



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



### **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



## CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **Tesis** cuyo título es:

**OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN DE ROCAS Y PRODUCTIVIDAD  
OPERATIVA EN EL TAJO CERRO VERDE – AREQUIPA 2022**

Presentado por:

**HINOSTROZA DELGADO CARLOS ALBERTO JHOED**

Estudiante del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia, perteneciente a la Escuela Profesional de **INGENIERÍA DE MINAS**. El resultado obtenido es 19% por el cual se otorga el calificativo de:

**(APROBADO, Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad)**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

**Observaciones:**

APROBADO OBTUVO EL 19% (MENOR O IGUAL AL 20% REQUERIDO)

Ica, 16 de septiembre de 2024

.....  
**MAG. LUIS ALBERTO PEÑA QUIJANDRIA**  
**DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA**



**OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN DE  
ROCAS Y PRODUCTIVIDAD OPERATIVA EN EL TAJO  
CERRO VERDE – AREQUIPA 2022**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Desarrollo en ciencias puras, ciencias de la tierra e ingeniería de  
procesos

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR**

Bach. CARLOS ALBERTO JOHED HINOSTROZA DELGADO

**ICA, PERÚ**

**2024**



**Dedicatoria**

*A Dios y a mis padres.*



## **Agradecimiento**

*A la FIMM de Universidad Nacional San Luis Gonzaga, catedráticos y plana administrativa*

*Al corporativo Cerro Verde, jefes, supervisores y colegas.*

*A mis familiares.*

**A todos muchísimas gracias, Carlos Hinostroza.**

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen .....	x
Abstract .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática .....	12
1.2. Antecedentes.....	15
1.2.1. Internacionales.....	15
1.2.2. Nacionales.....	20
1.3. Bases teóricas.....	26
1.3.1. La minería superficial.....	26
1.3.2. La perforación de rocas.....	28
1.3.3. Producción y productividad.....	34
1.4. Formulación de los problemas.....	37
1.4.1. Problema general.....	37
1.4.2. Problemas específicos.....	37
1.5. Justificación.....	37

1.6.	Objetivos.....	39
1.6.1.	Objetivo general .....	39
1.6.2.	Objetivos específicos.....	39
1.7.	Hipótesis.....	39
1.7.1.	Hipótesis específica .....	39
1.7.2.	Hipótesis específica .....	40
<b>II.</b>	<b>ESTRATEGIA METODOLÓGICA .....</b>	<b>41</b>
2.1.	Unidad Minera de estudio .....	41
2.2.	Tipo de investigación .....	42
2.3.	Nivel de investigación .....	42
2.4.	Diseño de investigación.....	43
2.5.	Población y muestra .....	43
2.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
2.7.	Técnicas de análisis e interpretación de datos.....	44
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
3.1.	Análisis del entorno geológico.....	46
3.2.	Optimización de la perforación de rocas .....	51
3.3.	Indicadores operativos de perforación .....	56
3.4.	Análisis de costos operativos.....	71
3.5.	Productividad de operación.....	72

<b>IV. DISCUSION .....</b>	<b>73</b>
4.1. Hipótesis general .....	73
4.2. Hipótesis específica 1 .....	74
4.3. Hipótesis específica 2.....	75
4.4. Hipótesis específica 3.....	76
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>86</b>
Anexo N°1: Operacionalización de variables.....	87
Anexo N° 2: Matriz de consistencia.....	88
Anexo N° 3: Planos .....	90
Anexo N° 4: Características de brocas tricónica .....	95
Anexo N° 5: Características de la perforadora .....	96
Anexo N° 6: Políticas de la empresa.....	100

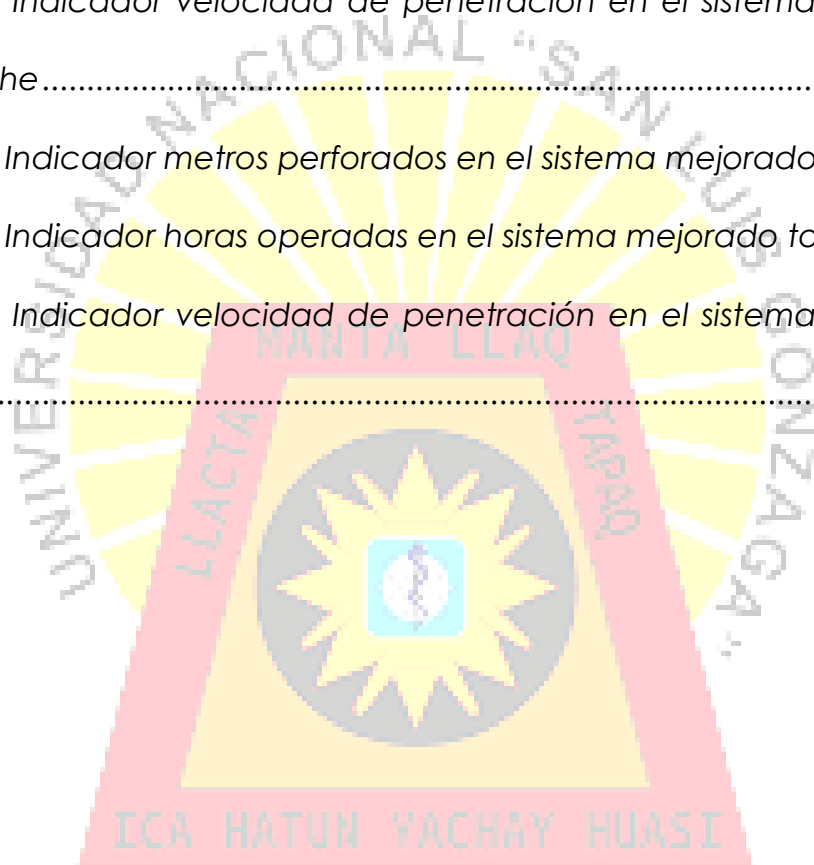
## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Indicadores de perforación con sistema convencional en el turno día</i> .....	57
Tabla 2. <i>Indicadores de perforación con sistema convencional en el turno noche</i> .....	59
Tabla 3. <i>Indicadores de perforación con sistema convencional total</i> ..	62
Tabla 4. <i>Indicadores de perforación con sistema mejorado turno día</i> ..	64
Tabla 5. <i>Indicadores de perforación con sistema mejorado turno noche</i> .....	66
Tabla 6. <i>Indicadores de perforación con sistema mejorado total</i> .....	69
Tabla 7. <i>Procesamiento de datos de la variable productividad operativa</i> .....	73
Tabla 8. <i>Procesamiento de datos del indicador metros perforados</i> .....	74
Tabla 9. <i>Procesamiento de datos del indicador tiempo de trabajo</i> .....	75
Tabla 10. <i>Procesamiento de datos del indicador costos operativos</i> .....	77

## Índice de figuras

Figura 1. <i>Indicador metros perforados en el sistema convencional turno día</i> .....	58
Figura 2. <i>Indicador horas operadas en el sistema convencional turno día</i> .....	58
Figura 3. <i>Indicador velocidad de penetración en el sistema convencional turno día</i> .....	59
Figura 4. <i>Indicador metros perforados en el sistema convencional turno noche</i> .....	60
Figura 5. <i>Indicador horas operadas en el sistema convencional turno noche</i> .....	61
Figura 6. <i>Indicador velocidad de penetración en el sistema convencional turno noche</i> .....	61
Figura 7. <i>Indicador metros perforados en el sistema convencional total acumulado</i> .....	62
Figura 8. <i>Indicador horas operadas en el sistema convencional total</i> ...	63
Figura 9. <i>Indicador velocidad de penetración en el sistema convencional total</i> .....	63
Figura 10. <i>Indicador metros perforados en el sistema mejorado turno día</i> .....	64
Figura 11. <i>Indicador horas operadas en el sistema mejorado turno día</i> .	65

Figura 12. Indicador velocidad de penetración en el sistema mejorado turno día .....	66
Figura 13. Indicador metros perforados en el sistema mejorado turno noche.....	67
Figura 14. Indicador horas operadas en el sistema mejorado turno noche .....	68
Figura 15. Indicador velocidad de penetración en el sistema mejorado turno noche.....	68
Figura 16. Indicador metros perforados en el sistema mejorado total ....	69
Figura 17. Indicador horas operadas en el sistema mejorado total .....	70
Figura 18. Indicador velocidad de penetración en el sistema mejorado total .....	70



## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022. El estudio es de tipo aplicada, nivel descriptivo explicativo, diseño pre experimental en su modalidad transversal, la población y muestra se conforma por 11 proyectos de perforación de rocas ejecutadas en el Tajo Cerro Verde de la Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., en el año 2022. Se determinó que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa, puesto que, se obtuvo un incremento positivo de 36.50% respecto a la ganancia por metro perforado con el sistema mejorado probado, además los hallazgos de metros perforados son favorables, el tiempo de trabajo disminuye en 28.76%; y se obtienen ganancias de \$25 807.87 \$ con el uso del sistema mejorado y de forma general de ahorro o gana 57 725.13 \$ respecto al sistema convencional, en las actividades del Tajo Cerro Verde, Arequipa 2022.

**Palabras Claves:** *Optimización, perforación de rocas, productividad.*

## Abstract

The main objective of this research is to determine that the optimization of the rock drilling operation influences the operational productivity in the Cerro Verde – Arequipa 2022 Tagus. The study is of an applied type, explanatory descriptive level, pre-experimental design in its cross-sectional modality, the population and sample is made up of 11 rock drilling projects executed in the Cerro Verde Pit, of the Cerro Verde Mining Society S.A.A., in 2022. It was determined that the optimization of the rock drilling operation influences the operational productivity, since a positive increase of 36.50% was obtained with respect to the gain per meter drilled with the improved system tested, in addition the findings of drilled meters are favorable, the work time decreases by 28.76%; and profits of \$25,807.87 are obtained with the use of the improved system and in a general way of savings or earn \$57,725.13 compared to the conventional system, in the activities of the Cerro Verde Tagus, Arequipa 2022.

**Keywords:** *Optimization, rock drilling, productivity.*

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La actividad minera en Perú ha cobrado gran relevancia en los últimos diez años, destacando no solo por su rico potencial geológico sino también por su competitividad en costos operativos y un régimen favorable para las inversiones. Perú ocupa actualmente el segundo puesto mundial en la producción de cobre y zinc, y lidera la producción de zinc, plomo y estaño en Latinoamérica. Además, el país posee las mayores reservas de plata a nivel mundial y se encuentra en el tercer lugar en cuanto a reservas de cobre molibdeno a nivel global [1].

Indudablemente, Perú se destaca como un país primordialmente minero. No obstante, los desafíos que enfrenta este sector son considerables y demandan la implementación de estrategias a corto, mediano y largo plazo. Para abordar estos desafíos de manera efectiva y sostenida, es crucial desarrollar un plan de acción que impulse la inversión en diversas etapas del proceso minero, desde el cateo hasta la explotación y expansión. Esto requiere un compromiso activo de todos los actores involucrados en la industria, quienes deben cooperar para identificar y resolver los principales problemas que enfrenta el sector, alcanzando un consenso que permita soluciones efectivas [2].

La mayor parte de las inversiones en minería en el país provienen del extranjero. Para aprovechar esto, es esencial realizar un análisis comparativo y establecer un estándar de referencia adecuado que, una vez adaptado a las condiciones locales, nos permita transformarnos en

una cuenca minera competitiva a nivel regional sin sacrificar los ingresos fiscales. Además, es crucial fomentar la inversión en innovación y tecnología para que el sector minero pueda explotar al máximo el potencial mineralógico del país. Esto implica no solo importar tecnología y recibir servicios de asistencia técnica, sino también integrar estos conocimientos y mejores prácticas a la industria minera local. Esto ayudará a que la minería se desarrolle de manera compatible con el medio ambiente y el desarrollo sostenible de las comunidades locales, teniendo en cuenta la sensibilidad y las necesidades de la población local en el desarrollo de proyectos mineros [3].

Según el Anuario Minero del Perú, en 2021, Perú se consolidó como el segundo mayor productor de cobre a nivel mundial, aportando el 10.9% de la producción global. Esto lo sitúa justo detrás de Chile, que lidera con el 26.6% de la producción total, y delante de China, que se ubicó en tercer lugar con el 8.5%. Además, la producción de cobre en Perú alcanzó las 2,299,277 toneladas métricas finas (TMF), lo que representa un incremento del 6.9% respecto al año anterior, cuando se registraron 2,150,126 TMF. Este aumento se debe principalmente al mayor volumen de concentrado reportado por Compañía Minera Antamina S.A. con un aumento del 16.3%, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. con un 7.9% y Minera Chinalco Perú S.A. con un 16.2%. Estas empresas, en conjunto, contribuyeron al 48.5% de la producción de cobre a nivel nacional [4].

Específicamente Sociedad Minera Cerro Verde, como antes de acotó tuvo un incremento positivo, pasando de 387,928 TMF a 418,596 TMF en el

periodo anual 2020-2021, posicionando Arequipa como la segunda región del Perú que mayor aportó en este metal; en ese sentido, la compañía afronta diariamente las situaciones que a su vez les permiten mejorar sus procesos, mediante la optimización del ciclo de minado, particularmente en sus operaciones unitarias como la perforación de rocas, que tendrá incidencia esencial en la productividad operativa parcial y total.

La Sociedad Nacional de Minería de Chile [5], enfatiza que la perforación de rocas es la operación que se ejecuta con la finalidad de abrir unos huecos cilíndricos en el macizo rocoso con distribuciones adecuadas y correcta geometría donde finalmente se alojarán cargas explosivas y se logrará disociar la misma, con un tamaño previamente calculado denominado fragmentación, que tendrá un aporte significativo en próximas operaciones unitarias optimizando de esa manera, el ciclo de minado.

Al área de productividad y operaciones de la Sociedad Minera Cerro Verde, tomando en cuenta todo lo explicado anteriormente, ha considerado como en todo el año laboral y basado en la mejora continua, pero partiendo del principal problema que es la baja productividad operativa, incidir en una operación unitaria que da inicio a todo el ciclo de minado, para dar cuenta su efectividad, siendo el elegido la operación de perforación de rocas, la misma que será optimizado a partir de una evaluación mejorada de sus características del macizo rocoso, análisis y mejoras de los parámetros de perforación

con uso de brocas tricónicas, que en su conjunto permitan superar los niveles indicados respecto a metros perforados, tiempo de operación o trabajo y los tan preocupantes costos operativos. En ese sentido, el estudio es pertinente de las necesidades de la empresa y relevante en el sentido económico, tomando siempre en cuenta la gran influencia de la empresa en estudio sobre la producción minera nacional en materiales de cobre y molibdeno.

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Internacionales**

- Mejía [6], en Ecuador, en el año 2019, llevó a cabo un estudio que tuvo como finalidad principal “Optimizar los procesos de perforación en la Sociedad Minera Oro Sol Uno, provincia del Azuay, Camilo Ponce, San Gerardo”. Fue un estudio de tipo descriptivo explicativo, método cuantitativo no experimental descriptivo y diseño descriptivo transversal. Las conclusiones señalaron:

- Implementando las mejoras, que incluye una secuencia de perforaciones y tipo de explosivos, se logró un aumento del 12% en la eficiencia de la voladura, permitiendo extraer 1.16 toneladas adicionales de material que no era posible con el método actual.

- De acuerdo con el método actual de la empresa minera, las sobrelíneas de preparación están separadas por 30 metros. Con el método actual, se requieren 25 voladuras para su completo proyecto, mientras que con las mejoras aplicadas solo se necesitan 22 proyectos, generando un ahorro aproximado de \$1600.
- Para avanzar 30 metros en una sobrelínea, se requería \$4625, en cambio, con las mejoras solo necesita \$4314, representando un ahorro de \$311.
- Abbaspour y colaboradores [7], en Alemania, en el año 2018, llevaron a cabo un estudio que tuvo como objetivo principal "Proponer un modelo dinámico de sistemas (SDM) en operaciones de perforación de rocas como un sistema interactivo, además, algunas incertidumbres técnicas y económicas". Fue un estudio de tipo descriptivo, experimental de causa y efecto, transversal y prospectivo con estudio de campo. Las conclusiones señalaron:
  - La producción incrementa en un 12.5% en el primer trimestre de trabajo y se proyectó un incremento anual total del 8.5%; permitiendo así una productividad del 90% en el primer semestre y del 112% al final las

operaciones, es decir, mayor a las proyecciones a principio de año.

- Este modelo podría eficientemente conectar y evaluar todos los aspectos técnicos, económicos y parámetros ambientales de estas operaciones. además, el cambio en los parámetros durante el período de simulación (un año de producción), especialmente en el caso de la producción total y los costos se midieron. Un proceso de optimización del diámetro de la broca en dos.
- Se demostró que el resultado óptimo puede ser totalmente diferente en el caso del determinista (8,333 pulg.) y la incertidumbre (el rango entre 7,997 y 8,285 pulg.). A pesar de asumir una densidad normal función en condiciones de incertidumbre para los parámetros (UCSSGr-HDC-BL), la distribución de los diámetros óptimos de las brocas fue más Equipado con Generalized Extreme Value, Johnson SB y Gumbel. Funciones de densidad mínima. Además, el total de operaciones de perforación y voladura Los costos en condiciones de incertidumbre difieren de 9,475 a 10,020 M.\$, que presentan costos más altos en comparación con la determinista optimización (9.402 M\$).

- Valdés [8], en Chile, en el año 2016, ejecutó un estudio que tuvo como objetivo principal “Estudiar el impacto de la perforación en la productividad de minas a cielo abierto”. Fue un estudio de tipo descriptivo, prospectivo, comparativo con método analítico sintético y técnicas de campo. Las conclusiones señalaron:

- Mediante el uso de la metodología LEAN-KAIZEN, se formulan estrategias de mejora para el proceso de perforación con el fin de elevar la productividad, utilizando técnicas para eliminar desperdicios, mejorar la gestión visual y la estandarización. Para el segundo semestre de 2016, el objetivo es disminuir las interrupciones no planificadas en un 20%, lo que contribuirá a un aumento del 3% en el uso efectivo de la maquinaria. Basándose en los resultados de 2015, este objetivo equivale a un incremento de 60.500 metros en la producción anual, lo que representa el 75% de la producción de cada perforadora DML.

Desde otra perspectiva, esto también podría significar la posibilidad de reducir una perforadora de la flota.

- Al comparar la metodología de cálculo utilizada con los datos reales de junio de 2015 frente a la planificación mensual, se observó una mejora del 23% en la disminución de la discrepancia entre los valores

reales y los estimados. Se deduce que, aunque los costos de perforación no representan una parte mayoritaria del costo total de la minería, su importancia es notable debido a que cualquier fallo en este proceso puede causar problemas en etapas posteriores. Estos problemas incluyen la falta de datos precisos sobre las leyes minerales para la planificación a corto plazo, alteraciones en las secuencias de extracción debido a demoras en las áreas de perforación, retrasos en la detonación, entre otros.

- Ávila y Tobo [9], en Colombia, en el año 2014, ejecutaron un estudio que tuvo como objetivo principal "Explotación superficial para la extracción de caliza y productividad en la mina "El Diamante", con Contrato en virtud de aporte 00904 - 15, en la vereda La Carrera, municipio de Tibasosa, departamento de Boyacá". Fue un estudio de tipo experimental, prospectivo, comparativo con método analítico sintético y técnicas de campo. Las conclusiones señalaron:

- Basándose en la calificación obtenida por la clasificación RMR, la roca se categoriza en la Clase III, indicando una calidad media, con una cohesión de entre 200 a 300 Kpa y un ángulo de fricción que varía

de 25° a 35°. Además, presenta un RQD del 76.225% y una resistencia de la matriz rocosa de 53.32 Mpa.

- La producción alcanzó un total de 4500 m<sup>3</sup>, es decir, logró mayores resultados a los 400 m<sup>3</sup> planteados como iniciativa.
- La productividad mina alcanzó un incremento del 10% y se espera un crecimiento interanual de 4.5%.
- El método de explotación por banqueo descendente facilita la diferenciación y clasificación entre el banco D y el banco E, cada uno con distintas concentraciones de carbonato de calcio, cumpliendo con los requisitos específicos de las industrias del cemento y la siderurgia, respectivamente. Esto conlleva a variaciones en los precios de venta finales, dependiendo de la aplicación industrial.

### 1.2.2. Nacionales

- Casafranca [10], en Cerro de Pasco, en el año 2023, ejecutó un estudio que tuvo como objetivo esencial “Optimizar los parámetros de perforación con la aplicación del nuevo diseño de brocas del Tajo Toromocho de la minera Chinalco S.A.”. Fue un estudio de tipo aplicada, nivel exploratoria – explicativo, método deductivo y sintético con técnicas de

observación directa y análisis bibliográfico. Las conclusiones señalaron:

- La optimización de la perforación permitió lograr un total de 177 053 metros perforados en el año 2020, superando interanualmente en un 5.7% al año antecesor, además, en esas mismas perspectivas, se pudo lograr un rendimiento promedio de 2500 metros mensuales, con una velocidad de 40 m/hr y un total de 4423 horas maquina trabajada.
- Se encontró que el precio del Tricono, junto con el costo y la operación de la perforadora, así como la eficacia del equipo, son las tres variables principales que, al considerar todos los aspectos directamente relacionados con la operación y el desarrollo de la mina, constituyen los factores más críticos en términos de costos. Sin embargo, el elemento más crucial para el desempeño del equipo resulta ser la velocidad de penetración del Tricono.
- Asimismo, se concluyó que es necesario desarrollar un nuevo diseño de brocas para mejorar los parámetros de perforación, con el fin de definir los estándares para la mina Tajo Toromocho.

- Altamirano y Santamaria [11], en Trujillo, en el año 2019, ejecutaron un estudio que tuvo como alcance esencial “Optimizar el costo de perforación para aceros DTH en mina modelo a tajo abierto”. Fue un estudio de tipo aplicativo, cuantitativo, explicativo y diseño pre experimental transversal con estudio de campo. Las conclusiones señalaron:
  - Se determinó el impacto económico de los factores clave en el costo total de la perforación, logrando optimizar los gastos de esta actividad específica hasta alcanzar un costo de 5.52 dólares estadounidenses por metro. Este resultado se obtuvo utilizando los aceros de perforación DTH de Mincon, con los que se alcanzó una velocidad media de penetración de 51.6 metros por hora durante las operaciones de noviembre de 2017 en la mina modelo de Huamachuco. El uso de estos aceros resultó en un ahorro de 2.29 dólares estadounidenses por hora y un total de 3,400 dólares estadounidenses menos de lo presupuestado para ese mes. Al evaluar el ahorro en base a las horas presupuestadas para los dos trimestres en los que se probaron los aceros de Mincon, Drillco, Sandvik, Numa, y Atlas Copco, se estimó un ahorro total de 21,096.40 dólares

estadounidenses. Actualmente, se continúa utilizando los aceros de Mincon.

- La optimización de esta operación unitaria se evidenció al emplear los aceros DTH de Mincon, ahorrando en promedio 2.29 dólares estadounidenses por hora según lo presupuestado para los trimestres Q4-2017 y Q1-2018. Durante estos periodos, en los que se realizaron pruebas con los diferentes aceros, se logró un ahorro de 10,044.34 dólares estadounidenses para el Q4-2017 y de 11,052.06 dólares estadounidenses para el Q1-2018. Las velocidades de penetración registradas fueron de 64.5, 52.1, 47.5, y 44.6 metros por hora en cuatro tipos de roca diferentes (R2, R3, R4, y R5) durante las fases 04 y 05 de la operación.

- Salas [12], en Arequipa, en el año 2019, elaboró un estudio que tuvo como objetivo esencial "Optimizar el proceso de perforación aplicando el sistema rotativo asistido por impactos de alta frecuencia y bajo poder (PARD) para aumentar la productividad en operaciones a tajo abierto". Fue un estudio de enfoque cuantitativo, tipo tecnológico, con diseño transversal descriptivo. Las conclusiones señalaron:

- El resultado obtenido fue una reducción del 40% en el costo total de perforación gracias al uso del sistema PARD, lo que resulta beneficioso para incrementar los ingresos en este sector, al proporcionar ahorros tanto en tiempo como en los costos de los consumibles usados en la columna de perforación. Se determinó que la eficiencia del sistema PARD supera al método estándar, logrando un aumento del 37% en el rendimiento, reflejado en una mayor cantidad de perforaciones realizadas, un incremento en las toneladas métricas extraídas y, por consiguiente, una mejora en la productividad. Este avance se debe a la alta velocidad de penetración del sistema PARD, que lo convierte en una opción más eficaz.
- Se determinó que la velocidad de penetración aumentó significativamente con el sistema PARD, alcanzando casi un 40% más en comparación con el método estándar. Además, se observó que el sistema PARD contribuye a la protección de la columna de perforación. Esto se debe a que los impactos producidos en el fondo del taladro son absorbidos por el cabezal del sistema, lo que reduce

las tensiones y prolonga la durabilidad de los componentes.

- Llaique y Sánchez [13], en Cajamarca, en el año 2015, elaboraron un estudio que tuvo como objetivo esencial “Determinar la influencia económica de los factores que intervienen en el Costo Total de Perforación (TDC), que permita la optimización de esta operación unitaria en Mina Modelo a tajo abierto”. Fue un estudio de tipo descriptivo, analítico, aplicativo, de diseño experimental de causa y efecto con método hipotético deductivo y técnica de la observación. Las conclusiones señalaron:
  - Para mejorar la eficiencia de la operación unitaria, es crucial considerar el sistema de perforación rotativa en su totalidad. Esto implica medir los factores que afectan al Tiempo de Ciclo de Perforación (TDC) y mantener un seguimiento riguroso de los parámetros de perforación, lo cual facilita tanto la evaluación como la disminución del TDC.
  - Basándose en estas evaluaciones, se proyecta que, dependiendo de la cantidad de taladros y los periodos considerados, es posible lograr un ahorro mensual aproximado de 48,000 dólares en terrenos

duros y de 34,000 dólares en terrenos de dureza media, asumiendo una meta de 40,000 metros perforados por mes, tal como se ha planificado en la Mina Modelo.

### **1.3. Bases teóricas**

#### **1.3.1. La minería superficial**

La minería a cielo abierto, también conocida como minería a tajo abierto o cantera, se refiere a las operaciones de extracción mineral que se llevan a cabo en la superficie del terreno, en contraste con las minas subterráneas o de perforación. Este tipo de minería se utiliza cuando los yacimientos de minerales comercialmente valiosos están ubicados cerca de la superficie. Para acceder a estos yacimientos, se utilizan técnicas mecánicas o explosivos que permiten remover las capas de tierra que cubren o rodean la formación geológica del depósito. Los materiales removidos, conocidos como estéril, son apilados en escombreras fuera del área de explotación, con el fin de utilizarlos posteriormente en labores de restauración de la mina.

Antes de iniciar cualquier proyecto de extracción, es crucial cumplir con las regulaciones fiscales, laborales, de salud y seguridad social. Además, se debe realizar un Estudio de Impacto Ambiental, que será evaluado por las autoridades ambientales estatales y federales, quienes establecerán las medidas para

mitigar el impacto ambiental. Las minas a cielo abierto son viables cuando los yacimientos están en la superficie o cerca de ella, con poco recubrimiento, o cuando el terreno no es adecuado para la minería subterránea. Sin embargo, la viabilidad de la minería a cielo abierto disminuye con la profundidad del yacimiento, favoreciendo la minería subterránea.

Las innovaciones técnicas en la segunda mitad del siglo XX transformaron radicalmente la industria minera, pasando de la extracción de vetas subterráneas de alta calidad a la explotación de minas a cielo abierto para acceder a yacimientos de menor calidad y minerales más dispersos. La minería a cielo abierto consiste en remover la capa superficial de la tierra para exponer grandes depósitos de minerales de baja calidad. Los avances en equipos de excavación, cintas transportadoras, maquinaria pesada, nuevos materiales y sistemas de tuberías permiten ahora remover montañas enteras en pocas horas, haciendo viable económicamente la extracción de pequeñas cantidades de oro, incluso menos de un gramo por tonelada de material procesado.

La minería a cielo abierto consiste en remover completamente el recubrimiento estéril para acceder al material valioso, ocupando grandes áreas que incluyen la mina y enormes escombreras. Además, se necesitan vertederos para los residuos del procesamiento, especialmente cuando las menas tienen bajo contenido metálico, lo que requiere mucho espacio. También se

incluyen infraestructuras como alojamientos para trabajadores, suministro de energía, rutas de transporte, talleres, oficinas y plantas de tratamiento. Esta explotación provoca una significativa transformación de la corteza terrestre, tanto por la extracción de las capas superiores del suelo como por la creación de escombreras, resultando en depresiones permanentes cuyo tamaño depende del volumen de material removido. Los cortes en rocas consolidadas son especialmente impactantes, a menudo con pendientes pronunciadas y sin suficiente material para el relleno. La literatura especializada coincide en que la minería a cielo abierto es una de las actividades industriales más perjudiciales desde los puntos de vista ambiental, social y cultural. Vaughan afirma que “en términos ambientales y sociales, ninguna actividad industrial es más devastadora que la minería superficial”.

### **1.3.2. La perforación de rocas**

La perforación constituye el proceso inicial en la etapa de extracción en la de cielo abierto. Su objetivo es crear una cavidad cilíndrica en el macizo rocoso para exploración, preparación de explosiones o construcción de túneles. Este proceso se lleva a cabo principalmente mediante técnicas mecánicas, que se dividen en dos categorías principales: perforación rotativa y perforación de percusión. En la perforación rotativa, la herramienta perfora la roca mediante un torque de rotación combinado con una fuerza de empuje significativa. Por otro lado, la perforación de percusión

implica que la herramienta penetra la roca a través de impactos repetidos de alta frecuencia y energía. Además, los métodos rotativos se clasifican en dos tipos según la broca utilizada: el sistema de corte y el de trituración rotativa, mientras que los métodos de percusión se dividen en percusión en cabeza y en fondo. La elección del método de perforación adecuado debe basarse en las características físicas, geométricas y operativas de la mina, como los rendimientos requeridos y la magnitud de las voladuras, entre otros factores [14].

La perforación rotativa, que utiliza un movimiento circular continuo de la barrena para fracturar la roca en el fondo del pozo, ganó popularidad después del descubrimiento del campo East Texas por "Dad" Joiner en 1930. Este método es más eficiente que la perforación con herramientas operadas por cable, ya que permite un proceso casi ininterrumpido. Los recortes de roca son expulsados continuamente por los fluidos de perforación que circulan desde la barrena hasta la superficie, a diferencia de la técnica con cable, que es intermitente y menos eficaz en la remoción de recortes, especialmente a mayores profundidades [15].

El funcionamiento de las perforadoras rotativas se basa en la combinación de la rotación de una herramienta de corte con la aplicación de una fuerza de empuje. Originalmente adoptadas para la minería en rocas blandas, la eficiencia en la movilización y montaje de estos equipos, así como la diversidad de herramientas

de corte disponibles, han extendido su uso a otros sectores. El movimiento rotativo de la herramienta es generado por el motor de la perforadora, que activa una mesa o cabeza rotatoria. Esta, a su vez, impulsa un conjunto de varillas que transmiten el movimiento a la herramienta de corte. Dependiendo del tipo de terreno, el diámetro del pozo y el objetivo de la perforación (como la extracción de muestras o la perforación destructiva), se utilizan diferentes herramientas como barrenas helicoidales, coronas circulares y cabezas tricono. La técnica de perforación rotativa varía según el material: en rocas, el avance se logra mediante corte y compresión, utilizando sondas o rotores y aplicando presión a través de barras de carga y empuje hidráulico. En suelos, particularmente aquellos granulares y poco cohesivos, se emplean barrenas helicoidales, mientras que en suelos muy sueltos se utilizan cucharas para la perforación.

La principal fuente de energía para estos equipos de perforación puede ser eléctrica o basada en motores diésel, funcionando a través de sistemas de transmisión mecánicos o hidráulicos. La energía se transfiere a las barras de perforación que giran mientras la herramienta de corte penetra en el material, impulsadas principalmente por la fuerza de un motor hidráulico. En esta modalidad de perforación, las pérdidas de energía en las barras y la herramienta de corte son mínimas, lo que permite que la velocidad de penetración se mantenga constante,

independientemente de la longitud del barreno. Para lograr el giro necesario de las barras y generar el torque adecuado, estas máquinas utilizan un sistema de rotación montado sobre un bastidor que se desplaza a lo largo del mástil de la perforadora. La limpieza de los residuos generados durante la perforación se lleva a cabo mediante aire comprimido, utilizando uno o dos compresores situados en la sala de máquinas.

### **Montaje y propulsión**

Existen dos principales sistemas de montaje para estos equipos de perforación: montaje sobre orugas y montaje sobre neumáticos (camión). La elección entre estos sistemas depende de las condiciones del terreno y, sobre todo, del nivel de movilidad necesario. Durante la perforación, los equipos se estabilizan usando tres o cuatro patas hidráulicas que soportan el peso y nivelan la máquina. El sistema sobre orugas es el preferido en grandes minas a cielo abierto, donde la necesidad de moverse es limitada. Aunque estos equipos se desplazan a una velocidad relativamente baja, entre 2 y 3 km/h, esto no representa un problema significativo ya que suelen permanecer operando durante largos períodos en la misma área o sector de la mina. Por otro lado, en operaciones de tamaño mediano donde se requiere mayor movilidad y frecuencia en el traslado del equipo, se opta por el montaje sobre neumáticos. Estos sistemas están generalmente montados sobre camiones de dos o tres ejes para los modelos más ligeros, y sobre

chasis de cuatro ejes para los más grandes, alcanzando velocidades de desplazamiento que pueden ser hasta diez veces mayores, entre 20 y 30 km/h.

### **Unidad de potencia**

Los equipos de perforación utilizan principalmente dos fuentes de energía: eléctrica o motores diésel, operando mediante sistemas de transmisión mecánicos e hidráulicos. Los equipos destinados a perforar diámetros mayores a 9 pulgadas en grandes minas a cielo abierto generalmente utilizan energía eléctrica. Esta energía, de corriente alterna y de un voltaje medio (380 - 500 Volt), se suministra a través de un cable conectado a subestaciones situadas dentro de la mina y son conocidos como equipos full-electric. Para las perforadoras más pequeñas, montadas sobre camiones, se utiliza un motor diésel, que puede ser el mismo motor que mueve el vehículo o, preferentemente, un segundo motor independiente por su mayor eficiencia, debido a las características específicas de los motores requeridos para cada función. También hay modelos diesel-eléctricos, diseñados para grandes minas productivas que no cuentan con acceso a suministro eléctrico directo.

### **Mecanismo de rotación**

El torque de rotación se transmite a la herramienta a través de la columna de barras, utilizando un motor eléctrico o hidráulico instalado en el cabezal deslizante. En los equipos más grandes, conocidos como full-electric, se prefiere un motor eléctrico de

corriente continua con su eje en posición vertical, lo que facilita ajustar la velocidad de rotación, que puede variar de 0 a 150 rpm. En contraste, los equipos montados sobre camiones, que emplean una unidad de potencia diésel, usan un motor hidráulico. Este motor opera en un circuito cerrado junto con una bomba de presión constante y un convertidor de torque, permitiendo ajustar la velocidad de rotación según sea necesario.

### **Mecanismo de empuje**

Para una penetración eficaz, se debe aplicar una fuerza de empuje que varía según la resistencia de la roca y el diámetro de la perforación. Esta fuerza, generada casi exclusivamente por un motor hidráulico, es esencial para el funcionamiento del equipo. Existen varios sistemas de empuje, y el mecanismo suele estar diseñado para ejercer una fuerza equivalente al 50% del peso total de la máquina. Los equipos más grandes pueden pesar hasta 120 toneladas. Este sistema también facilita el izamiento de la columna de barras, permitiendo levantarlas a velocidades de aproximadamente 20 metros por minuto.

### **Sistema de barrido**

La limpieza de los residuos generados durante la perforación se lleva a cabo utilizando aire comprimido, proporcionado por uno o dos compresores situados en la sala de máquinas. El aire se canaliza a través de un tubo flexible que lo inyecta desde el cabezal de rotación y a lo largo del interior de la columna de barras hasta el

fondo del pozo. La presión del aire necesaria para este proceso varía entre 2 y 4 bares, dependiendo de la longitud de los tiros.

### **Herramientas de perforación**

Inicialmente, los triconos se utilizaban principalmente en rocas de baja a media resistencia a la compresión. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos, este método de perforación rotativa se ha vuelto predominante en la minería a cielo abierto de gran escala, aplicable tanto en rocas blandas como en rocas extremadamente duras, especialmente en diámetros de perforación mayores a 175 mm. Por ejemplo, en Chile, aproximadamente el 80 % de la producción de cobre se obtiene actualmente de operaciones que emplean este tipo de perforación. Existen dos variedades de triconos: los de dientes estampados y los de insertos de carburo de tungsteno. Los triconos con dientes estampados, siendo los más antiguos, están limitados a rocas blandas y de dureza media. Por otro lado, los triconos con insertos de carburo son aptos para perforar incluso las rocas más duras. Aunque estos últimos son considerablemente más costosos, con un precio hasta cinco veces mayor, su inversión se justifica por su mayor durabilidad [16].

### **1.3.3. Producción y productividad**

La productividad en la industria extractiva se define como la relación entre el producto, medido en toneladas de material

extraído, y el insumo, medido en horas de trabajo. Este criterio de productividad está cada vez más vinculado a la sostenibilidad, la gestión eficaz de todos los procesos y la satisfacción de las partes interesadas [17].

Para medir la productividad en la extracción de minerales, considerada una actividad multifactorial debido a las complejas interrelaciones entre las variables del sistema, se requiere un enfoque de gestión integral. Esto implica la coordinación y organización de todos los departamentos de la empresa para alcanzar los objetivos de gestión, definidos a partir de las metas estratégicas de la organización y reflejados en los planes mineros [18].

Este enfoque de gestión integral debe basarse en un sistema de toma de decisiones apoyado por información oportuna y eficaz, que permita evaluar la eficiencia de la configuración actual de la extracción. También debe identificar las variables clave (convencionales y no convencionales), conocer los parámetros operativos y comprender el impacto de los factores críticos en la eficiencia del proceso.

Según Schwarz (2017), la productividad total puede calcularse considerando la eficiencia de cada componente de acuerdo con la teoría económica básica, siempre que se conozca la contribución individual de cada factor en la producción de las operaciones. En este contexto, para la gestión es crucial centrarse

en los cambios en eficiencia en lugar de solo en la eficiencia en sí misma, para lograr aumentos que aporten valor a la empresa. Estos incrementos pueden medirse de la siguiente manera [19]:

$$PRODUCTIVIDAD = \frac{PRODUCCIÓN}{RECURSOS UTILIZADOS}$$

Los incrementos en productividad ( $\Delta P$ ) resultan en un aumento de la producción, el rendimiento y la rentabilidad, junto con una disminución de costos, desperdicios y riesgos. Esto también genera una reducción global de los tiempos de ciclo, lo que acelera el flujo de efectivo y, en última instancia, agrega valor tanto a las organizaciones en general como a las empresas mineras en particular [20].

La evaluación de la productividad laboral en el sector minero del Perú enfrenta numerosas barreras debido a la falta de datos detallados. Un experto mencionado en este estudio destaca que una gran parte de la producción industrial es informal y que hay escasez de información al respecto. Los datos disponibles se han recopilado de manera primitiva, lo que conlleva a errores de medición significativos. Por ende, existen pocas estimaciones confiables sobre la productividad laboral en la minería peruana [21].

## **1.4. Formulación de los problemas**

### **1.4.1. Problema general**

¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022?

### **1.4.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022?
- ¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022?
- ¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022?

## **1.5. Justificación**

La investigación se justifica a nivel práctico; debido a que la investigación dispone sus esfuerzos en mejorar la productividad operativa en perforación de rocas, mediante la optimización de la misma, mediante comparativo de sistemas de perforación, convencional y con uso de tecnología; esto conllevará a un incremento de los metros perforados, menor tiempo de trabajo, y mayor alcance de producción por la alta velocidad de trabajo de maquinaria, además, el proyecto permitirá

sobrepasar los niveles planificados en el plan de minado anual, cumpliendo eficazmente con los pedidos a nivel internacional, considerando que la empresa minera involucrada es de las mayores abastecedoras a nivel nacional y mundial de minerales de cobre y molibdeno.

La justificación técnica de la investigación radica en el empleo de fichas diseñadas específicamente por el investigador, basándose en su experiencia profesional y en las necesidades, expectativas, metas y objetivos gerenciales delineados en el plan de explotación minera. El estudio abarca diversas metodologías relacionadas con la perforación de rocas. Este aspecto implica un entendimiento profundo de los conceptos y parámetros clave en perforación en tajos mineros, apoyándose en teorías establecidas para el cálculo de parámetros y establecimientos de costos operativos. Además, el investigador aporta su conocimiento especializado para identificar oportunidades de mejora en los procesos, basándose en el principio de mejora continua. Esto, a su vez, facilita la estandarización de métodos que optimizan la toma de decisiones dentro de la organización.

En última instancia, la justificación metodológica del estudio radica en su enfoque único hacia la ruta metodológica, incorporando un tipo y diseño de estudio específicos, además del uso de técnicas de investigación y herramientas diseñadas a medida, como fichas, que están orientadas a cumplir los objetivos establecidos en la investigación, todo ello alineado con los principios del método científico.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022
- Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.
- Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

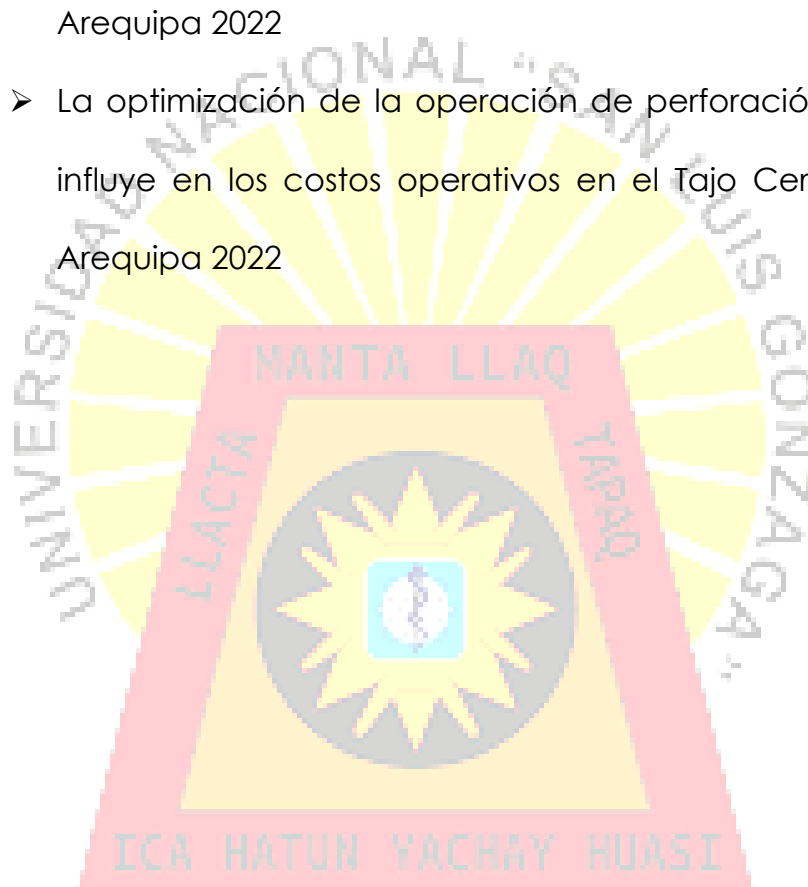
## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis específica**

La optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

### 1.7.2. Hipótesis específica

- La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022
- La optimización de la operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022
- La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022



## II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

### 2.1. Unidad Minera de estudio

La mina Cerro Verde, propiedad de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., en la que Buenaventura posee un 19.58% de participación, está ubicada en el distrito de Uchumayo, en la provincia y región de Arequipa. Esta mina produce cátodos de cobre, concentrado de cobre y concentrado de molibdeno. Actualmente, cuenta con el mayor complejo de concentración de cobre del mundo y es operada por Freeport McMoRan.

- **Geología:** El depósito de Cerro Verde contiene cobre en formas de óxidos, sulfuros secundarios y sulfuros primarios. Entre los minerales de óxido de cobre destacan la brochantita, crisocola, malaquita y cobre "pitch". En cuanto a los sulfuros secundarios, los principales son la calcosina y la covellina, mientras que los sulfuros primarios predominantes son la calcopirita y la molibdenita.
- **Minado:** La extracción en Cerro Verde se lleva a cabo mediante minería a cielo abierto. Priorizamos el cuidado del medio ambiente, el bienestar de las comunidades locales, y la salud y seguridad de nuestros empleados y contratistas. Utilizamos procesos como la hidrometalurgia (lixiviación) y la concentración para producir nuestros productos finales.
- **Metalurgia:** La hidrometalurgia implica una serie de procesos, como chancado primario, secundario y terciario,

aglomeración, apilado, lixiviación, percolación, almacenamiento, extracción, reextracción, filtrado y electrodeposición. Mientras tanto, la concentración incluye chancado secundario y terciario, circuitos de molienda, flotación, remolienda, flotación de limpieza, espesamiento y filtración.

- Capacidad de producción y procesamiento: La implementación de la segunda planta concentradora ha triplicado nuestra capacidad de procesamiento por flotación, pasando de 120,000 toneladas métricas diarias (TMD) a 360,000 TMD. Como resultado, hemos incrementado nuestra producción anual en aproximadamente 600 millones de libras de cobre y 15 millones de libras de molibdeno. Además, la capacidad de la planta de lixiviación es de 40,000 TMD.

## **2.2. Tipo de investigación**

Tipo aplicada [22], debido a que el estudio centra sus esfuerzos en el mejoramiento de un entorno operativo, es decir, busca beneficiarse a partir de la misma con medios prácticos aplicativos.

## **2.3. Nivel de investigación**

Nivel descriptiva – explicativa [23]; el estudio adoptará un enfoque descriptivo, con el objetivo de describir minuciosamente todos los aspectos del fenómeno investigado, incluyendo características

específicas que se ajusten a las necesidades de la investigación. Además, tendrá una dimensión explicativa, ya que pretende entender la secuencia de los eventos en el lugar de estudio a través del análisis de las conexiones causales y sus efectos.

#### **2.4. Diseño de investigación**

Diseño pre experimental transversal [24]; porque metodológicamente se manipulará en bajo grado una variable denominada independiente (optimización de la operación de perforación de rocas) para lograr medir el efecto en la otra variable denominada dependiente (productividad operativa); es decir una vinculación de causa-efecto, un hecho y una consecuencia concreta.

#### **2.5. Población y muestra**

##### **Población**

La población de estudio se refiere al grupo de personas, elementos u objetos que participan en una investigación y la principal característica es de tener similitud en espacio y tiempo [25]; en ese sentido, la población de investigación son las actividades de perforación de rocas ejecutadas en el Tajo Cerro Verde de la Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., en el año 2022.

##### **Muestra**

La muestra se refiere a una parte de la denominada población de estudio que se enfoca en dinamizar el manejo efectivo para alcanzar los fines de

la investigación, y consecuentemente generalizar los hallazgos [26]; en ese sentido, la investigación tendrá como muestra de estudio a 11 proyectos de perforación en el Tajo Cerro Verde, en el año 2022.

## **2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La investigación usará la técnica de la observación directa [27], técnica que permite recolectar datos mediante el acercamiento directo al fenómeno en el mismo lugar de los hechos según necesidades y pretensiones de la organización e investigador. También se utilizará la técnica del fichaje [28], técnica que permite recolectar datos para el estudio mediante fichas físicas.

En relación a los instrumentos, se usará las fichas e informes de propia elaboración del autor del estudio, basado en la variable de estudio (optimización de la operación de perforación de rocas) y sus indicadores (metros perforados, tiempo de trabajo y costos de operación).

## **2.7. Técnicas de análisis e interpretación de datos**

### **Técnica de análisis e interpretación de datos**

Tras recolectar los datos mediante los instrumentos especificados, se procederá a clasificar la información obtenida. Posteriormente, esta será organizada de acuerdo con los criterios establecidos por los indicadores y luego será analizada estadísticamente. El resultado final se interpretará

en forma de tablas y gráficos, en correlación con los indicadores mencionados.

Cabe destacar que el procesamiento de los datos se realizará utilizando el software estadístico Microsoft Excel 2016 para llevar a cabo el análisis descriptivo.



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis del entorno geológico

##### Geología regional

La geología de la región que engloba los yacimientos de Cerro Verde y Santa Rosa exhibe una variedad de rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e intrusivas. El basamento geológico más antiguo es el Gneis Charcani, que se remonta al Precámbrico. Sobre este basamento se encuentran las formaciones más recientes, comenzando con el volcánico Chocolate y la formación Socosani del Jurásico Inferior a Medio. Posteriormente, emerge el Grupo Yura, conformado por las formaciones Cachios y Labra, que abarcan desde el Jurásico Superior hasta el Cretáceo Inferior. Durante el Cretáceo Medio se deposita el volcánico Toquepala. Después de un período de notable actividad tectónica y magmática, se forman los intrusivos del Batolito de la Caldera [29].

El Gneis Charcani, que actúa como basamento regional en la región, es la formación geológica más antigua. Esta roca predominante en la zona es un gneis granítico con tonos gris oscuro matizados con crema y verde claro. Tiene una textura de grano fino y presenta una estructura bandeada distintiva compuesta principalmente de cuarzo, ortoclasa y biotita, con trazas de plagioclasa y moscovita. Esta disposición en bandas suele mantenerse incluso cuando la roca está altamente alterada [29].

El Gneis Charcani exhibe bandas de cuarzo-feldespatos leucocráticos que se alternan con frecuencia con bandas de biotita y, en menor

proporción, de magnetita. Se encuentra al norte, oeste y sur del pit de Cerro Verde, así como al norte y sur del depósito de Santa Rosa. En áreas cercanas, se ha identificado Gneis de Composición Diorítica, con una textura similarmente bandeada y fina, donde se ha observado la presencia de pirita "friable" [29].

El conglomerado Tinajones, situado a 2.5 km al noreste de Cerro Verde, consiste en una exposición de rocas compuestas por fragmentos redondeados y angulares de diversos tamaños, dispuestos de manera desordenada. Estos fragmentos comprenden gneis, intrusivos graníticos antiguos, metacuarcitas y rocas volcánicas, unidos por una matriz gneísica de color verde oscuro. Aunque se ha sugerido preliminarmente que esta roca forma parte del grupo Yamayo, su clasificación no está claramente definida debido a que parece estar en discordancia angular con el gneis subyacente y se encuentra por debajo del volcánico Chocolate y la granodiorita Tiabaya [29].

### **Geología local**

Para el estudio actual, se ha observado una exposición completa de rocas sedimentarias, intrusivas, metamórficas y volcánicas en el área. La descripción detallada de la geología local se basa en el Informe Interno titulado "Geology of the Cerro Verde and Santa Rosa Porphyry Copper Deposits, 2002". Además, se ha utilizado la información proporcionada en la "Memoria Explicativa de la Geología del Cuadrángulo La Joya", publicada en el Boletín N° 34s1 del INGEMMET en el año 2000 [29].

El Gneis se encuentra distribuido en las regiones norte, oeste y sur de Cerro Verde, extendiéndose hacia el norte y sur de Santa Rosa. La datación radiométrica U-Pb ha establecido que esta roca tiene una antigüedad de aproximadamente 2000 millones de años. El Gneis Charcani ha sido afectado por intrusiones posteriores, como la Granodiorita Yarabamba y diversos diques de lamprofídicos, andesíticos y pegmatitas. A lo largo de su historia, este gneis ha experimentado los efectos de la actividad tectónica estructural, así como intrusiones más recientes durante el Cretácico Superior y el Terciario Inferior. Este tipo de gneis está caracterizado por bandas de cuarzo-feldespato leucocrático que se alternan con bandas de biotita y capas intercaladas de magnetita. El Gneis común en la zona es de composición granítica, con un color que oscila entre gris oscuro y verde oscuro, y un grano de medio a grueso. Presenta una estructura bandeada típica compuesta por cuarzo, ortoclasa, biotita, y en menor medida, plagioclasa y moscovita. En ocasiones, se observa la presencia de magnetita masiva y alineada en la dirección del bandeamiento. En áreas donde la alteración hidrotermal es intensa, distinguir entre el Gneis Charcani y la Granodiorita Yarabamba puede ser complicado, especialmente en zonas con alteración fílica, argílica y silíceo, y en áreas potásicas afectadas por la mineralización. A pesar de la alteración, la textura bandeada del gneis suele mantenerse [29].

El afloramiento se encuentra al noreste de los depósitos de Cerro Verde y Santa Rosa, con una extensión aproximada de 20 km de longitud por 10

km de ancho a lo largo de su eje principal, que generalmente se orienta hacia el noroeste. Según García (1968), este cuerpo intrusivo tiene una forma ovalada y un buzamiento sub-vertical. En las proximidades del tajo de Cerro Verde, la roca exhibe una leve alteración propilítica y filica, así como una moderada alteración argílica supérgena, acompañada de niveles anómalos de cobre en áreas de alteración hidrotermal. La Granodiorita Tiabaya presenta un color gris claro con tonos rosados en estado fresco, similar a la tonalita, y tiene una textura medio a gruesa, ocasionalmente porfírica. Está compuesta principalmente por plagioclasa, cuarzo y ortosa, con minerales accesorios como biotita, hornblenda, calcita en venas, epidota en venas y diseminada, clorita, y abundante magnetita. Su textura es más gruesa en comparación con la Granodiorita Yarabamba, y su color es más claro. La Granodiorita Tiabaya está atravesada por diques aplíticos y pegmatíticos, que contienen xenolitos de composición máfica que ocasionalmente se transforman en cloritas. Algunos de estos diques, que pueden alcanzar hasta 3 metros de grosor, contienen turmalina de forma esporádica. En áreas donde la Granodiorita Tiabaya se encuentra en contacto con la Granodiorita Yarabamba y está bajo la influencia de la alteración hidrotermal, se observa un bajo grado de mineralización de cobre, generalmente asociado con calcopirita en venas junto con pirita [29].

### **Geología estructural**

El sistema de fallas en la región se distingue por la presencia de estructuras de gran magnitud, algunas de las cuales se consideran probables debido

a que han sido identificadas en base a evidencias fisiográficas claras, como escarpaduras bien definidas, o por cambios abruptos en la disposición de las capas de rocas sedimentarias. Las rocas intrusivas, debido a su composición litológica, muestran un notable diaclasamiento y fracturamiento. Sin embargo, no se han observado desplazamientos significativos, ya que han sido alterados por la erosión o están cubiertos por depósitos más recientes, lo que dificulta su análisis detallado.

Las principales fallas identificadas a nivel general son [29]:

a) Falla Cenicienta

Esta falla destaca por estar bien expuesta y abarcar una gran extensión, mostrando un relieve muy distintivo y una topografía significativa. Es característica la presencia de panizo de manera sectorizada en su estructura.

b) Falla Variante

Una falla, paralela a la Falla Cenicienta, es notablemente visible en un corte realizado en la variante de Tinajones. Tiene un espesor promedio de 30.0 metros y ángulos de inclinación pronunciados que varían entre 60° y 65° en dirección noreste.

c) Falla Jenks

Esta falla corta la antigua carretera hacia Cerro Verde. Se estima que tiene un grosor de 5.0 metros y se inclina a 60°-65° hacia el noreste. Su función principal es la de unir el gneis con el volcánico Chocolate.

d) Falla Tinajones

Esta falla se manifiesta en la quebrada que lleva su nombre, mostrando panizo principalmente en la Aguada de Estremadoyro. La visibilidad de sus afloramientos es esporádica debido a la cubierta cuaternaria que los recubre.

#### e) Falla Yura

Establece el contacto entre el gneis y el Grupo Yura. Sus afloramientos más claros se encuentran cerca del túnel de la antigua carretera, donde se observan contactos fallados muy nítidos. En la zona de Cerro Verde, esta falla presenta un componente estructural orientado este-oeste, que se conjuga con sistemas de dirección noroeste-sureste y noreste-suroeste, atravesando el depósito. La mayoría de las fracturas en Cerro Verde tienen una orientación este-oeste, mientras que en el pórfido se orientan noroeste-sureste. En Santa Rosa, la falla principal se orienta N50°O y buza 80° al NE con un ancho promedio de 40.0 metros, caracterizándose como una zona altamente fracturada y triturada con panizo, donde el cruce de fallas resulta en un intenso fracturamiento.

### **3.2. Optimización de la perforación de rocas**

La presente investigación concentra sus esfuerzos en optimizar la operación de perforación de rocas mediante el cambio de perforación convencional a una operación con percusión asistida en la perforación tricónica y la broca con diseño estructural de alta calidad que también

será mejorada, es decir, un sistema rotativo mejorado, que ha sido una tecnología a probar del proveedor aliado Atlas Copco en la operación mencionada. Esta idea permitirá alcanzar la máxima productividad a través del incremento de la velocidad de penetración. Se alcanzará una mayor productividad mediante la implementación del sistema mencionado, lo cual también permitirá maximizar la cantidad de taladros por turno y asegurar su rectitud durante la perforación, evitando así la necesidad de repetir el proceso. Además, este enfoque mejora el plan de perforación y la eficiencia en el uso de los equipos disponibles. La precisión y el peso de los taladros contribuyen a reducir el tiempo necesario para preparar el collar de perforación, todo esto gracias a la menor presión de torque generada, lo que a su vez ayuda a prevenir atascos al comienzo de la perforación. El sistema mejorado ofrece un menor costo total de perforación debido a su eficiencia en lograr una mayor penetración en formaciones rocosas de tipo I en un rango de 250 a 400 MPa. Esto optimiza el tiempo, reduce el consumo de combustible y disminuye la cantidad de agua necesaria para la formación de los taladros en la malla. Además, con este sistema, los equipos tendrán una mayor disponibilidad para la perforación y se reflejará en una reducción del costo de mano de obra por metro perforado.

Los martillos en este sistema, al igual que las herramientas rotativas, operan con una presión de aire de perforación que oscila entre 60 y 110 PSI. El diseño del pistón, que es liviano, genera impactos de alta frecuencia y baja potencia para reducir el daño a las brocas tricónicas y

mejorar la tasa de penetración (ROP). La frecuencia de los golpes del martillo se puede ajustar variando el tamaño de las boquillas, lo que modifica la salida de aire y, en consecuencia, la velocidad de percusión en la perforadora. Además, la longitud y el diámetro del martillo están diseñados para ser compatibles con el adaptador estándar, facilitando la conexión y desconexión con las barras y la configuración general de la columna de perforación.

Otro aspecto mejorado, como se mencionó anteriormente, es la broca tricónica, que ha experimentado mejoras en su diseño de corte mediante el uso de carburo más resistente. Esto ha aumentado la durabilidad de los insertos en un 30% en comparación con los insertos convencionales. Los rodamientos están diseñados para resistir tanto el esfuerzo de tracción como las RPM de una broca tricónica estándar, así como los impactos adicionales generados por el martillo. Los faldones están específicamente diseñados para mantener su integridad estructural sin romperse e incorporan insertos de protección. Además, se han implementado boquillas de polímero en lugar de boquillas de acero para evitar su desprendimiento y proteger los insertos de los conos de la broca. Las brocas de 12 1/4" tienen el mismo tamaño de orificio de boquilla que las de 10 5/8". Por otro lado, los hilos en las rocas siguen el modelo beco de 6", lo que reduce la posibilidad de rotura de pasadores y minimiza el riesgo de roscado cruzado durante la instalación. Además, cuentan con un anillo especial en la parte inferior de los hilos que ayuda a prevenir el atasco de la broca debido a las fuerzas de perforación.

Este sistema innovador presenta características que incluyen una reducción en los rebotes durante la perforación, lo que protege tanto las brocas tricónicas como toda la columna de perforación. Esto conduce a la formación de collares más pequeños y estables que los que pueden lograr las brocas rotativas convencionales, lo que resulta en taladros de producción más rectos con paredes más suaves y estables. En términos de eficiencia, el sistema ofrece una velocidad de penetración entre un 30% y un 50% mayor que el sistema convencional. La durabilidad de las brocas diseñadas para este sistema es igual o superior a la de los triconos convencionales. Además, el ruido generado por el martilleo del sistema es menor que el producido por los sistemas de perforación tradicionales. Por otro lado, el sistema opera con una capacidad de aire de baja presión, compatible con la que se encuentra en los equipos rotativos normales, cuyo rango estándar es de 50 a 110 PSI.

El sistema está equipado con un pistón más liviano en comparación con los martillos de 8" o 10" de su categoría, lo que resulta en una mayor frecuencia y una fuerza de impacto reducida en la broca. El diseño del flujo de aire es único y paralelo; aproximadamente entre el 25% y el 35% del flujo de aire se destina a operar el martillo al máximo rendimiento, mientras que el 65% al 75% restante se dirige directamente a la broca tricónica para facilitar la limpieza del taladro. Las boquillas (nozzles) del sistema PARD son responsables de regular la presión de aire de entrada para el martilleo. Además, es esencial lubricar el martillo antes de su uso

y después de cada mantenimiento para evitar la formación de grietas en los componentes internos.

### **Funcionamiento y operación**

- El adaptador de broca ("shank adapter") se sitúa en la posición más baja.
- El aire que ingresa al martillo circula por la cámara de accionamiento, donde la presión detiene el pistón para prevenir su movimiento repetitivo.
- La cámara de retorno tiene estrías que permiten su ventilación y evitan que el pistón se desplace hacia arriba.
- El aire excedente en el martillo se libera a través de los orificios del "backhead".
- Este aire expulsado también sirve para limpiar los orificios pequeños, mejorando su funcionalidad.
- El aire de alta presión entra en el cabezal del martillo a través de la conexión de la columna de perforación.
- El adaptador de broca está completamente cerrado y asegurado al cuerpo del martillo, listo para iniciar la operación.
- El aire a alta presión fluye a través del orificio del tubo de control, presurizando la cámara de retorno, lo que causa que el pistón ascienda.
- A medida que el pistón se eleva, la cámara de impulsión se despresuriza.

- El aire de escape del martillo activa la válvula de retención y se libera al ambiente a través de los orificios del anillo de cabezal "backhead".
- El aire también circula a través de las boquillas para dar limpieza a los orificios.
- Se activa el puerto de alimentación del impulsor, inyectando aire a alta presión para dirigir al pistón.
- La presión dentro de la cámara de impulsión se iguala a la presión de la línea.
- El pistón se mueve hacia arriba, ventilando la cámara de retorno y liberando el aire excedente al ambiente.
- El aire de la línea es retenido por el pistón, y la presión aumenta por encima de la presión de línea a medida que el pistón asciende.
- Esto proporciona energía adicional al pistón en su movimiento descendente.
- Previene que el pistón se desplace más allá de su límite.
- El aire de la línea se suministra de manera continua a la superficie de impulsión del pistón.
- La cámara de retorno se ventila, expulsando aire al exterior.

### **3.3. Indicadores operativos de perforación**

En la presente investigación para demostrar la efectividad de la optimización de la perforación de rocas mediante el mejoramiento de la perforación rotativa con percusión asistida y broca tricónica mejorada,

se ejecutará un comparativo de perforadoras convencionales y una sola perforadora con la tecnología y broca mejorada, pero en las 6 fases de perforación y proyectos pertinentes elegidos como muestra, mediante sus medias resultantes, teniendo los siguientes resultados.

**Tabla 1.**

*Indicadores de perforación con sistema convencional en el turno día*

<b>PERFORACION CON SISTEMA CONVENCIONAL TURNO DIA</b>			
<b>Nº</b>	<b>Metros perforados (m)</b>	<b>Horas operadas (Hr)</b>	<b>Velocidad de penetración (m/Hr)</b>
PROYECTO 1	315.45	11.10	28.42
PROYECTO 2	321.00	11.85	27.09
PROYECTO 3	315.15	11.01	28.62
PROYECTO 4	854.10	28.51	29.96
PROYECTO 5	345.45	13.48	25.63
PROYECTO 6	485.00	15.43	31.43
PROYECTO 7	352.00	13.59	25.90
PROYECTO 8	485.00	15.44	31.41
PROYECTO 9	185.00	6.75	27.41
PROYECTO 10	458.00	14.51	31.56
PROYECTO 11	264.00	9.84	26.83
<b>TOTAL</b>	<b>4380.15</b>	<b>151.51</b>	<b>28.91</b>

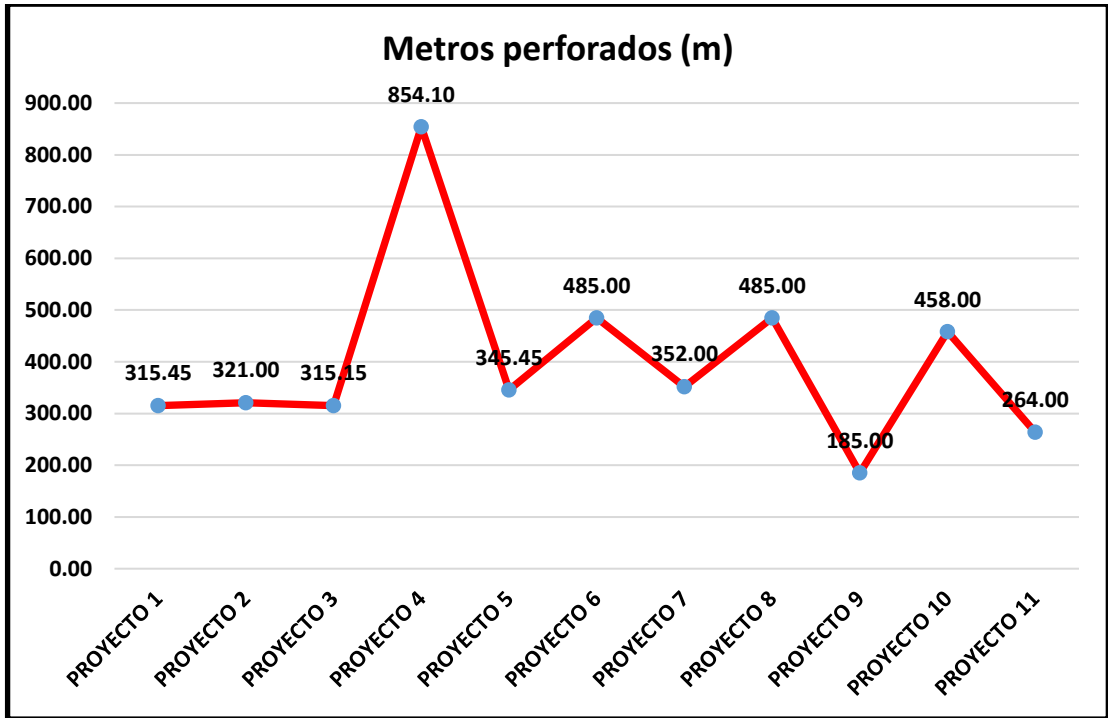


Figura 1. Indicador metros perforados en el sistema convencional turno día

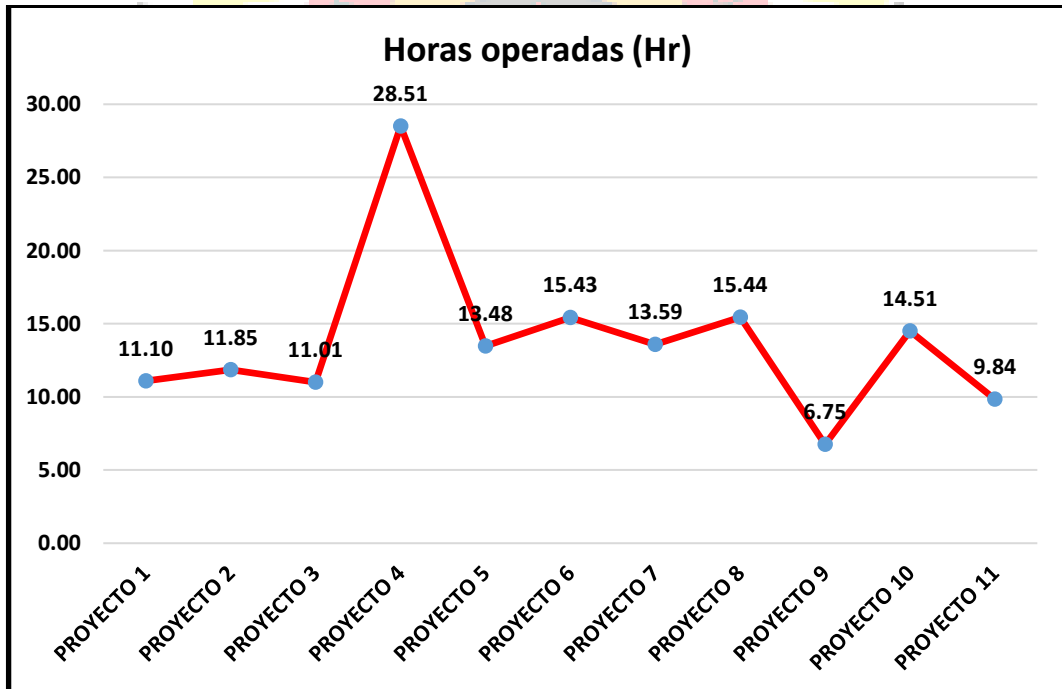
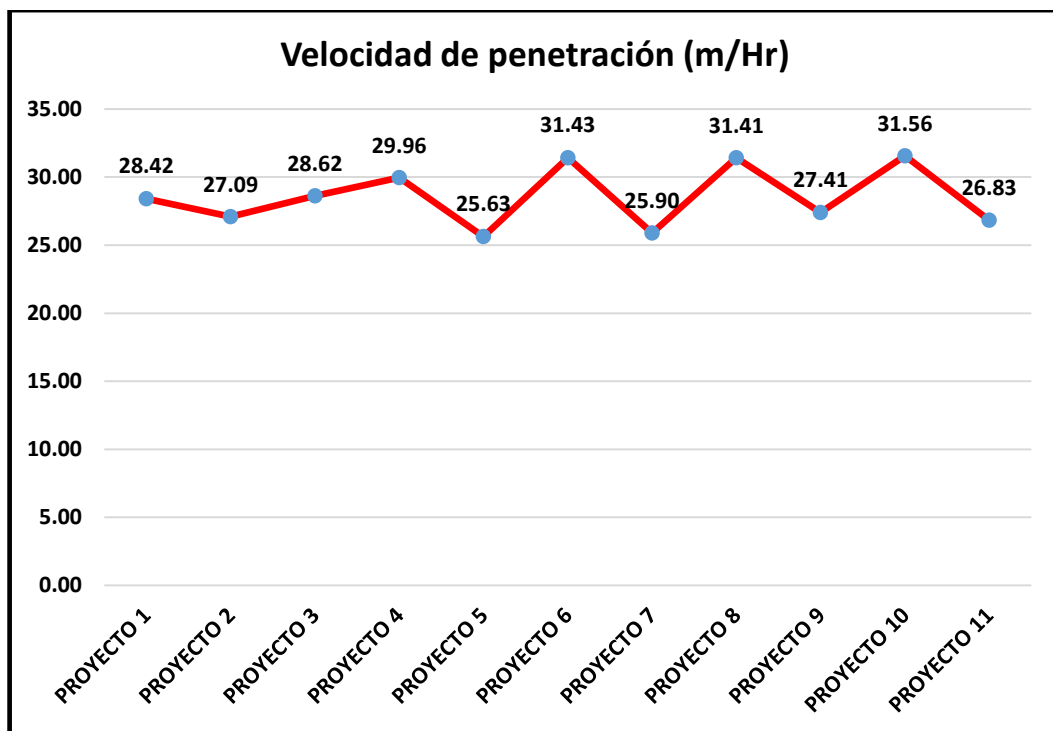


Figura 2. Indicador horas operadas en el sistema convencional turno día



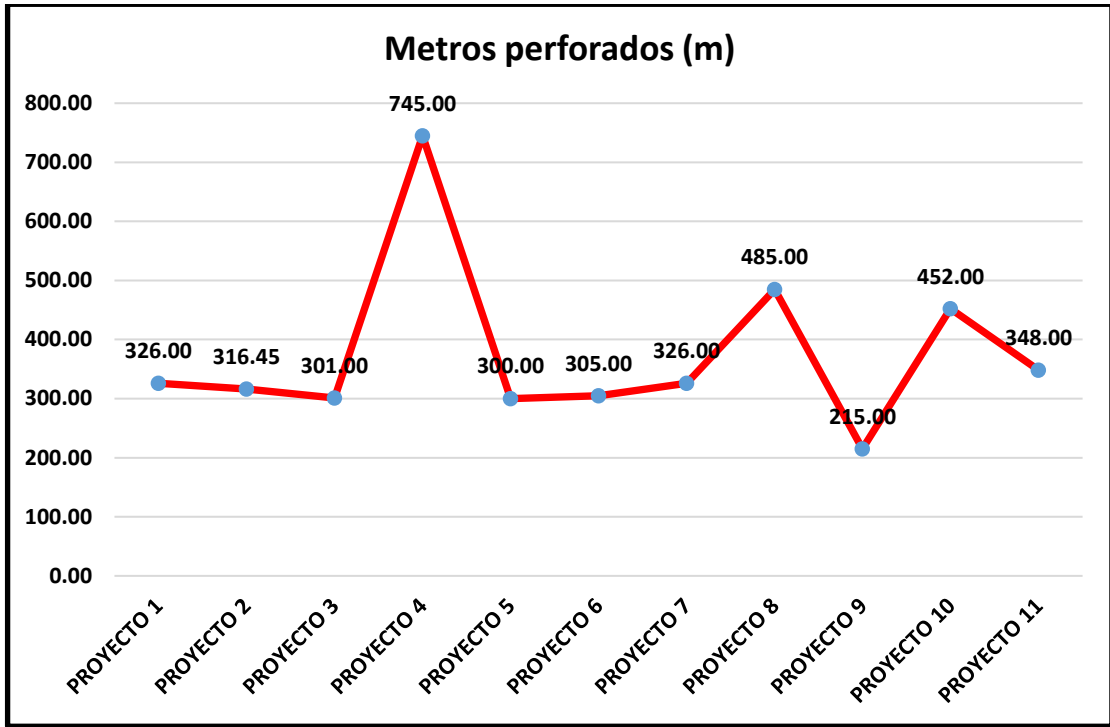
**Figura 3.** Indicador velocidad de penetración en el sistema convencional turno día

**Tabla 2.**

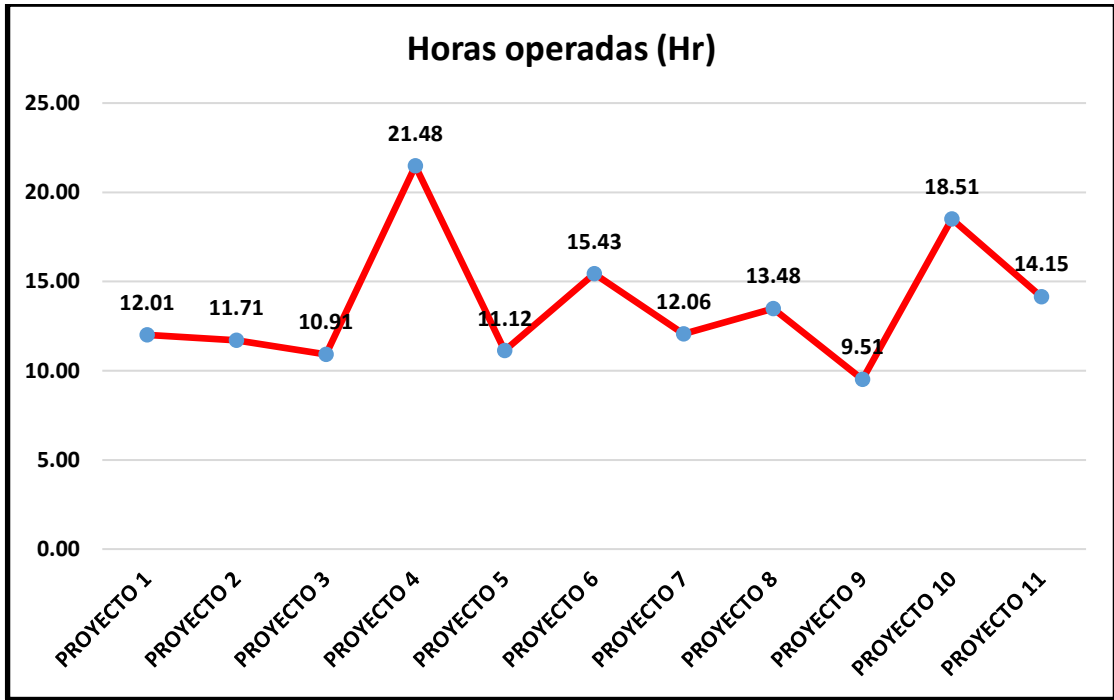
Indicadores de perforación con sistema convencional en el turno noche

PERFORACION CON SISTEMA CONVENCIONAL TURNO NOCHE			
Nº	Metros perforados (m)	Horas operadas (Hr)	Velocidad de penetración (m/Hr)
PROYECTO 1	326.00	12.01	27.14
PROYECTO 2	316.45	11.71	27.02
PROYECTO 3	301.00	10.91	27.59
PROYECTO 4	745.00	21.48	34.68
PROYECTO 5	300.00	11.12	26.98
PROYECTO 6	305.00	15.43	19.77
PROYECTO 7	326.00	12.06	27.03
PROYECTO 8	485.00	13.48	35.98
PROYECTO 9	215.00	9.51	22.61
PROYECTO 10	452.00	18.51	24.42
PROYECTO 11	348.00	14.15	24.59

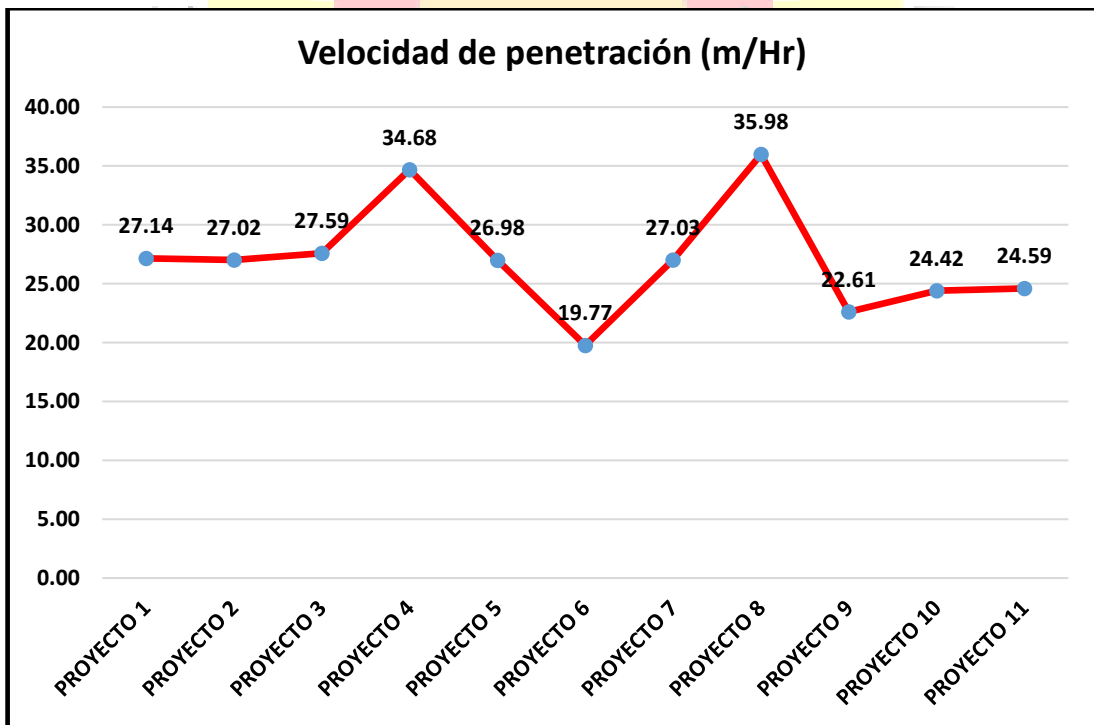
TOTAL	4119.45	150.37	27.40
-------	---------	--------	-------



**Figura 4.** Indicador metros perforados en el sistema convencional turno noche



**Figura 5.** Indicador horas operadas en el sistema convencional turno noche

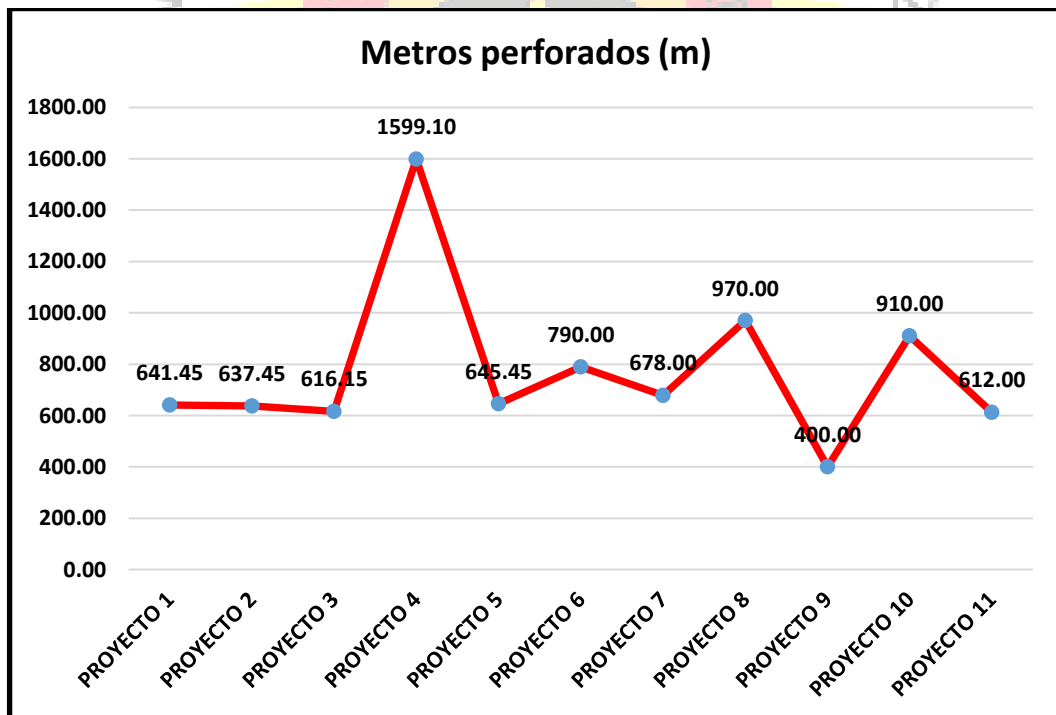


**Figura 6.** Indicador velocidad de penetración en el sistema convencional turno noche

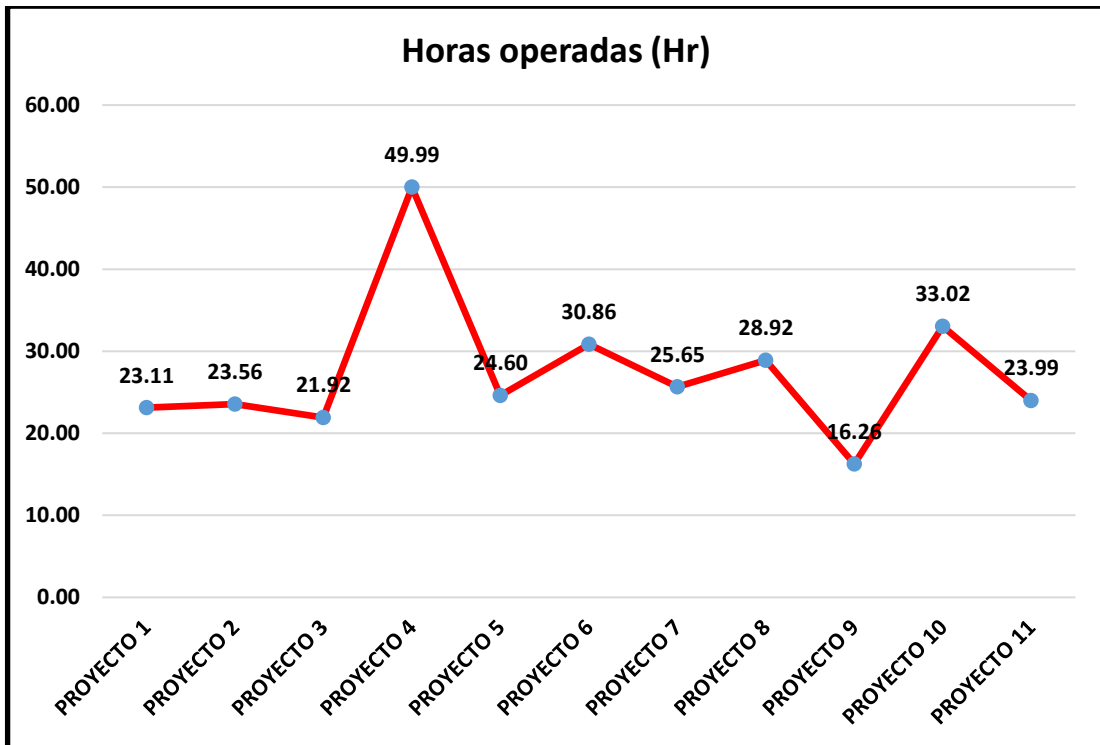
**Tabla 3.**

*Indicadores de perforación con sistema convencional total*

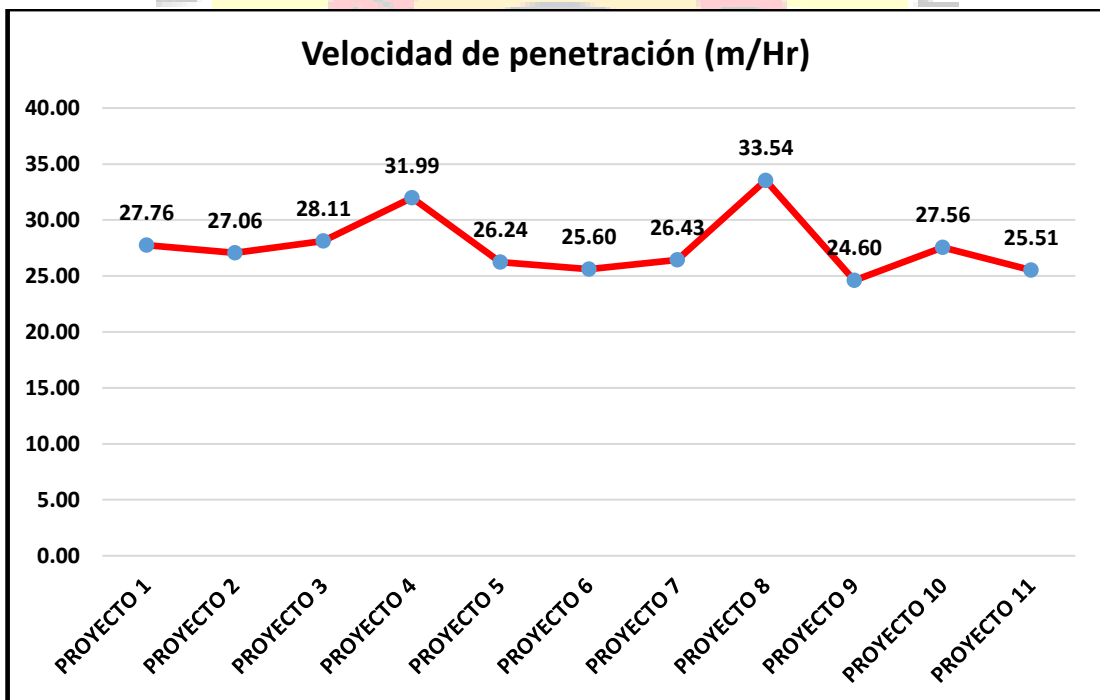
PERFORACION CON SISTEMA CONVENCIONAL TOTAL			
Nº	Metros perforados (m)	Horas operadas (Hr)	Velocidad de penetración (m/Hr)
PROYECTO 1	641.45	23.11	27.76
PROYECTO 2	637.45	23.56	27.06
PROYECTO 3	616.15	21.92	28.11
PROYECTO 4	1599.10	49.99	31.99
PROYECTO 5	645.45	24.60	26.24
PROYECTO 6	790.00	30.86	25.60
PROYECTO 7	678.00	25.65	26.43
PROYECTO 8	970.00	28.92	33.54
PROYECTO 9	400.00	16.26	24.60
PROYECTO 10	910.00	33.02	27.56
PROYECTO 11	612.00	23.99	25.51
<b>TOTAL</b>	<b>8499.60</b>	<b>301.88</b>	<b>28.16</b>



**Figura 7.** *Indicador metros perforados en el sistema convencional total acumulado*



**Figura 8.** Indicador horas operadas en el sistema convencional total

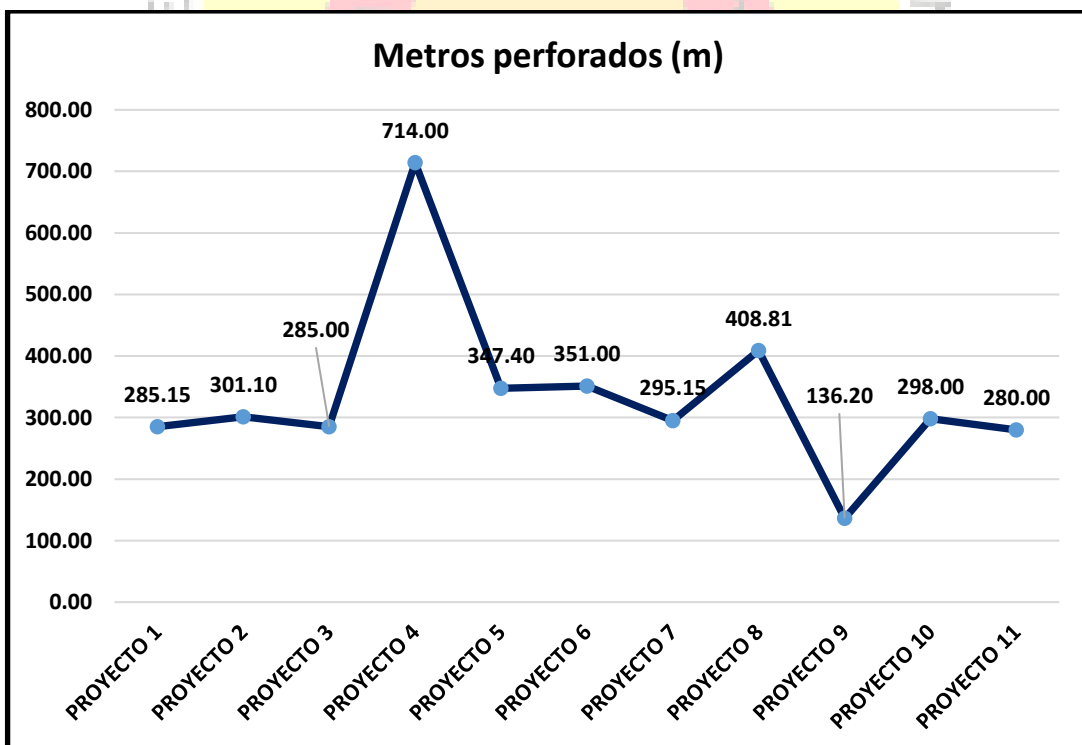


**Figura 9.** Indicador velocidad de penetración en el sistema convencional total

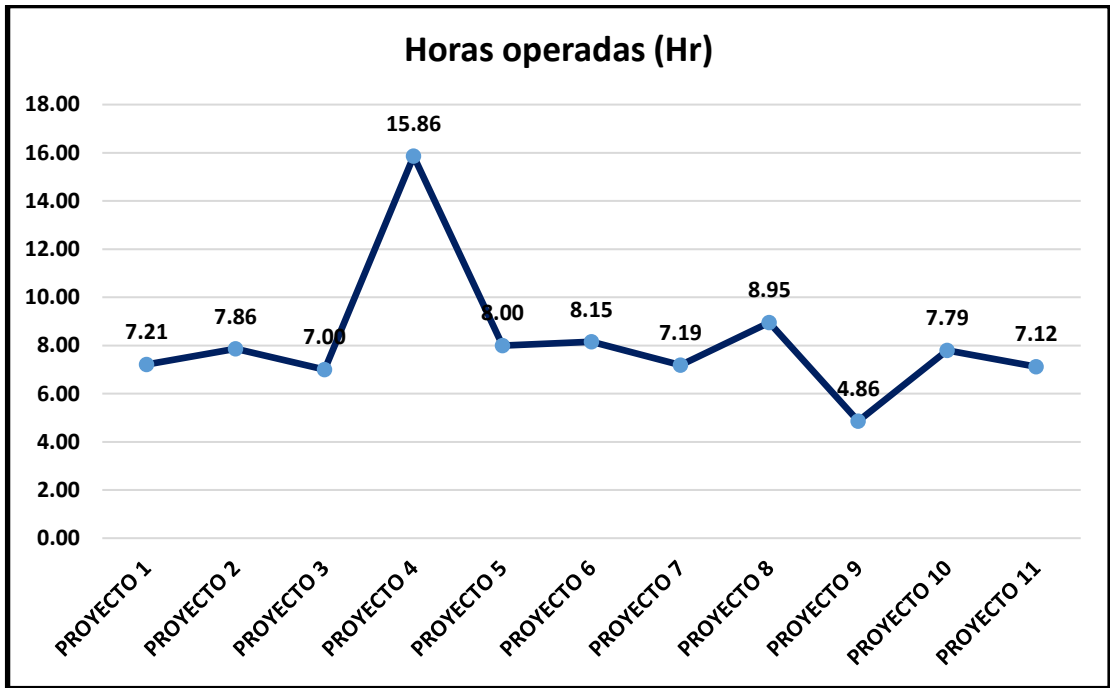
**Tabla 4.**

*Indicadores de perforación con sistema mejorado turno día*

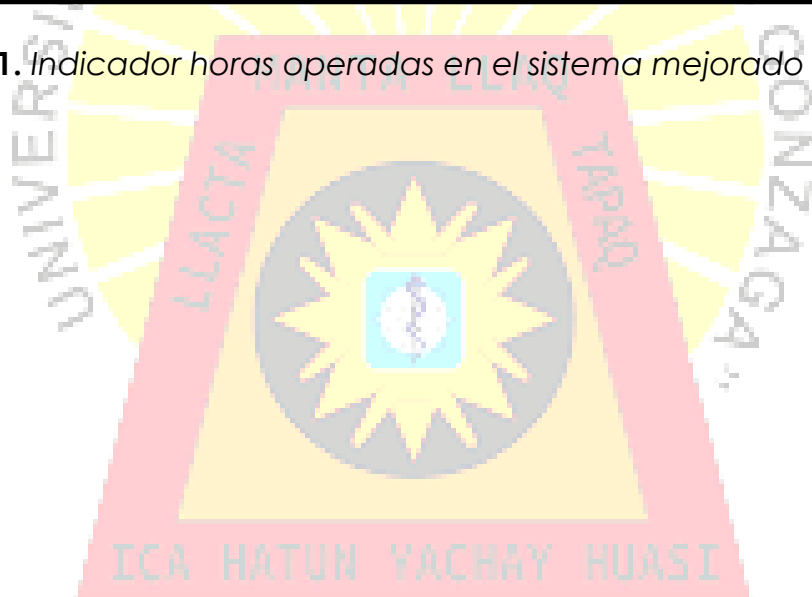
PERFORACION CON SISTEMA MEJORADO TURNO DIA			
Nº	Metros perforados (m)	Horas operadas (Hr)	Velocidad de penetración (m/Hr)
PROYECTO 1	285.15	7.21	39.55
PROYECTO 2	301.10	7.86	38.31
PROYECTO 3	285.00	7.00	40.71
PROYECTO 4	714.00	15.86	45.02
PROYECTO 5	347.40	8.00	43.43
PROYECTO 6	351.00	8.15	43.07
PROYECTO 7	295.15	7.19	41.05
PROYECTO 8	408.81	8.95	45.68
PROYECTO 9	136.20	4.86	28.02
PROYECTO 10	298.00	7.79	38.25
PROYECTO 11	280.00	7.12	39.33
<b>TOTAL</b>	<b>3701.81</b>	<b>89.99</b>	<b>41.14</b>

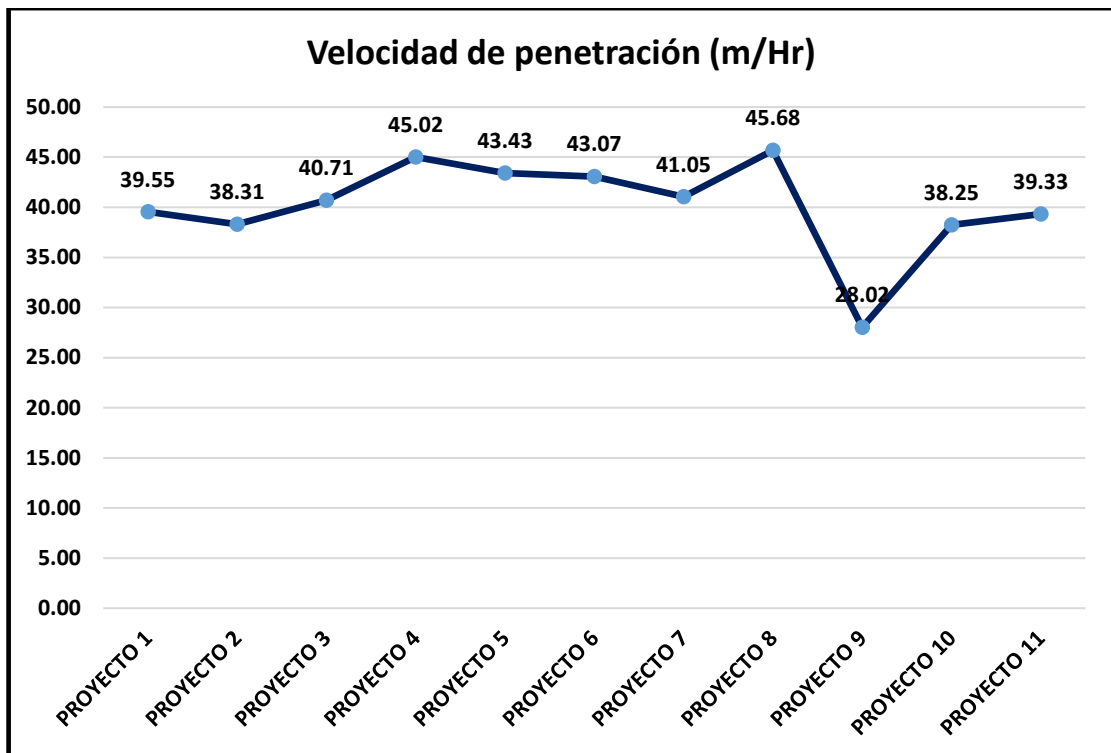


**Figura 10.** *Indicador metros perforados en el sistema mejorado turno día*



**Figura 11.** Indicador horas operadas en el sistema mejorado turno día



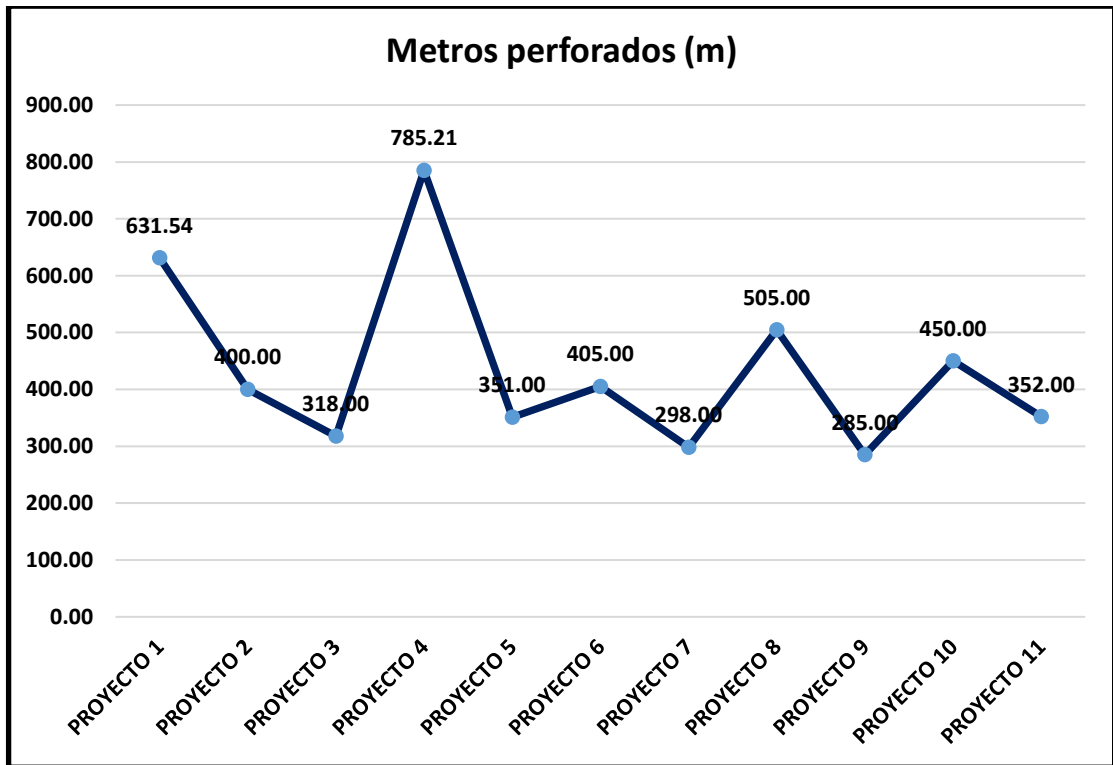


**Figura 12.** Indicador velocidad de penetración en el sistema mejorado turno día

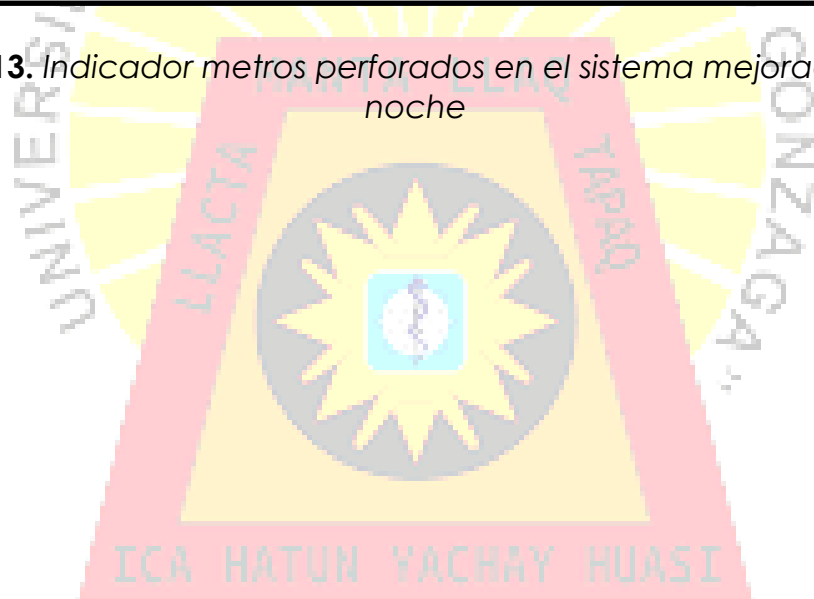
**Tabla 5.**

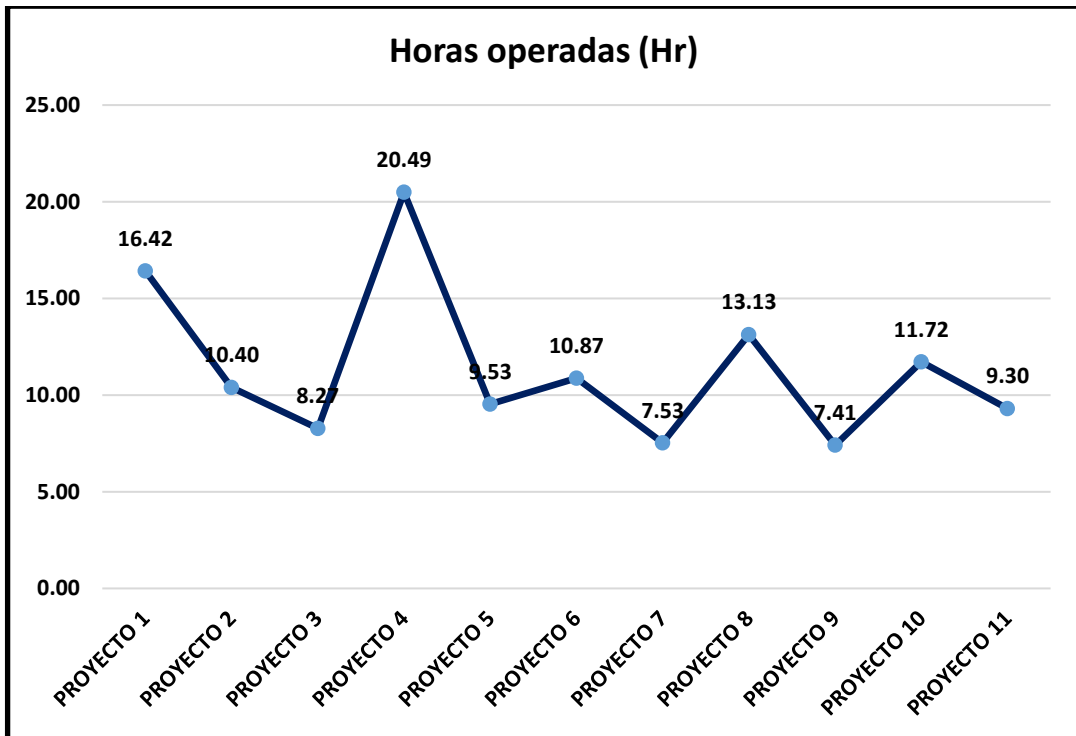
Indicadores de perforación con sistema mejorado turno noche

PERFORACION CON SISTEMA MEJORADO TURNO NOCHE			
Nº	Metros perforados (m)	Horas operadas (Hr)	Velocidad de penetración (m/Hr)
PROYECTO 1	631.54	16.42	38.46
PROYECTO 2	400.00	10.40	38.46
PROYECTO 3	318.00	8.27	38.45
PROYECTO 4	785.21	20.49	38.32
PROYECTO 5	351.00	9.53	36.83
PROYECTO 6	405.00	10.87	37.26
PROYECTO 7	298.00	7.53	39.58
PROYECTO 8	505.00	13.13	38.46
PROYECTO 9	285.00	7.41	38.46
PROYECTO 10	450.00	11.72	38.40
PROYECTO 11	352.00	9.30	37.85
<b>TOTAL</b>	<b>4780.75</b>	<b>125.07</b>	<b>38.22</b>

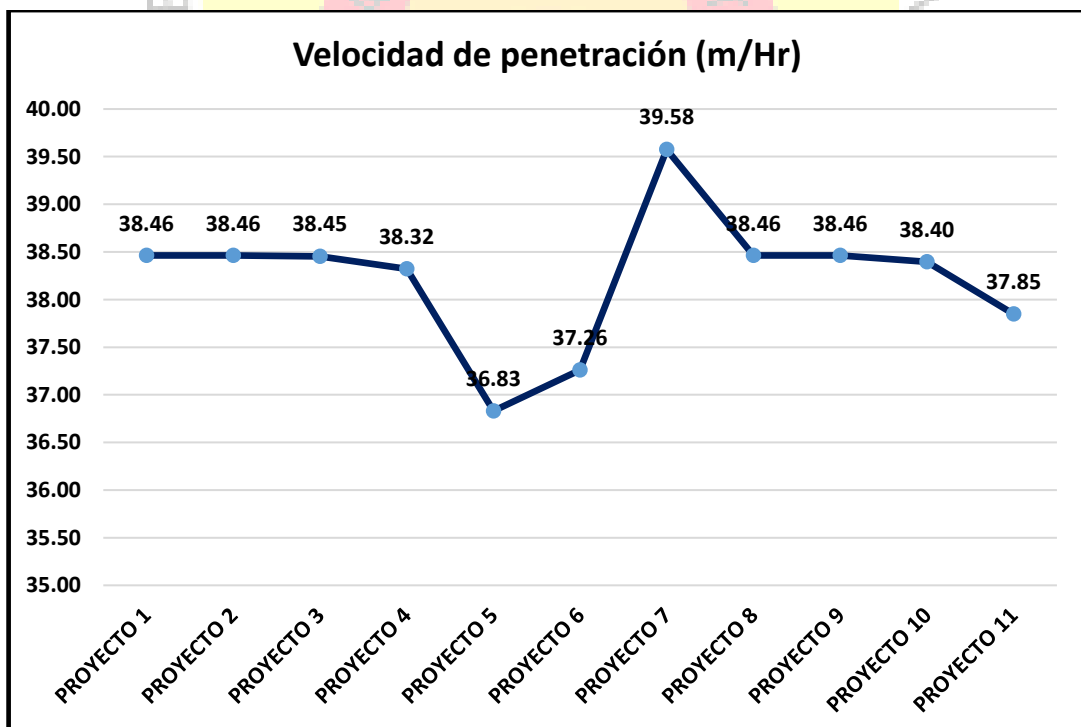


**Figura 13.** Indicador metros perforados en el sistema mejorado turno noche





**Figura 14.** Indicador horas operadas en el sistema mejorado turno noche

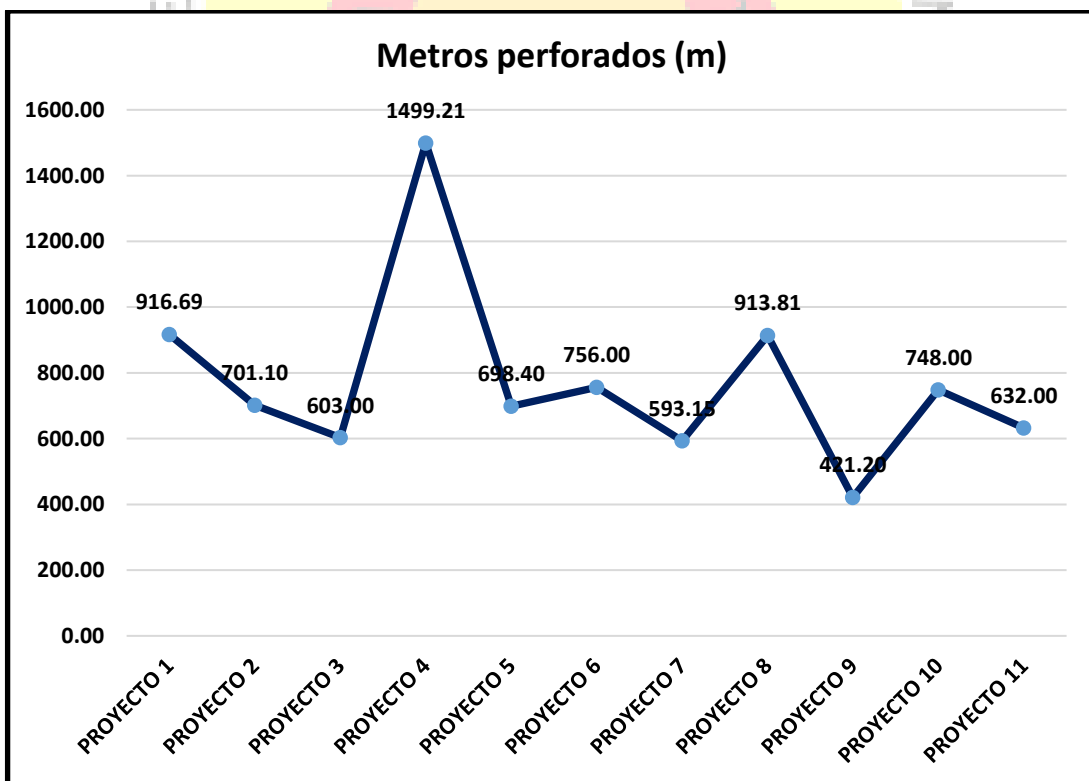


**Figura 15.** Indicador velocidad de penetración en el sistema mejorado turno noche

**Tabla 6.**

*Indicadores de perforación con sistema mejorado total*

<b>PERFORACION CON SISTEMA MEJORADO TOTAL</b>			
<b>Nº</b>	<b>Metros perforados (m)</b>	<b>Horas operadas (Hr)</b>	<b>Velocidad de penetración (m/Hr)</b>
PROYECTO 1	916.69	23.63	38.79
PROYECTO 2	701.10	18.26	38.40
PROYECTO 3	603.00	15.27	39.49
PROYECTO 4	1499.21	36.35	41.24
PROYECTO 5	698.40	17.53	39.84
PROYECTO 6	756.00	19.02	39.75
PROYECTO 7	593.15	14.72	40.30
PROYECTO 8	913.81	22.08	41.39
PROYECTO 9	421.20	12.27	34.33
PROYECTO 10	748.00	19.51	38.34
PROYECTO 11	632.00	16.42	38.49
<b>TOTAL</b>	<b>8482.56</b>	<b>215.06</b>	<b>39.44</b>



**Figura 16.** *Indicador metros perforados en el sistema mejorado total*

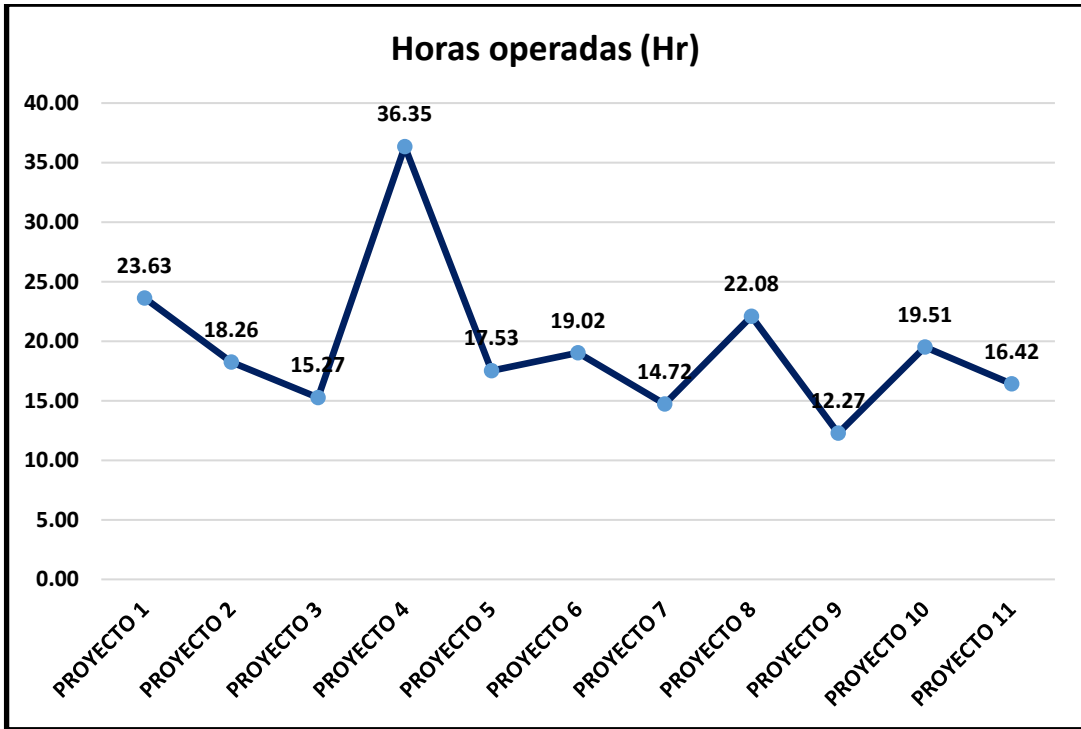


Figura 17. Indicador horas operadas en el sistema mejorado total

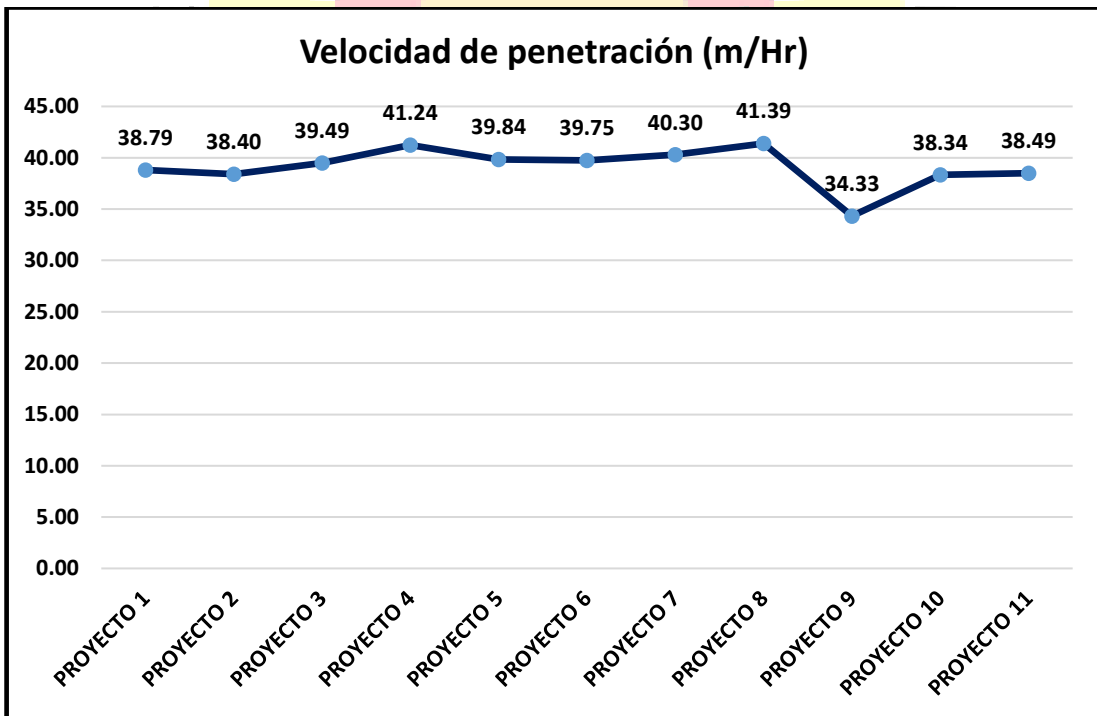


Figura 18. Indicador velocidad de penetración en el sistema mejorado total

### 3.4. Análisis de costos operativos

Para llevar a cabo el análisis de costos operativos, se usará datos claves dados por la misma área de productividad y producción, ya que son materia individual de la empresa y sus cálculos se basan en indicadores no estudiados en la presente investigación, es decir, se usará datos ya confirmados por la misma empresa minera y contrata para prueba con la tecnología y broca mejorada.

A) Ganancias brutas generados por pruebas realizadas sistema convencional y mejorado

Sistema mejorado = costo fijo por operación \* metros perf totales

Sistema mejorado = 10.73 \$/m \* 8482.56 m

Sistema mejorado = 91 017.87 \$

Sistema convencional = costo fijo por operación \* metros perf tot

Sistema convencional = 17.50 \$/m \* 8499.60 m

Sistema convencional = 148 743 \$

B) Ganancia neta por pruebas realizadas sistema convencional y mejorado

Para este indicador, se tomará el dato otorgado del gasto acumulado para la prueba con el sistema mejorado que es un total de \$65 210.00, entonces se tiene una ganancia de:

Sistema mejorado = ganancia bruta – gasto acumul de prueba

Sistema mejorado = 91 017.87 \$ - 65 210.00 \$ = 25 807.87 \$

Ahora bien, por el sistema convencional, se tiene una ganancia neta de 148 743 \$, pero como no se paga por ninguna prueba, entonces solo se le resta el pago que se hará por la prueba, que es 91 017.87 \$, por lo tanto, se tendrá un ahorro y ganancia de:

$$\text{Sistema convencional} = 148\,743 \$ - 91\,017.87 \$ = 57\,725.13 \$$$

### 3.5. Productividad de operación

El cálculo y análisis de la productividad operativa se basa en la ganancia que dejará cada operación por metro perforado en ambos sistemas de perforación.

Para este punto, se tomará también en cuenta algunos datos ya establecidos por la misma empresa minera, como el costo horario equivalente a 276\$/m y el TDC o costo total de perforación que según Cerro Verde es de 17.5 \$/m. Por otro lado, se usarán los datos hallados en campo respecto a la velocidad de penetración en m/Hr en el sistema convencional y mejorado.

$$\text{Sistema convencional} = 17.5 \$/m - \frac{276 \$/m}{28.16 \text{ m/Hr}}$$

$$\text{Sistema convencional} = 7.70 \$/m$$

$$\text{Sistema mejorado} = 17.5 \$/m - \frac{276 \$/m}{39.44 \text{ m/Hr}}$$

$$\text{Sistema mejorado} = 10.51 \$/m$$

## IV. DISCUSION

### 4.1. Hipótesis general

La optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

### Hipótesis nula

No existe influencia en la productividad operativa a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

### Hipótesis alternativa

Existe influencia en la productividad operativa a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

**Tabla 7.**

*Procesamiento de datos de la variable productividad operativa*

<b>VARIABLE</b>	<b>CONVENCIONAL</b>	<b>MEJORADO</b>	<b>VARIACIÓN</b>
Productividad operativa	7.70 \$/m	10.51 \$/m	36.50%

Concordante a la tabla 7, se observa que, en el procesamiento de datos, se obtuvo una variación positiva al usar un sistema mejorado de perforación de rocas respecto al sistema convencional, en ese sentido, a un 95% de confianza se afirma que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

## 4.2. Hipótesis específica 1

La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

### Hipótesis nula

No existe influencia en los metros perforados a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

### Hipótesis alternativa

Existe influencia en los metros perforados a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

**Tabla 8.**

*Procesamiento de datos del indicador metros perforados*

<b>INDICADOR</b>	<b>CONVENCIONAL</b>	<b>MEJORADO</b>
Metros perforados	8499.60 m	8482.56 m

Concordante a la tabla 8, se observa que, en el procesamiento de datos, se considera que, si bien es cierto no se logra sobrepasar los niveles de metros perforados en la perforación convencional, es importante tomar en cuenta que, los metros perforados logrado en la perforación convencional se realizaron con mayor cantidad de perforados, a diferencia de la prueba con la perforadora mejorada del proveedor, en ese sentido, el procesamiento de datos, la diferencia es mínima de 17

metros, por lo tanto, se concluye que si trabajarían en igualdad de condiciones de maquinaria en cantidad, se alcanzaría mayor cantidad de metros perforados, por ello, se considera positiva la variación y favorable a los fines.

Siendo así, a un 95% de confianza se afirma que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

#### **4.3. Hipótesis específica 2**

La optimización de la operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

##### **Hipótesis nula**

No existe influencia en el tiempo de trabajo a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

##### **Hipótesis alternativa**

Existe influencia en el tiempo de trabajo a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

**Tabla 9.**  
*Procesamiento de datos del indicador tiempo de trabajo*

<b>INDICADOR</b>	<b>CONVENCIONAL</b>	<b>MEJORADO</b>	<b>VARIACIÓN</b>
Tiempo de trabajo	301.88 Hr	215.06	- 28.76%

Concordante a la tabla 9, se observa que, en el procesamiento de datos, se obtuvo una variación negativa, es decir, reducción, al usar un sistema mejorado de perforación de rocas respecto al sistema convencional enfocado en las horas de trabajo o tiempo de trabajo de operación y tomando en cuenta la tabla 8 de la hipótesis 1, en el cual se aclara que se alcanza los metros perforados casi equivalente al convencional. A un 95% de confianza se afirma que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

#### **4.4. Hipótesis específica 3**

La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

##### **Hipótesis nula**

No existe influencia en los costos operativos a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

##### **Hipótesis alternativa**

Existe influencia en los costos operativos a partir de la optimización de la operación de perforación de rocas en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022

**Tabla 10.**

*Procesamiento de datos del indicador costos operativos*

<b>INDICADOR</b>	<b>GANANCIA CONVENCIONAL</b>	<b>GANANCIA MEJORADO</b>
Costos operativos	57 725.13 \$	25 807.87 \$

Concordante a la tabla 10, se observa que, en el procesamiento de datos, se obtuvo ganancias para ambos casos; es decir, una ganancia de 25 807.87 \$, cuando se resta la ganancia bruta menos los costos por tal operación con sistema mejorado. Por otro lado, aún cuando a la ganancia por sistema convencional se le resta el pago al proveedor por lo conseguido, sigue existiendo un ahorro o ganancia de 57 725.13 \$; en ese sentido, a un 95% de confianza se afirma que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde – Arequipa 2022.

## V. CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se determinó que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa, puesto que, se obtuvo un incremento positivo de 36.50% respecto a la ganancia por metro perforado con el sistema mejorado probado, en las actividades del Tajo Cerro Verde, Arequipa 2022.

**SEGUNDO:** Se determinó que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados, puesto que, a pesar de estar algunos metros por debajo de lo conseguido con el sistema convencional, se toma favorablemente al considerar que se alcanzó con menos perforadoras, en las actividades del Tajo Cerro Verde, Arequipa 2022.

**TERCERO:** Se determinó que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo, puesto que, se obtuvo una reducción de 28.76% respecto al tiempo de trabajo con el sistema convencional, en las actividades del Tajo Cerro Verde, Arequipa 2022.

**CUARTO:** Se determinó que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos, puesto que, se obtuvo una ganancia de 25 807.87 \$ con el uso del sistema mejorado y de forma general de ahorro o gana 57 725.13 \$ respecto al sistema convencional, en las actividades del Tajo Cerro Verde, Arequipa 2022.

## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Se recomienda a la empresa, implementar con total seguridad el equipo con la tecnología y broca evaluada, ya que sus números conseguidos los avalan y se disponen como una alta oportunidad para mejorar los procesos y elevar las utilidades netas.

**SEGUNDO:** Se recomienda analizar y evaluar otros indicadores que se consideren como factores que puedan afectar la operación, es decir, variables como los psicosociales, mantenimiento, procesos, plan de minado, entre otros, para tomar en cuenta e iniciar metodologías de afrontamiento de ser el caso.

**TERCERO:** Se recomienda realizar una unción de operaciones unitarias primeras, tales como la perforación y voladura, y analizar sus resultantes bajo estas condiciones, ya que es claro que afecta en gran sentido a la voladura de rocas, pero es necesario esclarecer sus necesidades para seguir implementando medidas en conjunto.

**CUARTO:** Se recomienda a la empresa fortalecer las situaciones de motivación en el personal minero mediante acciones económicas y no económicas, ya que, es sabido que puede incrementar la productividad mano de obra, el rendimiento por hombre trabajado, pero sobre todo permite la seguridad en todo el entorno laboral de la operación de perforación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anglo American, “Minería, una actividad que aporta significativamente a la economía peruana”, Anglo American Perú. Consultado: el 25 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://peru.angloamerican.com/moquegua/impulso-minero/mineria-una-actividad-que-aporta-significativamente-a-la-ec>
- [2] U. Solís, “2019: Perspectivas positivas para la minería”, *Revista Rumbo Minero Minería & Energía*, vol. 118, pp. 17–20, 2018, Consultado: el 12 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.rumbominero.com/ED115/Rumbo\\_Minero](https://www.rumbominero.com/ED115/Rumbo_Minero)
- [3] J. Otto, “Perspectivas de la minería y la economía mundial 2014: efectos en el Perú”, *Economía y Sociedad CIES*, vol. 83, pp. 9–16, 2014, Consultado: el 12 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cies.org.pe/wp-content/uploads/2016/07/01-mineria>
- [4] Ministerio de Energía y Minas, “Anuario Minero 2021”, Minem. Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/3145151-anuario-minero-2021>
- [5] SONAMI, “Perforación y tronadura”. [En línea]. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>
- [6] K. Mejía, “Optimización del proceso de perforación y voladura para la Sociedad Minera Oro Sol Uno (Tesis de Titulación en Ingeniería)”,

Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador, 2019. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8932>

- [7] H. Abbaspour, C. Drebenstedt, M. Badrodin, y A. Maghaminik, "Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling", *Int J Min Sci Technol*, vol. 28, núm. 6, pp. 839–848, 2018, Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209526861>
- [8] S. Valdés, "Metodología de cálculo de productividad de perforación y mejoras de gestión en minas a cielo abierto, aplicado a DRT (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2016. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140602>
- [9] C. Ávila y R. Tobo, "Explotación a cielo abierto y productividad para la mina El Diamante, dentro del contrato en virtud del aporte No. 00904-15 en el municipio de Tibasosa, vereda La Carrera departamento de Boyacá (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia, 2014. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1515>
- [10] Á. Casafranca, "Aplicación de un nuevo diseño de brocas para optimizar los parámetros de perforación del Tajo Toromocho - Minera Chinalco S.A. (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad

Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2022. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://45.177.23.200/handle/undac/3057>

- [11] H. Altamirano y O. Santamaria, "Optimización del costo de perforación para aceros DTH en la mina modelo a tajo abierto, Huamachuco, 2018 (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2019. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21220>
- [12] K. Salas, "Optimización en el proceso de perforación aplicando la percusión asistida en el Sistema Rotativo (PARD) para aumentar la productividad en operaciones a tajo abierto (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad Católica de Santa María, Arequipa, 2019. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/623bd0f7-f3cd-44d7-af9d->
- [13] Á. Llaique y W. Sánchez, "Determinación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca - Perú, 2015 (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2015. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/5284>
- [14] L. Rojas, "Perforación", Energía en Minería Colombia. Consultado: el 12 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.energiaenmineria.cl/procesos/perforacion/>

- [15] East Texas, "Perforación rotativa", Energy Glossary. Consultado: el 12 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://glossary.slb.com/es/terms/r/rotary\\_drilling](https://glossary.slb.com/es/terms/r/rotary_drilling)
- [16] V. Yepes, "Principios de las perforaciones a rotación", Universidad Politécnica de Valencia. Consultado: el 12 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/29/principios-de-las-perforaciones-a>
- [17] M. González, *Gestión de la producción: Cómo planificar y controlar la producción industrial*. España: Ideaspropias Editorial S.L., 2015. Consultado: el 16 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: 978-84-98-39-014-8
- [18] D. Sumanth, *Administración para la productividad total*. México D.F, 1999.
- [19] M. Schwarz, "Gestión de operaciones y proyectos mineros". Consultado: el 25 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://max-schwarz.blogspot.com/2012/09/mineria-control-de-operaciones-de-mina.html>
- [20] D. Sumanth, *Administración para la productividad total*. Compañía Editorial Continental, 1999.
- [21] E. Guerra López y A. Montas de Oca Risco, "Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería", *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 45, pp. 14–21, 2018, doi: <https://doi.org/10.15446/rbct.n45.68711>.

- [22] C. Cruz, S. Olivares, y M. Gonzáles, *Metodología de la investigación*. México D.F: Patria, 2014.
- [23] G. Baena, *Metodología de la Investigación*, 3era ed. México D.F: Grupo Editorial Patria, 2017.
- [24] R. Hernández, C. Fernández, y M. del P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2014. Consultado: el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)
- [25] M. Cortés Cortés y M. Iglesias León, *Generalidades sobre metodología de la investigación*. Campeche, México: Universidad Autónoma del Carmen, 2004. Consultado: el 16 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia\\_investigacion.pdf](https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf)
- [26] J. Hurtado, *Metodología de la Investigación Holística*, 3era ed. Caracas: Fundación Sypal, 2000.
- [27] C. Ocegueda, *Metodología de la Investigación: Métodos, técnicas y estructuración de trabajos académicos*, 2da ed. México D.F: Opsi, 2004.
- [28] S. Carrasco, *Metodología de la Investigación*, 2da Edición. Lima: Editorial San Marcos, 2008.

- [29] E. Huarache, "Monitoreo de taludes con radares para el control de riesgos geotécnicos en la Mina a Tajo Abierto, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. departamento de Arequipa, provincia de Arequipa, distrito de Uchumayo (Tesis de Titulación en Ingeniería)", Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2020. Consultado: el 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/200946b4-56ca-4fc47bc12b36a/download>
- [30] Cámara Minera del Perú, "Voladura y perforación", 31/10/2019. [En línea]. Disponible en: <https://camiper.com/tiempominero/tipos-voladura-y-perforacion-minera-especializacion/>
- [31] O. Faruk y M. Kumral, "Cost optimization of drilling operations in open-pit mines through parameter tuning", *Qual Technol Quant Manag*, vol. 17, núm. 2, pp. 173–185, 2019, Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/16843703.2018.1564485>



### Anexo N°1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	TÉCNICA/INSTRUMENTO
<p><b>VARIABLE X:</b></p> <p><b>OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN DE ROCAS</b></p>	<p>Hace referencia a la etapa inicial del ciclo de minería, que implica la perforación de agujeros en una superficie de roca, los cuales se utilizarán para alojar explosivos con el fin de fragmentar las formaciones rocosas [30].</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis geológico del macizo rocoso</li> <li>• Parámetros de perforación</li> <li>• Sistema de brocas tricónicas</li> </ul>	<p>Técnica de la observación directa</p>
<p><b>VARIABLE Y:</b></p> <p><b>PRODUCTIVIDAD OPERATIVA</b></p>	<p>Esto incluye la optimización de la producción o los servicios brindados minimizando el uso de recursos. Se enfoca en la eliminación de cualquier forma de desperdicio o deficiencia en los procesos empresariales, y en la mejora del aprovechamiento de los activos humanos, económicos y tecnológicos que la empresa posee [31].</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros perforados</li> <li>• Tiempo de trabajo</li> <li>• Costos operativos</li> </ul>	<p>Técnica del fichaje</p>

## Anexo N° 2: Matriz de consistencia

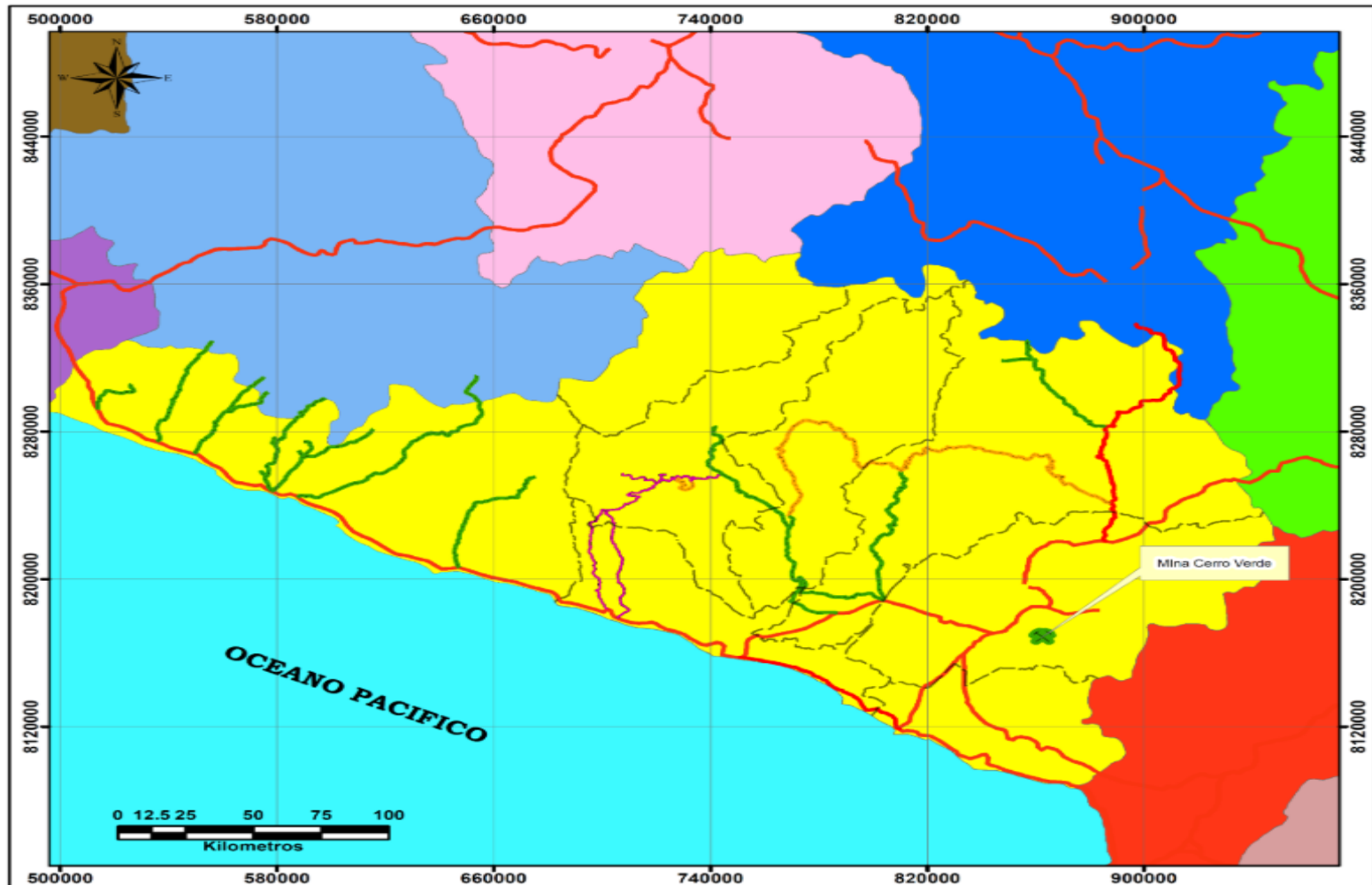
**TITULO:** OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN DE ROCAS Y PRODUCTIVIDAD OPERATIVA EN EL TAJO

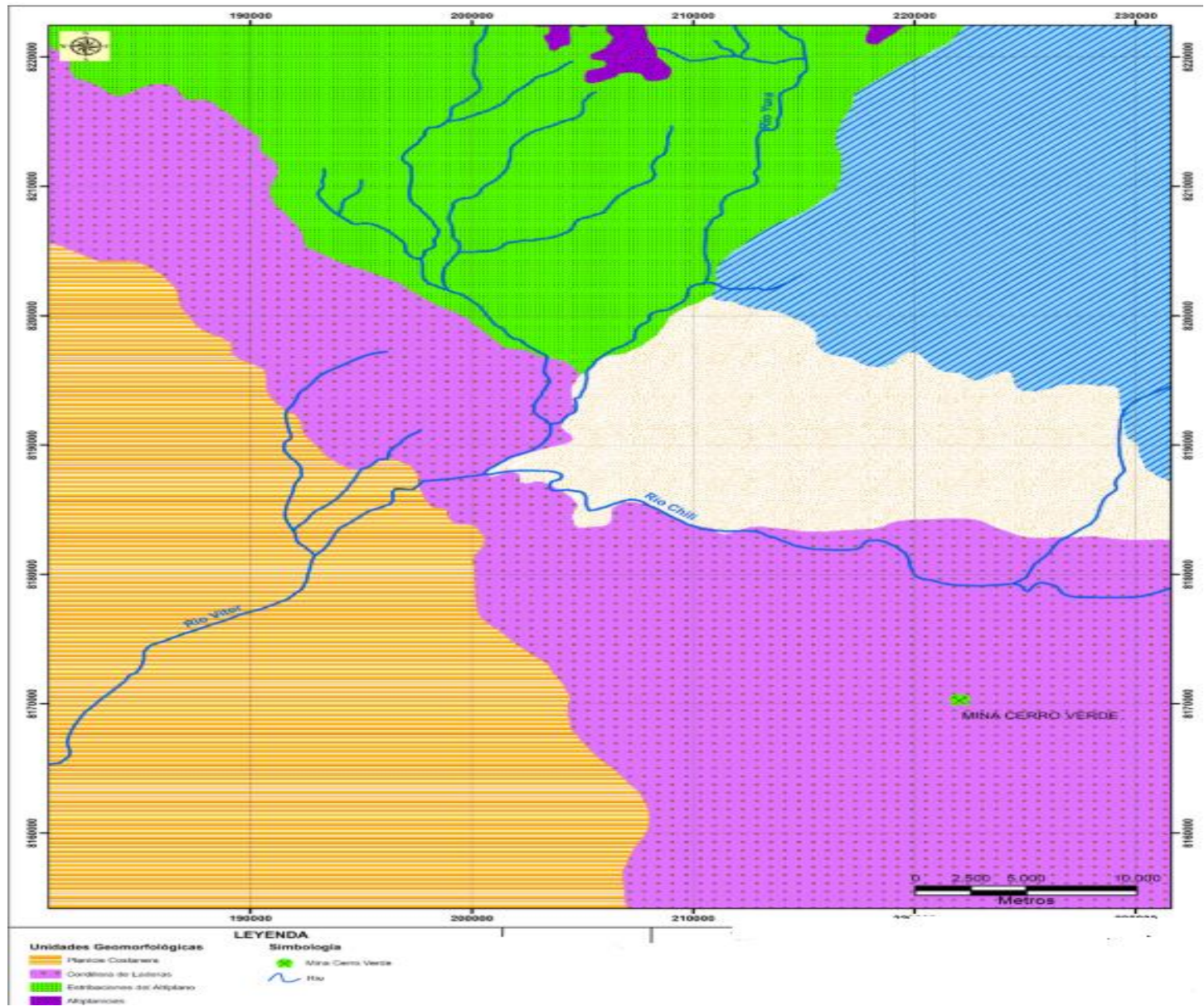
CERRO VERDE – AREQUIPA 2022

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variable X:</b> Optimización de la operación de perforación de rocas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis geológico del macizo rocoso</li> <li>Parámetros de perforación</li> <li>Sistema de brocas tricónicas</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Aplicativa <b>Nivel:</b> Descriptiva - explicativa <b>Diseño:</b> Pre experimental - transversal <b>Población:</b> La población
¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022?	Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022.	La optimización de la operación de perforación de rocas influye en la productividad operativa en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022			
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable Y:</b> Productividad operativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metros perforados</li> <li>Tiempo de trabajo</li> <li>Costos operativos</li> </ul>	estará conformada por todas las actividades de perforación de rocas ejecutadas en el Tajo Cerro Verde de la Sociedad Minera Cerro
¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022?	Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022	La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022			
¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022?	Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022	La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los metros perforados en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022			

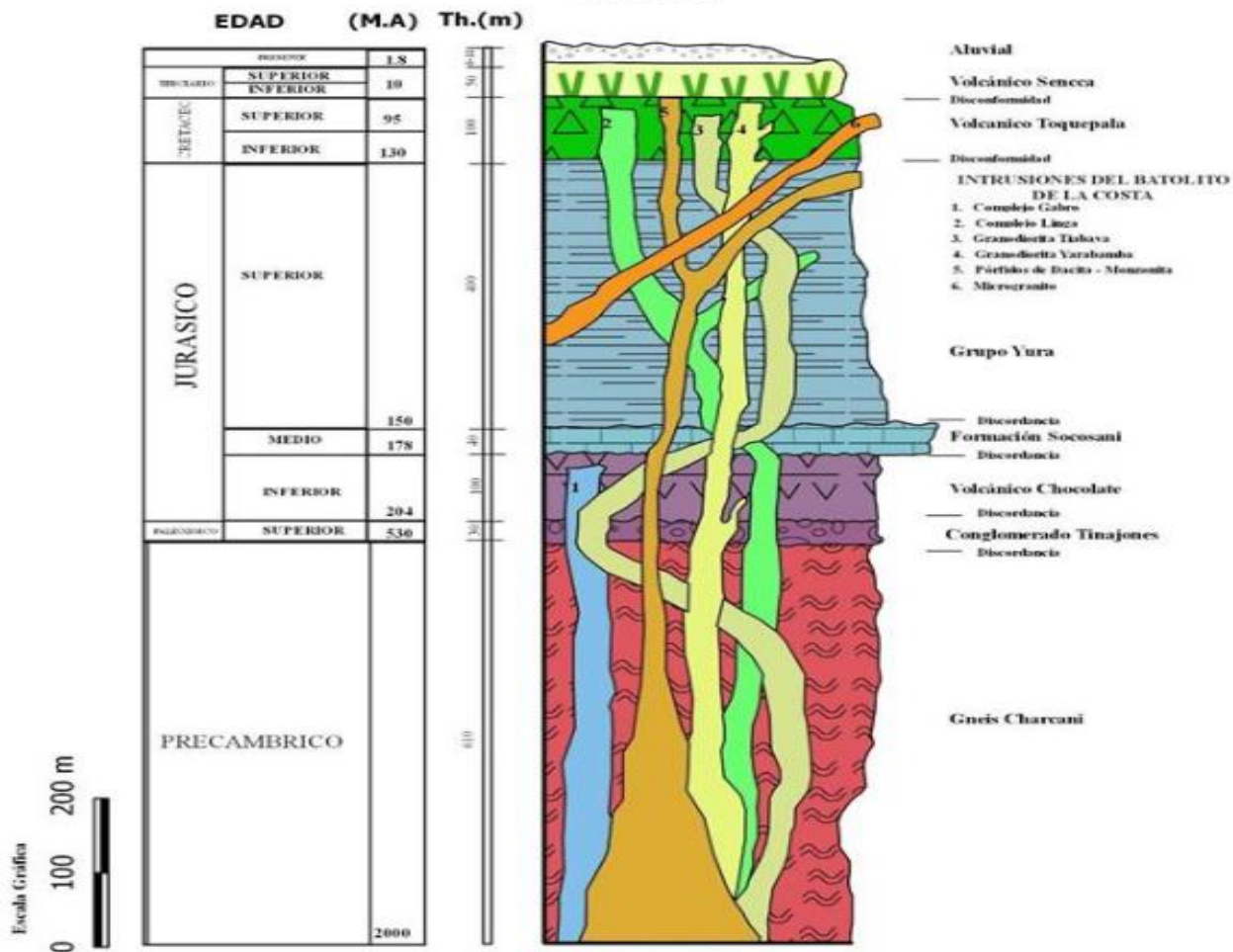
<p>operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022?</p> <p>¿De qué manera la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022?</p>	<p>operación de perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022.</p> <p>Determinar que la optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022.</p>	<p>perforación de rocas influye en el tiempo de trabajo en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022</p> <p>La optimización de la operación de perforación de rocas influye en los costos operativos en el Tajo Cerro Verde - Arequipa 2022</p>			<p>Verde S.A.A., en el año 2022.</p> <p><b>Muestra:</b> La investigación tendrá como muestra de estudio a 11 proyectos de perforación en el Tajo Cerro Verde, en el año 2022.</p> <p><b>Técnicas:</b> La observación directa y el fichaje</p>
---	---	---	--	--	---

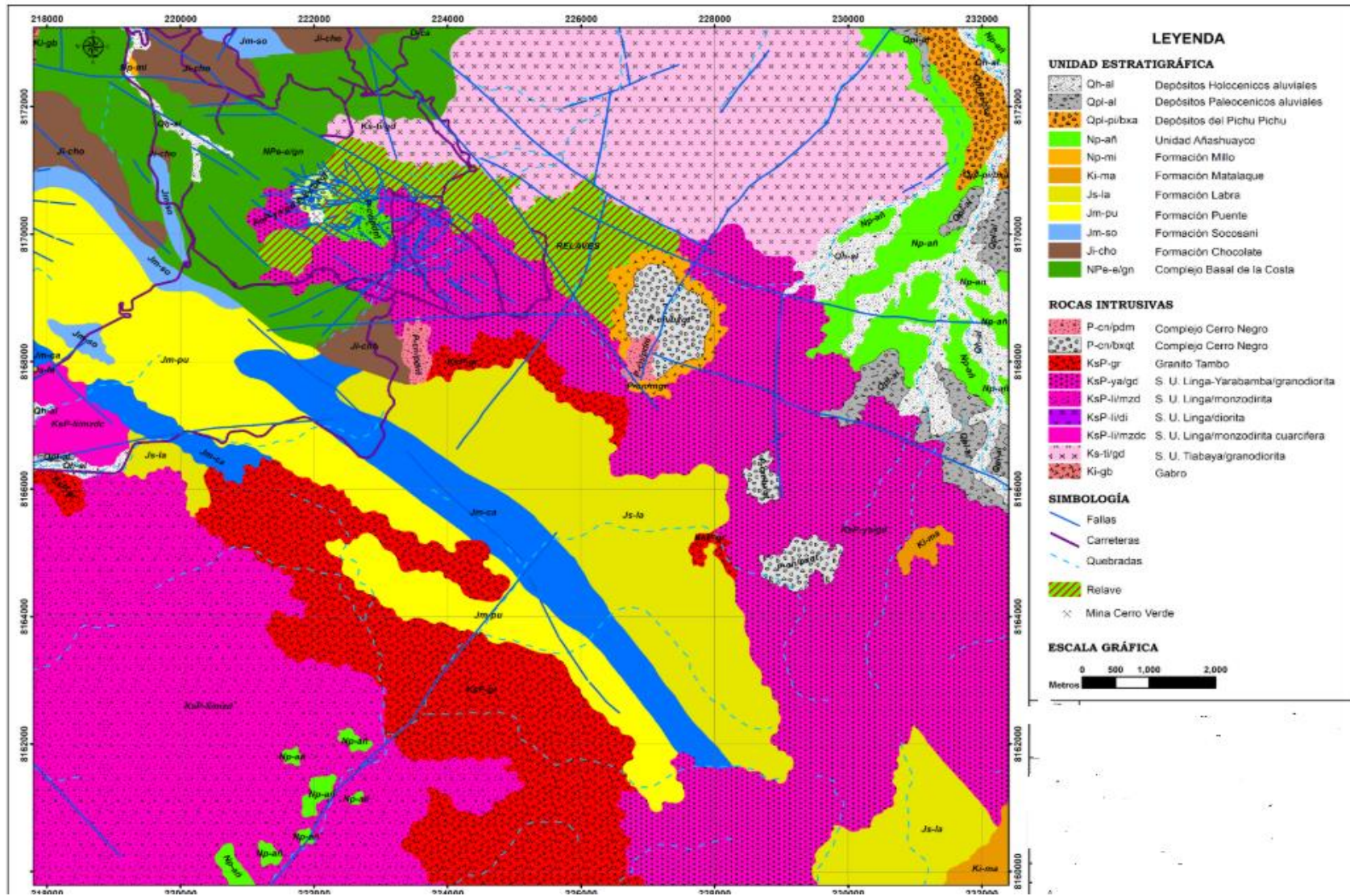
### Anexo N° 3: Planos

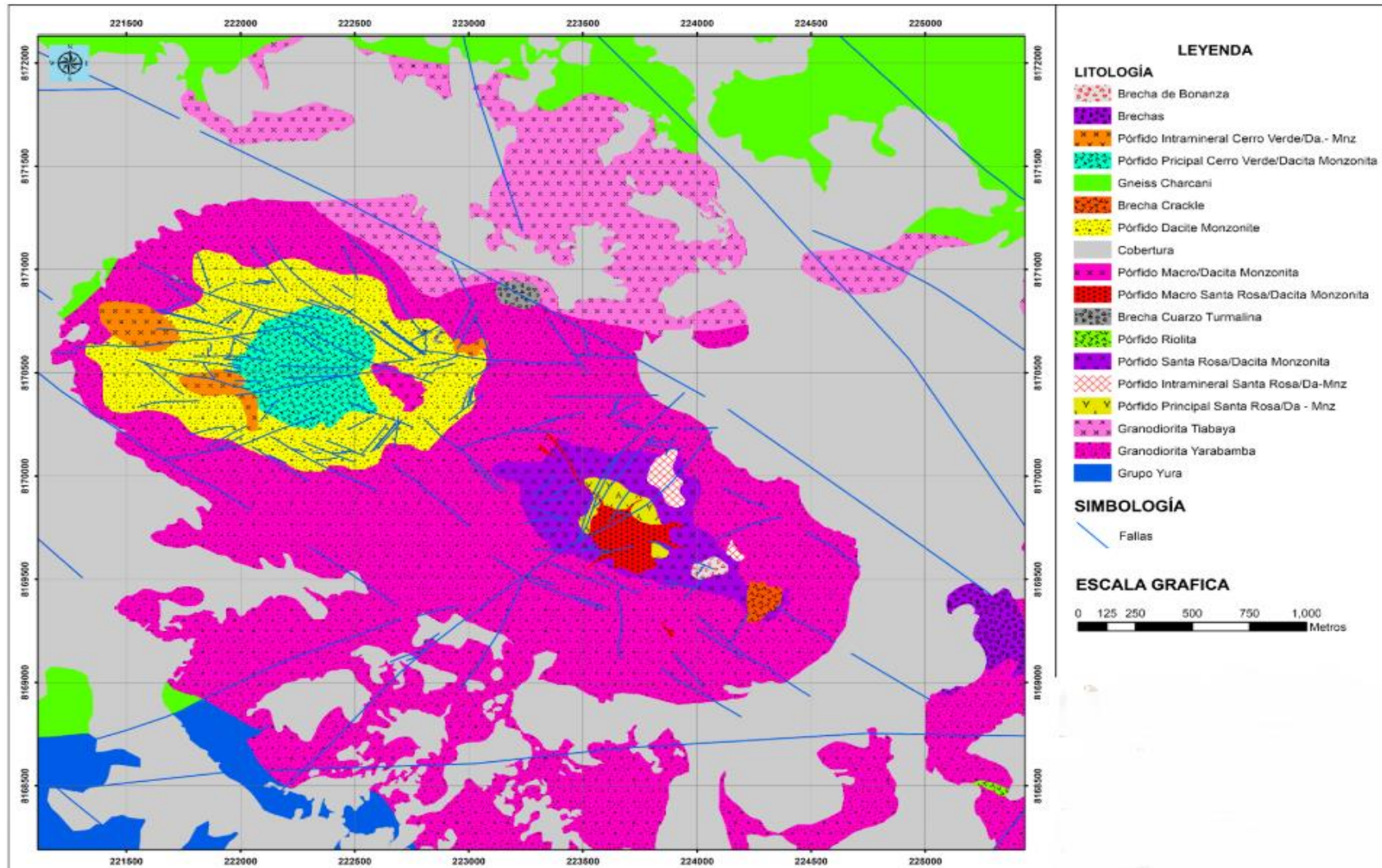




**Columna Estratigráfica Regional del distrito minero de Cerro verde – Santa Rosa**

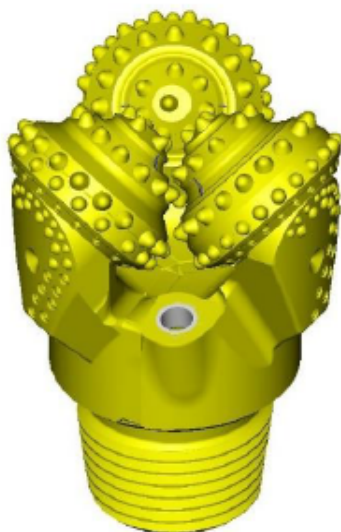






## Anexo N° 4: Características de brocas tricónica

### BROCA MODELO 10 5/8" PA64CAHW



- **ESTRUCTURA DE CORTE EPSILON.**  
El producto presenta la última tecnología en brocas tricónicas para producción. La estructura de corte generada por computadora y equilibrada para lograr mayor vida útil mientras se mantiene una alta penetración al momento de la perforación. Los faldones aerodinámicos proporcionan una evacuación rápida de los detritus lejos de la broca, reduciendo la erosión en el cono, desgaste de la camisa y cuerpo de la broca, así como mejoras ROP haciendo de esta una perforación eficaz. Diseñado exclusivamente para pruebas de perforación con sistema PARD.
- **ARMADURA DE CUERPO COMPLETO.**  
Proporciona un desgaste mínimo del cuerpo y los faldones frente a la abrasividad presente en los terrenos.
- **MATERIAL RESISTENTE EN LA NARIZ DEL CONO**  
Reduce la erosión y la rotura de insertos de la nariz
- **CARBURO RESISTENTE AL DESGASTE**  
Reduce el desgaste de los insertos externos o calibre.
- **APLICACIÓN**  
24,000 - 42,000 PSI / 166 - 290 MPa

#### ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO:

- Código IADC 6 - 4 - 2.
- Tipo de rodamiento rodillo - bola - rodillo o refrigerados por aire.
- Tipo de circulación Jet air.
- Estructura de corte insertos de carburo de tungsteno
- Protección de faldón armadura de cuerpo completo
- Conexión de PIN Beco 6.
- Diámetro broca mm 270 mm
- Peso de la broca 148 libras / 68 kg
- Numero de parte 91002573 / 1B6-3270-64-CAHW-02

#### SUGERENCIAS DE FUNCIONAMIENTO:

- Peso en la broca 42,500 - 74,375 libras
- Velocidad de rotación 50 a 120 RPM

## Anexo N° 5: Características de la perforadora

Equipos Atlas Copco para barrenos de voladura

### Pit Viper 271



#### Perforación rotativa y DTH

Diámetro del barreno 6 ¾" – 10 ½" (171 – 270 mm)  
Profundidad single pass 55 pies (16.8 m)

# Construido para un alto rendimiento

## Diseñado para el confort

**La Pit Viper 271 esta diseñada para perforación singlepass con un Pulldown sobre la broca de 75.000 lb (34 toneladas), La Pit Viper 271 puede aumentar de forma insuperable la productividad de sus operaciones mineras. El robusto y durable diseño de la Pit Viper 271 puede perforar un barreno limpio de 55 pies (16,8 m) en un single pass. La perforación Single Pass aumenta la eficiencia de la perforación (hasta 25% cuando se perfora en material blando) reduciendo el tiempo de cambio de barras y dando más tiempo para la perforación. Además de aumentar la eficiencia, eliminar los cambios de barra también reduce el riesgo de errores operacionales.**

Los costos de mantenimiento en los equipos de perforación single pass son más bajos porque el carrusele y sistemas de enrosque (elementos de alto desgaste) se utilizan con menor frecuencia. La PV-271, utiliza probados sistemas y tecnología de Atlas Copco, no sólo es confiable, también fue diseñado para ser flexible y se adapta fácilmente a cualquier operación de perforación. Hay una opción disponible con RCS (sistema de control de equipo computarizado), que permite incorporar funciones opcionales tales como: desplazamiento remoto inalámbrico, auto nivelado, auto perforación, funciones de información y navegación GPS.

#### Sistema de avance patentado de Atlas Copco

La Pit Viper 271 utiliza el sistema de avance patentado de Atlas Copco que consiste en un sistema de avance con cable de alta resistencia y tensionado automático del cable, y cilindros de avance de doble acción. El sistema de avance con cable ofrece dos ventajas sobre los sistemas de avance mecánicos (de cadena o de cremallera y piñón). Permite una reducción general del peso en la torre y del sistema de avance, además de una detección más fácil del desgaste. Derivado de la Pit Viper 351, el sistema de tensionado automático de cable en el PV-271 asegura una alineación precisa de la cabeza, una mejor vida del cable, y menor tiempo de inactividad para tensionar el cable. Los cilindros de avance de Atlas Copco fueron diseñados para optimizar el avance y el retroceso de alta velocidad para las tasas de descenso y ascenso definidas, lo que reduce el tiempo sin perforar y aumenta la eficiencia de la perforación. Esta combinación de cables y cilindros hidráulicos provee una fuerza de avance más pareja lo que produce una perforación más suave, y ayuda a prolongar la vida de la broca, de los aceros de perforación y del sistema de avance.

#### Perforación rotativa o DTH

La Pit Viper 271 está diseñado para operar con tubos de perforación de 6 1/4" (159 mm) a 8 1/4" (219 mm). La torre single pass de 55 pies (16,8 m) tiene una capacidad de profundidad total de 105 pies (32 m) utilizando un carrusel de 2 barras con cuatro barras de 25 pies (7,62 m) conectadas para formar dos barras de 50 pies (15,2 m). En la versión de baja presión, se puede usar 110 psi (7,6 bar) para perforación rotativa de barrenos de hasta 10 1/4" (270 mm) de diámetro. En la versión de alta presión de la PV-275, se puede usar 350 psi (24 bar) para martillos DTH de hasta 8" y brocas de un máximo de 9" de diámetro.

#### Gama de compresores

Rotativa baja presión	1,900 cfm@110 psi / 53,8 m <sup>3</sup> /min@7,6 bar
Rotativa baja presión	2,600 cfm@110 psi / 73,6 m <sup>3</sup> /min@7,6 bar
DTH alta presión	1,450 cfm@350 psi / 41,1 m <sup>3</sup> /min@24 bar



### Confort del perforista

La cabina de la serie PV-271 ha sido construida para dar seguridad y confort al perforista. Diseñada y probada con el mismo estándar FOPS (Falling Object Protective Structure) que las topadoras, la cabina protege a los perforistas de objetos que caen. Grandes ventanas aseguran una visibilidad clara durante la perforación y el desplazamiento de barreno a barreno. La consola ergonómica de la serie PV-271 está diseñada para asegurar el confort del perforista. Los controles están lógicamente separados en funciones de perforación y no-perforación, lo que facilita la operación del PV-271. Las funciones de perforación están inclinadas para facilitar la visibilidad de la mesa de perforación, mientras que las grandes ventanas de la cabina garantizan al perforista una clara visibilidad, aumentando más aún la seguridad del equipo.



### Gran facilidad de servicio

El Pit Viper 271 está diseñado para ser una máquina de fácil mantenimiento. El diseño de la estructura permite un movimiento seguro, fácil, y un buen acceso a los puntos de servicio. El equipo cuenta con un punto de carga de fluidos de servicio que ofrece una ubicación central y de fácil acceso para cargar y evacuar fluidos. El sistema hidráulico utiliza una especificación limpia, libre de pérdidas, con una sola caja de cambios y una configuración de bomba triple. El compartimiento de válvulas está localizado encima de la plataforma y todos los elementos de filtro son de fácil acceso. La larga vida de los componentes, la operación single pass y el tensionado automático de cable contribuyen a reducir el tiempo de mantenimiento.



### Robusto y potente

Para garantizar una larga vida del bastidor, sin reconstrucción, el proceso de diseño y prueba siguió el concepto usado para el PV-351. La viga en T usada es de 24" (610 mm) de grosor con una sección transversal de 162 lb/pie. (141 kg/m). La estructura tiene un centro de gravedad bajo lo que le da estabilidad y reduce las vibraciones de la perforación. El montaje del sistema de potencia para el PV-271 incluye la elección de juegos de motores y compresores para operaciones de perforación rotativa o DTH. El paquete de potencia consiste en un motor diesel (o un motor eléctrico) conectado directamente a un compresor de aire en un extremo y una caja de cambios impulsora con bomba hidráulica de tres puertos de salida en el otro extremo. Este paquete de potencia ensamblado es montado en su propia base, que luego es montada en el bastidor principal del equipo. Esta disposición de montaje aísla las vibraciones torsionales del bastidor principal hacia el paquete de potencia, así como las vibraciones del paquete de potencia al bastidor.



### Equipamiento estándar

- Cabina con aire acondicionado, aislada, presurizada, con vidrios oscurecidos y asiento del perforista con suspensión
- Chasis Caterpillar 345XL con sensores de oruga hidráulicos
- Sistema de avance de cable impulsado por cilindros hidráulicos
- Cabeza rotativa impulsada por motor hidráulico con lubricación de ranuras, torque máximo de 8,700 lb-pie (11,8 kNm); gama de velocidad de 0 a 150 rpm.
- Cuentavueltas de la cabeza rotativa en la consola del perforista
- Inmovilización hidráulica remota de la torre
- Carrusel de 2 barras para barras de perforación de 6-14" (159 mm) a 8-58" (219 mm)
- Cambiador de barras "No-bump"
- Llave de desensroscar (mandril de puntas) accionada hidráulicamente
- Llave de cadena auxiliar hidráulica "manos libres"
- Grúa auxiliar de 8,000 lb (3,629 kg) de capacidad
- Corinas hidráulicas para el polvo-remedies
- Paquete refrigerante
- Filtros de toma de aire separados para el motor y el compresor de aire
- Bastidor de vigas de acero estructurales de aletas anchas con montaje de abrazaderas anti-oscilación
- Estación de prueba hidráulica
- Paquete de iluminación nocturna de 12 lámparas de halógeno de 70 vatios
- Barandillas y pasadizos completos en la plataforma de servicio
- Dos gatos niveladores de cilindro de 48" (1,2 m) y uno de 60" (1,52 m)

# Algunas características del Pit Viper 271

Para una lista de opciones más comprehensiva, consulte por favor su Centro de Clientes de Atlas Copco.



### Perforación automática

Al sistema RCS se pueden agregar funciones, como auto-nivelación y auto-desnivelación, navegación de barreno GPS, acceso remoto al equipo con comunicación, desplazamiento remoto inalámbrico, medición durante la perforación, operación remota inalámbrica, y autopercusión.



### Paquete de perforación inclinada

El paquete patentado de perforación inclinada de Atlas Copco permite posicionar la torre hasta un máximo de 20° (a partir de la vertical, en incrementos de 5°). Todos los controles para el posicionamiento están ubicados en la consola del perforista, dentro de la cabina. Este sistema cambia el punto de pivote de la torre al nivel de la plataforma de perforación.



### Sistema de cuatro gatos

En las operaciones de perforación, la estabilidad es importante. Como una mejora de la "disposición de gatos en trípode" el PV-271 puede ser entregado con una configuración de 4 gatos, donde los gatos del extremo no-perforante están amarrados actuando como un arbotante.



### Regulación electrónica de aire

Una opción disponible para el PV-271 es el EARS (Electronic Air Regulation Control System). Este sistema está diseñado para ofrecer control de volumen de aire variable (dentro de la capacidad del sistema), manteniendo constante la presión del aire. Esto permite reducir la potencia necesaria, y por lo tanto el consumo de combustible.

## Datos técnicos del PV-271

### Datos técnicos

Método de Perforación	Rotativa y DTH - Single pass	
Diámetro del barreno	6 3/4 in - 10 5/8 in	171 mm - 270 mm
Pulldown hidráulico	70,000 lbf	311 kN
Peso sobre la broca	75,000 lb	34,000 kg
Pullback hidráulico	35,000 lbf	156 kN
Profundidad single pass	55 ft	16.8 m
Máxima profundidad de barreno	105 ft	32 m
Velocidad de avance	127 ft/min	0.6 m/s
Cabeza rotativa, torque	8,700 lbf-ft	11.8 kNm
Peso estimado	185,000 lb	84,000 kg

### Dimensiones con torre arriba

Longitud	41 ft 3 in	12.6 m
Altura	87 ft	26.5 m
Ancho	18 ft 4 in	5.6 m

### Dimensiones con torre abajo

Longitud	83 ft 7 in	25.5 m
Height	22 ft 1 in	6.7 m

### Motor (Tier II)

<b>Caterpillar</b>	C27	800HP / 597 kW@1800RPM (LP 1900)
<b>Cummins</b>	QSK19	755HP / 563 kW@1800RPM (LP 1900)
<b>Caterpillar</b>	C32	950HP / 708 kW@1800RPM (LP 2600)
<b>Caterpillar</b>	C27	800HP / 597 kW@2100RPM (HP 1450)
<b>Cummins</b>	QSK19	755HP / 563 kW@2100RPM (HP 1450)
<b>Weg motor</b>	6808	700HP / 521 kW@ 50 or 60Hz
<b>Weg motor</b>	6811	900HP / 671 kW@ 50 or 60Hz

### Especificación de tubos de perforación

Diámetro de tubo	Diámetros de broca	Rosca
6 1/4" (159 mm)	6 3/4" - 9"	4" BECO
7" (178 mm)	9" - 9 7/8"	4 1/2" BECO
7 5/8" (194 mm)	9 7/8" - 10 5/8"	5 1/4" BECO
8" (203 mm)	9 7/8" - 10 5/8"	5 1/4" BECO
8 5/8" (219 mm)	10 5/8"	6" BECO

### Perforación DTH de alta presión

Martillo DTH de hasta 8" y brocas de 9" de diámetro max.



[www.atlascopco.com/blastholedrills](http://www.atlascopco.com/blastholedrills)

© 2010 Atlas Copco. Todos los derechos reservados. Se prohíbe la reproducción o el uso no autorizado de esta información sin el consentimiento escrito de Atlas Copco. Este documento es un producto de Atlas Copco y puede estar sujeto a cambios sin previo aviso. Consulte con su representante de ventas para obtener más información.

Diciembre, 2010 Atlas Copco Drilling Solutions

## Anexo N° 6: Políticas de la empresa



**Cerro Verde**

### **POLÍTICA DE CALIDAD DE SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.**

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. es una empresa minero metalúrgica dedicada a la producción de cátodos de cobre, y concentrados de cobre y molibdeno, que asume los siguientes compromisos inspirados en la filosofía de mejora continua de sus operaciones:

- ❖ **Cumplir con los requisitos de nuestros clientes:**  
Buscando continuamente la satisfacción de nuestros clientes y atendiendo sus requerimientos asociados a la calidad de nuestros productos.
- ❖ **Mejorar continuamente nuestro proceso de producción:**  
Impulsando mejores prácticas operativas que influyan en la eficiencia de nuestros procesos de producción, fomentando la motivación en los trabajadores.
- ❖ **Mantener y revisar nuestro Sistema de Gestión de Calidad acorde a los lineamientos de la Norma ISO 9001:**  
Cumpliendo con los requerimientos establecidos en la norma ISO 9001, con la finalidad de dar valor agregado a nuestros procesos productivos.
- ❖ **Difundir esta política a todos nuestros trabajadores:**  
Fomentando la participación de cada uno de los trabajadores con el entendimiento de nuestra política.

Nuestros trabajadores aplican los compromisos de esta política, de tal manera que se genera una actitud responsable y proactiva que permite alcanzar los objetivos de calidad establecidos para la organización.

### Política de Seguridad y Salud de Freeport-McMoRan Inc.

En Freeport-McMoRan Inc. ("Freeport"), Producción Segura va más allá de las palabras: es nuestra cultura. Define nuestro trabajo, nuestros comportamientos y nuestras expectativas. Es el por qué hacemos lo que hacemos y cómo lo hacemos, para que nuestra fuerza laboral regrese a casa de manera segura todos los días. Este enfoque es la base de todo lo que hacemos, desde nuestros sistemas de gestión y estrategia de cómo involucramos a los empleados y las comunidades hasta los estándares que establecemos para los socios comerciales y para nosotros mismos.

La seguridad y la salud de todos los empleados de Freeport es nuestra máxima prioridad y un valor fundamental de la empresa. Nuestro objetivo es cero lesiones y enfermedades laborales. La producción y los costos son fundamentales para el bienestar de la empresa, pero estas consideraciones nunca deben tener prioridad sobre la seguridad, la salud de los empleados o la protección del medio ambiente.

Creemos que pueden prevenirse todas las lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo. Además, creemos que las consideraciones de seguridad y salud son parte integral y compatibles con todas las demás funciones de gestión en la organización y que una gestión de la seguridad y la salud adecuada mejorará la producción o los costos en lugar de afectar negativamente.

Nuestra estrategia de salud y seguridad incluye pasos de acción en las siguientes áreas de objetivos clave:

- Reducir el riesgo alto
- Usar datos para impulsar la toma de decisiones
- Eliminar las causas sistemáticas de incidentes o problemas
- Optimizar los recursos de seguridad y salud corporativos y de sus operaciones
- Reforzar y mantener una sólida cultura de salud y seguridad
- Utilizar la ciencia del comportamiento y la tecnología como facilitadores de nuestro plan

Un principio fundamental de nuestra política es que se cumplirá con los estándares de salud y seguridad internos y externos aplicables. La seguridad y la salud es una responsabilidad de la línea de dirección, y todas las políticas y prácticas de seguridad y salud deben ser respetadas y apoyadas activamente por todos los niveles de la dirección.

Creemos que la Producción Segura es importante y que todos tenemos la responsabilidad de hacer lo correcto para garantizar el éxito de nuestra salud y seguridad hoy y en el futuro. Esto significa que cada empleado debe asumir la responsabilidad individual de su seguridad y la de sus compañeros de trabajo. También significa que cada empleado tiene la tarea de crear un entorno de trabajo que elimine los riesgos de seguridad y salud ocupacional siempre que sea posible. Si un peligro no se puede eliminar, los empleados deben trabajar juntos para asegurarse de que se reduzca o controle de manera efectiva. La asignación de responsabilidades y la determinación de las medidas de rendición de cuentas (accountability) para el desempeño en materia de seguridad y salud se establecen en todos los niveles de gestión. La Junta Directiva monitoreará y recibirá informes periódicos sobre los resultados.

Mediremos el progreso para alcanzar nuestros objetivos verificando los puntos de referencia establecidos regularmente. Proporcionaremos la capacitación y los recursos necesarios para lograr nuestros objetivos de seguridad y salud, y todas las personas seremos responsables de los resultados.

Nos aseguraremos de que los empleados y empresas contratistas estén debidamente capacitados y sean responsables de seguir todos los procedimientos y estándares de seguridad establecidos. No se comprometerán los asuntos de seguridad y salud. Cada empleado y contratista es responsable de su seguridad personal, de la seguridad de los demás y del entorno en el que trabaja. Ninguna tarea se considerará tan importante, y ningún plazo tan urgente, que no pueda tomarse el tiempo para que se realice la tarea de manera segura. Trabajar de manera segura es una condición del empleo.

Como aspecto de filosofía y práctica, haremos que todos los contratistas que trabajan en nuestras instalaciones sean responsables del mismo nivel de seguridad que esperamos de nuestra parte. Todos los contratos incluirán cláusulas de seguridad específicas diseñadas para lograr este resultado. Se realizarán auditorías periódicas de cumplimiento de la seguridad de nuestros contratistas para garantizar el cumplimiento de nuestras políticas y valores principales.

Llevaremos a cabo auditorías de seguridad y salud ocupacional de forma regular en nuestras operaciones para evaluar el estado de cumplimiento de nuestros programas de seguridad y salud, y comunicaremos esa información a todos los niveles de dirección.

Los profesionales de salud y seguridad que trabajan en nuestras unidades operativas están encargados de ayudarnos a lograr nuestros objetivos de seguridad y salud. Ayudarán a la dirección en el desarrollo e implementación de programas de seguridad y salud efectivos y diseñarán los métodos para medir el desempeño de seguridad de manera efectiva. También analizarán los resultados y tendencias de cumplimiento a fin de hacer recomendaciones para mejorar el desempeño.

Estamos comprometidos a proporcionar un entorno laboral seguro y saludable y a proporcionar los recursos adecuados a través de programas de capacitación, programas de incentivos de seguridad y programas de salud ocupacional para lograr un liderazgo reconocido en asuntos de seguridad y salud. Consideramos que los programas de seguridad y salud, tanto dentro como fuera del trabajo, constituyen una inversión en nuestro recurso más valioso: nuestros empleados.

Esta Política puede ser enmendada o complementada de vez en cuando por la dirección y se presentará periódicamente al Comité de Responsabilidad Corporativa de la Junta Directiva para su revisión y aprobación.

\*\*\*\*\*

Última modificación, 7 de Diciembre de 2020

---

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. hace propia la Declaración de Política Corporativa de Salud y Seguridad de Freeport-McMoRan Inc. comprometiéndose a prevenir lesiones y enfermedades ocupacionales, cumplir con los requisitos legales y otros que suscribiera, mejorar su desempeño, a través de la implementación, operación, mantenimiento y mejora continua de su Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional. Así mismo a promover la participación y consulta a los trabajadores y sus representantes en temas de Salud y Seguridad.

## Política Ambiental de Freeport-McMoRan Inc.

Freeport-McMoRan Inc. ("Freeport") reconoce que la minería tiene un impacto en el entorno natural. Nuestro objetivo es llevar a cabo nuestras operaciones de minería y procesamiento de manera que se minimicen los impactos adversos sobre el medioambiente y se respalde la protección de los ecosistemas en los que operamos a través de una gestión ambiental responsable. Revisamos y evaluamos los efectos medioambientales de nuestras actividades a lo largo del ciclo de vida de la minería y el procesamiento, y planificamos y llevamos a cabo nuestras operaciones de manera que se busque optimizar el uso económico de los recursos al tiempo que se minimizan los efectos medioambientales adversos, centrándonos en el clima, el agua, la biodiversidad, el aire, los relaves, los residuos, el cierre de minas y la recuperación. Mediante la integración de nuestra Política Medioambiental con nuestras Políticas de Relaves, Derechos Humanos y Desempeño Social, aspiramos a respetar los intereses de todos los grupos de interés en nuestro desempeño medioambiental.

Freeport se compromete a:

1. Operar nuestras instalaciones de conformidad con todas las leyes y normas ambientales aplicables, como mínimo, y cuando creamos que éstas no son lo suficientemente protectoras, aplicaremos prácticas de gestión reconocidas internacionalmente;
2. Operar de manera que se respeten las áreas protegidas legalmente designadas, incluido el compromiso de no realizar actividades mineras ni de exploración en los lugares declarados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO;
3. Prevenir la contaminación y minimizar los impactos ambientales adversos, siempre que sea posible, utilizando estrategias de gestión de riesgos basadas en la evidencia científica;
4. Mejorar continuamente el desempeño ambiental de nuestras operaciones mediante la implementación de sistemas de gestión ISO 14001;
5. Avanzar en nuestra estrategia climática de reducción, resiliencia y contribución;
6. Esforzarnos por maximizar la eficiencia en el uso del agua en cada una de nuestras operaciones y, cuando proceda, tratar de colaborar con los grupos de interés en la gestión responsable del agua;
7. Contribuir a la conservación de la naturaleza y aplicar la jerarquía de mitigación para evaluar los riesgos e impactos en la naturaleza, con la aspiración de que no se produzca una pérdida neta de biodiversidad en las nuevas minas y en las ampliaciones importantes de las minas e instalaciones de procesamiento existentes;
8. Respetar y proteger la cultura y el patrimonio de nuestras comunidades anfitrionas y de los Pueblos Indígenas;
9. Promover la participación efectiva a través de la interacción colaborativa con nuestros grupos de interés en relación con nuestro comportamiento medioambiental, independientemente de la raza, el color, el país de origen o los ingresos;
10. Gestionar de forma segura y responsable nuestros residuos relacionados y no relacionados con relaves;
11. Trabajar con nuestros grupos de interés y gobiernos anfitriones para ayudar a que los permisos, las leyes y los reglamentos brinden protección para el medioambiente basada en principios científicos adecuados;
12. Educar y capacitar al personal y contratistas para llevar a cabo tareas de una manera ambientalmente responsable;
13. Remediar pasivos ambientales donde nuestras compañías sean responsables; y
14. Revisar regularmente nuestro desempeño ambiental e informar públicamente nuestro progreso.

Se espera que todos los empleados y contratistas de Freeport y sus filiales sigan esta Política e informen de cualquier inquietud a través de los mecanismos de comunicación de Freeport, incluidos los publicados en los Principios de Conducta Empresarial y el Código de Conducta de Proveedores. Esta política puede ser modificada o complementada ocasionalmente por la dirección y se presentará periódicamente al Comité de Responsabilidad Corporativa de la Junta de Directores para su revisión y aprobación.

\*\*\*\*\*

