impacto negativo en la cantidad de material fragmentado obtenido a partir de las voladuras.

Figura 30. Volumen desagregado por frente



4.3. Prueba de hipótesis

Para llevar a cabo la prueba de la hipótesis general, he utilizado el estadístico "t" de Student, que se emplea en muestras dependientes y tiene una extensión para muestras independientes. Se utiliza en trabajos de investigación con menos de 30 ejemplares.

La Tabla 14 muestra un resumen de los resultados previos y posteriores a la creación de la nueva malla para perforación y voladura.

Tabla 14. Cuadro comparativo de costos del diseño anterior y el propuesto

Operaciones unitarias	Descripción	Anterior	Propuesta	Diferencia	
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
	Costo del jumbo	119.58	81.03	38.56	\$/m
Perforación	Costo de herramientas y materiales	65.86	54.20	11.66	\$/m
	Costo total de perforación	185.44	135.23	50.21	\$/m
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
Voladura	Costo de voladura	75.07	60.92	14.14	\$/m
	Costo total de voladura	75.07	60.92	14.14	\$/m
Mano de obra	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
	Costos de mano de obra	31.77	28.47	3.31	\$/m
	Costo total de mano de obra	31.77	28.47	3.31	\$/m
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
Seguridad	Costos de seguridad (EEPs)	9.62	7.70	1.92	\$/m
	Costo total de seguridad	9.62	7.70	1.92	\$/m
costo total por metro de avance		301.90	232.32	69.58	\$/m

Formulación de las hipótesis.

Hipótesis de investigación

La optimización del diseño de malla en el Consorcio Minero Horizonte, en la UM Parcoy, permitirá disminuir los costos de perforación y voladura de la rampa.

Hipótesis estadística

Ho: La aplicación de la malla de perforación y voladura para mejorar los costos en la rampa de UM Parcoy perteneciente al Consorcio Minero Horizonte.

Ha: El perfeccionamiento de la malla de perforación y voladura en los hastiales paralelos a la rampa de la UM Parcoy, perteneciente al Consorcio Minero Horizonte.

Tratamiento estadístico e interpretación de datos

Para llevar a cabo la implementación, debemos tener en cuenta el tipo de roca y mineral que se va a extraer, con el objetivo de planificar todas las actividades necesarias para lograr la extracción del mineral. En este caso, se emplea el método de corte y relleno ascendente. Para iniciar el proceso de extracción, primero se realizó una pendiente con un gradiente negativo del 15%. Para llegar a la veta en el punto RP1925, se realizaron cruceros de 3.50m x 3.50m con un declive del 1%.

Después de identificar la veta, se prosigue con galerías que tienen un gradiente del 1%

4.4. Discusión de resultados

Los resultados indican que el cálculo del factor de potencia es 0,660 kg/TM. En la mina Parcoy, este factor asciende a 0,680 kg/TM; esto supone una exactitud del 97%

Desde el enfoque práctico, se consumirá menos dinamita semexsa 45% de 1 1/8" x 12", lo que equivale a 11 cartuchos, es decir, medio cartucho menos en cada uno de los 22 taladros que emplean este tipo de explosivo. Es importante aclarar que en un frente se emplean 40 taladros con carga: 18 con Exadit de 45% 7/8" x 7" (perforaciones de contorno) y otros 22 taladros con semexsa de 45% de 1 1/8" x 12". Para estos resultados se emplean los datos de zonificación geomecánica; en otras palabras, no se incurre en gastos ya que la información está disponible en el departamento de Geomecánica de la mina.

CONCLUSIONES

- Es fundamental determinar los taladros que se han asociado a labores subterráneas, ya sea porque están relacionados con rellenos que incrementan el riesgo de una distribución inapropiada de la energía debido a la pérdida del explosivo al emplear el SAN-G, y por consiguiente provocar problemas y los fragmentos de rocas de gran tamaño (bolonería) si el relleno se sitúa al comienzo del collar o a la mitad del taladro, o pueden provocar dedos de los pies en el suelo del banco, lo que en ambas situaciones eleva el costo del minado.
- Al carecer de datos exactos acerca de las dimensiones, profundidad y localización de los puntos de vinculación a tareas subterráneas, la perforación ha desempeñado un papel crucial en la identificación de las áreas seguras del tajo, facilitando así la proyección. En los bancos más bajos de los puntos de conexión, esto ha facilitado la realización de una operación segura y lucrativa.
- Al examinar los hallazgos del trabajo expuesto, podemos destacar los controles establecidos para preservar la seguridad en los frentes de minado donde se encuentran los puntos de vinculación a actividades subterráneas, garantizando así la seguridad de las operaciones, continuación de la actividad como compañía de servicios.

RECOMENDACIONES

- La experiencia en perforación y voladura dentro de la profesión, así como de los manipuladores de explosivos, juega un papel crucial en la gestión de los taladros que se vincularon a tareas subterráneas, dado que es el factor determinante para la toma de decisiones en el instante. La carga explosiva de estos taladros debe ser realizada con explosivos, por lo que se aconseja tener personal con experiencia y dedicación a las operaciones de perforación y voladura.
- Se recomienda valorar las labores de perforación, pues tienen una doble función: la fabricación de taladros para producir material fragmentado (desmonte y mineral) y la ejecución simultánea de sondeos, lo que brinda información valiosa para supervisar los puntos de conexión a actividades subterráneas.
- Es necesario considerar la información geotécnica de los bancos superiores para determinar posibles áreas de vinculación a trabajos subterráneos. Esto facilitará una adecuada organización de las operaciones de perforación, posibilitará el inicio de la perforación de taladros en roca y dejar al final los taladros con presencia de relleno, de esta manera previene la caída de taladros y su reperforación posterior.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Cáceres, L. (2017). Optimización de la perforación y voladura con un nuevo diseño de una malla en el crucero 1014 en la empresa Minera Marza. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Castillo, J. y Medina, H. (2015). Aplicación de voladura controlada en labores de avance en sección 3.5 m x 3.0 m para la reducción del factor de avance y porcentaje de sobrerotura en Compañía Minera Condestable. Tesis para título profesional de Ingeniero de Minas. Trujillo, Perú: UNTA.
- Celada Tamames, Galera Fernández (1986) - Diseño y Utilización de Sostenimiento con Shotcrete Activos en la Minería Española Contreras, W. (2009). Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo modelamiento y análisis de vibraciones, aplicación en mina Ares, (tesis de pregrado). Lima, Perú.
- Consortio Minero Horizonte, S. (2021). Somos consorcio minero horizonte. págs. 1-1. Departamento de geología CMH S.A. (s.f.). perforación y voladura de rocas en minería.
- Day, R. (2005). Cómo escribir y publicar trabajos científicos: NW-Washington. Estados Unidos.E.E Robocon Servicios S.A.C. (2017 y 2018) – Área de Productividad.
- Departamento de geología CMH S.A. (s.f.). Reducción de sobre rotura mediante el uso de voladura controlada del precorte en el crucero CX 1160 del nivel 2360 de la zona candelaria de la cia consorcio minero Horizonte. Universidad Nacional del Altiplano.
- Departamento de perforación y voladura CMH S.A. (s.f.). Manual práctico de voladura (Segunda ed.). La Libertad.
- EXSA Explosivos. (2009). Manual práctico de voladura de rocas (1ra edicion ed.). EXSA S.A. (2021). Manual práctico de Voladura de Rocas (Primera ed.). Lima.
- Exsa. (2002). Manual práctico de voladura. Exsa. (2003). Explosivos convencionales y accesorios para voladura. Segunda edición, Lima, Perú.

- Famesa, E. (2018). Tipos de accesorios. Famesa explosivos. Obtenido de <http://www.famesa.com.pe/productos/sistemas-de-iniciacion/fulminante-comun-fulmesa/>
- Guarín, M., & Jiménez, J. (27 de 06 de 2012). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación de estructura.
- Hoek E. & Brown. (1980). Excavaciones subterráneas en rocas. México: Mc Graw Hill.
- Holmberg, R. (1993). Rock blasting and explosives engineering CRC press, United States of America. <https://es.wikipedia.org/wiki/Voladura>
https://www.mindat.org/glossary/smooth_blasting
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13855149909408030>
- Incognitovs. (4 de octubre de 2011). slideshare.net. Obtenido de es.slideshare.net: <https://es.slideshare.net/incognitokvs/voladura-controlada>.
- Jimeno, C., Jimeno, E. Y Carcedo, F. (2004). Manual de perforación y voladura de John Standard (1990). Test Method for Specific Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete.
- Konya, C. (2010). Manual de voladura konya. España.
- López Jimeno, C. (1986). Cálculo y diseño de voladura en túneles. Madrid: Instituto tecnológico geo minero de España.
- Manual Examine (2000). Departamento de Ingeniería Civil y Mecánica de Rocas –Universidad de Toronto, Canadá.
- Mestas, R. (2016). Diseño de mallas de perforación y voladura aplicada al modelo matemático (1ra Edición ed.). Lima.
- Ministerio de Energía y Minas, M. (2018). Descripción Parcoy. En MINEM. Obtenido de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/parcoy/pa>

rc oy2.pdf

Propio. (2023). Informe de Practicas. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Sánchez, J. (2014). Equipos y accesorios de perforación.

Sampieri, H. (1997). Metodología De La Investigación. México: Naucalpan de Juárez.

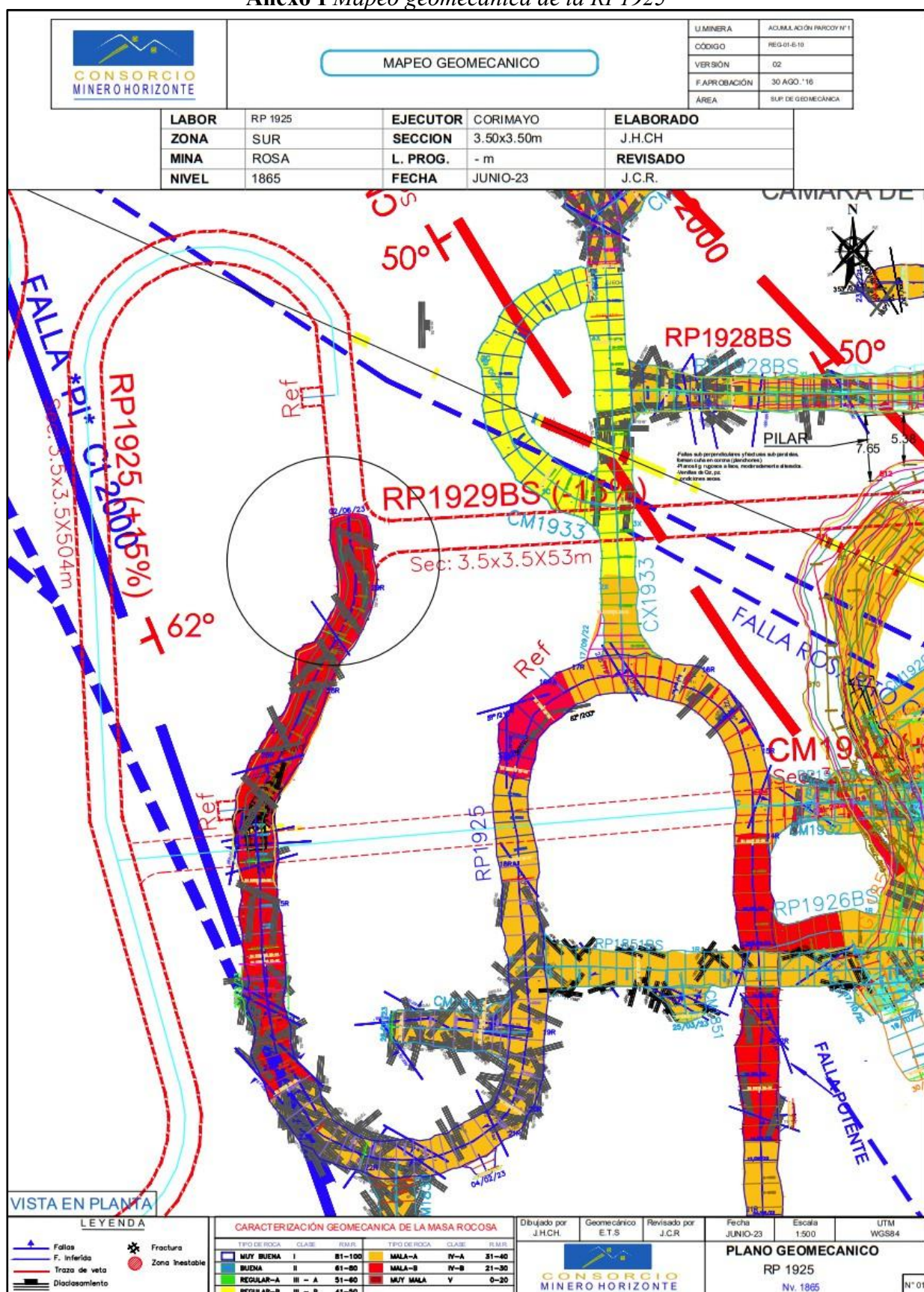
Sánchez, Y. (2012). Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth (tesis para optar el título de ingeniero de minas). Universidad Central de Ecuador, Ecuador.

Seguridad Minera, R. (2018). Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros. Revista de seguridad minera. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicación-de-taladros/>

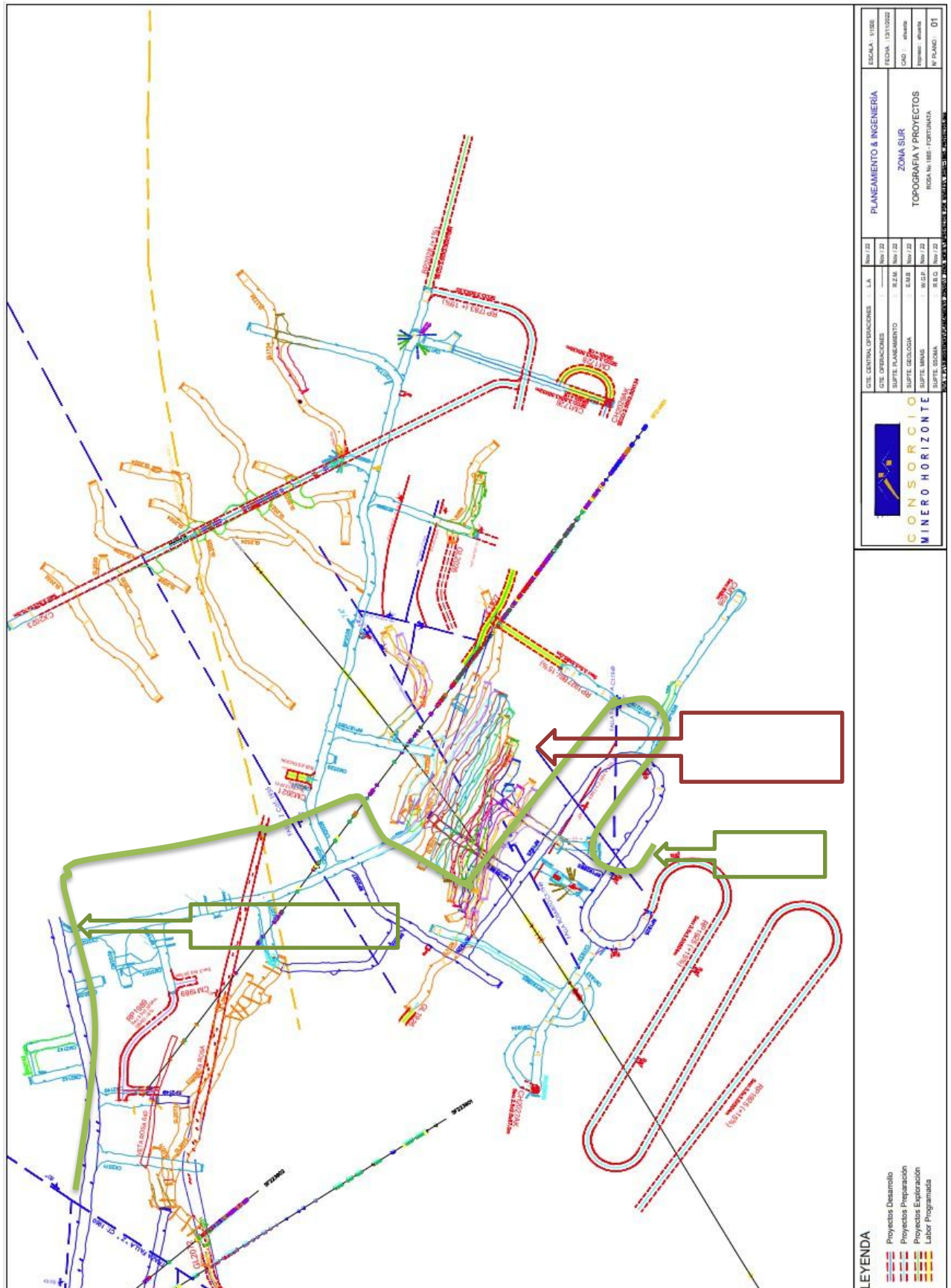
Tamayo, M. (1977). Metodología formal de la investigación científica. Comex.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Anexo 1 Mapeo geomecánica de la RP1925



Anexo 2 Esquema del diseño de la rampa de 1925



Anexo 3 Tabla geomecánica para trabajos constantes en la mina Parcoy



TABLA GEOMECAÁNICA Y ESTÁNDAR DE SOSTENIMIENTO
UNIDAD PARCOY-CMH

ANEX-02-EO01

PERMANENTES

Codigo de Colores	Clasificación RMR		Valuación Índice Q				SOSTENIMIENTO
	RMR	Tipo de Roca	De	A	Tipo	Descripción	
Bianco (I)	81-100	I Muy Buena	50	1000	I-III	Muy Buena - Excep. Buena	Sin Sostenimiento
Verde Claro (II-A)	61-80	II Buena	10	50	IV	Buena	Según Sección de Excavación
Verde Oscuro (III-A)	51-60	III Regular A	5	10	V	Regular	Según Sección de Excavación
Amarillo (III-B)	41-50	III Regular B	1	5	VI	Mala	Según Sección de Excavación
Anaranjado (IV-A)	31-40	IV Mala A	0.1	1	VII	Muy Mala	Según Sección de Excavación
Rosa (IV-B)	21-30	IV Mala B	0.01	0.1	VIII	Extremadamente Mala	Según Sección de Excavación
Naranja (V)	0-20	V Muy Mala	0.001	0.01	IX	Excepcionalmente Mala	Según Sección de Excavación

LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 1.8 A 3.0 m.

Codigo de Colores	TIPO DE SOSTENIMIENTO
Bianco (I)	Sin sostenimiento
Verde Claro (II-A)	Sin soporte o Pernos de Fricción 5' instalados ocasionalmente
Verde Oscuro (III-A)	Pernos de Fricción / Compresión 5' ocasionales; o Sistemáticos rango de 1.5 a 1.8m. o Shotcrete Estructural 1'0" (F/15-20kg)
Amarillo (III-B)	Shotcrete Estructural 1'0" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión 5' / Adhesión 6' sistemáticos rango de 1.5 a 1.8m.
Anaranjado (IV-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión 5' / Adhesión 6' sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m.
Rosa (IV-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión 5' / Adhesión 6' sistemáticos rango de 1.0 a 1.2m. o Cuadros metálicos 4"x4"x13 para Ch.
Naranja (V)	Sh. Estr. 2" (F/25-30kg) + Pernos de Compresión 5' / Adhesión 6' sist. rango de 1.0 a 1.2m. de requerir + Sh. 1" (F/20kg) o Cimbra/Cuadros metálicos 4"x4"x13/ Ch.

LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 3.0 A 5.0 m.

Codigo de Colores	TIPO DE SOSTENIMIENTO
Bianco (I)	Sin sostenimiento.
Verde Claro (II-A)	Sin soporte o Pernos de Compresión / Fricción 7' instalados ocasionalmente en cuñas potencialmente inestables.
Verde Oscuro (III-A)	Shotcrete Estructural 1" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión / Fricción 7' Sistemáticos rango de 1.5 a 1.8m.
Amarillo (III-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión 7' / Adhesión 8' Sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m.
Anaranjado (IV-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión 7' / Adhesión 8' Sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m.
Rosa (IV-B)	Shotcrete Estructural 3" (F/25-30kg) + Pernos de Compresión 7' / Adhesión 8' sist. rango 1.0 a 1.2m. de requerir + mas capa 1" de Shotcrete Estructural
Naranja (V)	Cimbras de 4"x4"x13 / 6"x6"x20lb/pie o Sh. Estructural 4" (F/30-35kg) + Mala + Pernos de Compresión 7'/Adhesión 8' sist. rango 0.80 a 1.0m + Capa Sh. Est. 1" o I/C.

INTERSECCIONES Y LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 5.0 A 20.0 m.

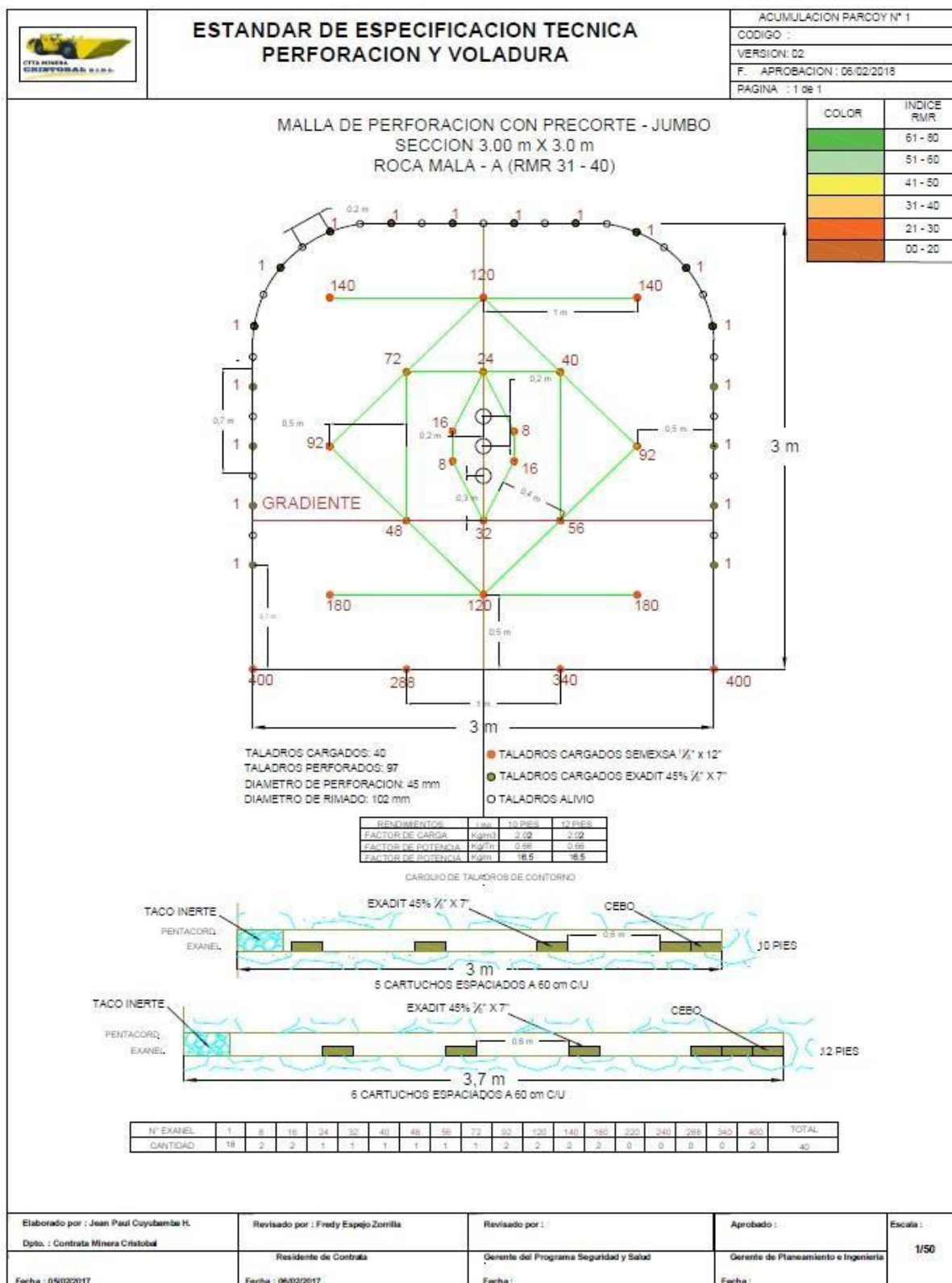
Codigo de Colores	TIPO DE SOSTENIMIENTO
Bianco (I)	Sin sostenimiento
Verde Claro (II-A)	Shotcrete Estructural 1" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 8" sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m.
Verde Oscuro (III-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 8" sistemáticos rango de 1.0 a 1.2m.
Amarillo (III-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 8" sistemáticos rango de 1.0 a 1.2m.
Anaranjado (IV-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/25-30kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 10" sistemáticos rango de 0.8 a 1.0m. de requerir + capa de Sh. Est. 1"
Rosa (IV-B)	Sh. Estr. 3" (F/30-35kg) + Per. Compresión/Adhesión 8"-10" sist. Rango de 0.8 a 1.0m. de requerir + capa de Sh. Est. o cimbras 6"x6"x20; o inyección de C.
Naranja (V)	Cimbras de 6"x6"x20 lb/pie o Sh. Est. 4" (F/30-40kg) + Per. Compresión/Adhesión 8"-10" sist. Rango de 0.8 a 1.0m. de requerir + Sh. Est. 1", o inyección de consolidación con resina y/o muros de Concreto.

NOTA: El Shotcrete estructural será lanzado principalmente de la bóveda hasta la gradiente (1.0m de pie de hasta), según recomendación geomecánica. Casos excepcionales en roca muy alterada se lanzará a sección completa.
De presentarse esfuerzos, con potencial de generar crujidos o "Seudo estallidos de rocas", se empleará malla de eslabones sobre el refuerzo indicado en las opciones anteriores.

LEYENDA

Pernos de Fricción	Split Set o variedades.
Pernos de Compresión	Hydrabolt, Sivellex, X-Pandabolt, Phytan.
Pernos de Adhesión	Pernos Helicoidales, Pernos Autoperforantes, Varillas de Fe.
Inyecciones de Consolidación	Con resinas o lechada de Cemento.
Puntales de Seguridad	Puntales de madera de 8" a 10" de diámetro.
Shotcrete Estructural	Shotcrete con Fibra Metálica 65/35 entre 15.20.30.40kg/m3 o Fibra 45/35 30.40.50kg/m3.
Malla	Malla Electro-soldada cocada 4"x4" o 2"x2".
Malla de eslabones	Malla de eslabones de alambre galvanizado cocada 3"x3".
Cuadros Metálicos	Cuadros de vigas "H" de 4"x4"x13 Libras/pie para Chimeneas construidos con Alimak, secciones variables.
Cimbras Metálicas	Estructuras de vigas "H" de 6"x6"x 20Libras/pie para labores de secciones = o > a 44m. Vigas "H" de 4"x4"x13lb/pie para secciones < 35x35m.
Jack Pot	Para puntales de madera de 7", 8" a 10" de diámetro, son Pilatos inflables a presión hidráulica.
Spilling Bar	Puede ser con Varillas de fierro corrugado, pernos Autoperforantes, con cementante/resina, o pernos de compresión.
Fibra F/20kg	Fibra metálica y su dosificación por m3, en este caso 20kg.
Jack Pat	Mantas Metálicas inflables a presión hidráulica, para confinar Wood Pack.
Wood Pack	Castillos de cribbing.

Anexo 4 Especificaciones Técnicas Estándar, perforación y voladura - Sección de 3m x 3m

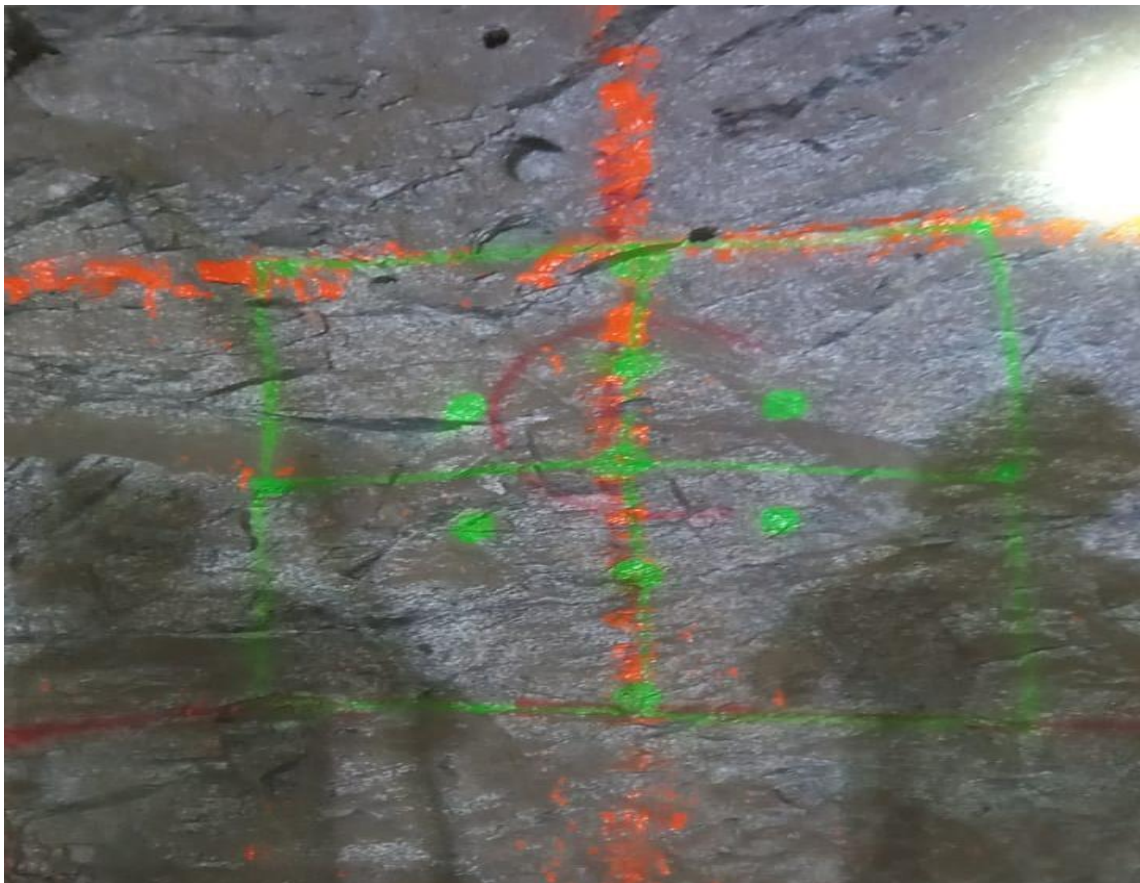


PANEL FOTOGRAFICO

La perforación de la rampa de 1925 utilizando un jumbo



Pintado con un nuevo inicio sugerido



MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.						
Tesista: Bach. CABELLO MILLA, WILLIAM HENRY						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICAD.	TIPO Y NIVEL DE INVEST
GENERAL: ¿Es posible realizar la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte? Problemas Específicos A. ¿Se podrá optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura para reducir la sobre rotura en la rampa de UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte? B. ¿Será posible mejorar la perforación y la voladura controlando el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte?	GENERAL: Realizar la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte. Objetivos Específicos A. Optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura para reducir la sobre rotura en la rampa de UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte. B. Mejorar la perforación y la voladura controlando el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.	GENERAL Con la realización de la Optimización del Diseño de Malla se Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte. Hipótesis Específicas A. Si optimizamos el diseño de la malla de perforación y voladura se reducir la sobre rotura en la rampa de UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte. B. Si mejoramos la perforación y la voladura se controlará el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.	INDEPENDIENTE X: Optimización del Diseño de Malla de la Rampa en la UM. Parcoy. DEPENDIENTE Y: Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy.	Plan de Mina Operaciones Mineras Ciclo de Minado UM. Parcoy Consorcio Minero Horizonte.	Profundidad de taladro Numero de taladros Burden Espaciamiento Paralelismo Malla de Perforación Parámetros Costos	TIPO: Aplicada. NIVEL: Evaluativa.