

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Optimización de brocas de perforación en el crucero 746, para reducir costos operativos en la
mina Coriloma - Apurímac-2019

Presentado por:

Edwin Sánchez Damián

Para optar el título profesional de Ingeniero de minas

Abancay, Perú

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“OPTIMIZACIÓN DE BROCAS DE PERFORACIÓN EN EL CRUCERO 746, PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA MINA CORILOMA - APURÍMAC-2019”

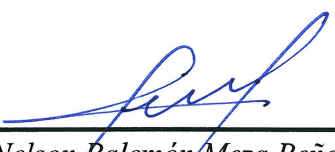
Presentado por **Edwin Sánchez Damián**, para optar el Título de:
INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 11 de febrero del 2022, ante el jurado evaluador:

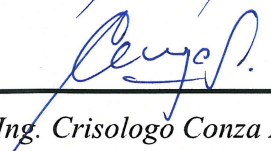
Presidente:


Ing. José Adolfo Cárdenas Catalán

Primer Miembro:


Dr. Nelson Palemón Meza Peña

Segundo Miembro:


Ing. Crisologo Conza Ancaypuro

Asesor:


Mg. Franklin Aguirre Huilcas

Agradecimiento

Expreso un sincero Agradecimiento a la carrera profesional de Ingeniería de Minas, y distinguidos docentes que me compartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi vida universitaria la cual me sirve para enfrentar el mundo minero competitivo profesional al cual estamos inmersos todos los profesionales de la carrera profesional de ingeniería de minas. Así mismo agradezco a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac que en esta casa mater cumplí mi sueño.



Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mi madre Santusa Damián, y mi padre Timoteo Sánchez, hermanos (as) y mi cuñada Vilma Huachaca. que estuvieron brindándome su apoyo moral y comprensión en mi vida universitaria, brindándome su consideración sincera y duradera



Optimización de brocas de perforación en el crucero 746, para reducir costos operativos en la
mina Coriloma - Apurímac-2019

Línea de investigación: Minería y Procesamiento de Minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del Problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Justificación de la investigación	5
1.4 Importancia de la Investigación	5
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1. Objetivo general	7
2.1.2. Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.1 Hipótesis general	7
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes	9
3.1.1 Antecedentes internacionales	9
3.1.2 Antecedentes nacionales	10
3.2 Marco Referencial	12
3.2.1 Geomecánica	12
3.2.2 Macizo Rocoso	16
3.2.3 Perforabilidad	17
3.2.4 Principios de la perforacion de rocas	18
3.2.5 Aceros de Perforación	18
3.2.6 Análisis de costos	20
3.2.6.1 Costos directos	21
3.2.6.2 Costos indirectos	21
3.3 Definición de términos	21

CAPÍTULO IV.....	24
METODOLOGÍA.....	24
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	24
4.2 Población y muestra	24
4.2.1 Población	24
4.3 Procedimiento de la investigación.....	24
4.4 Material de investigación.....	24
4.5 Plan de tratamiento de datos.....	25
4.6 Estudios geomecánica del Crucero 746.....	25
CAPÍTULO V	28
RESULTADOS Y DISCUSIONES	28
5.1 Determinación de la optimización de las brocas de perforación	28
5.2 Parámetros de perforación	28
5.3 Consumo de brocas antes de realizar la optimización.....	29
5.3.1 Rendimiento de brocas	31
5.4 Optimización de uso de brocas mediante el cambio de marca	33
5.4.1 Comparación de marcas de broca Rock bit y Atlas Copco	33
5.4.2 Parámetros de elección de broca	33
5.4.3 Reducción de costos operativos con la optimización de brocas.....	40
5.4.4 Reducción del consumo de brocas.....	41
5.4.5 Cálculos para incremento de la producción.....	43
5.4.6 Elección de broca.....	45
5.5 Optimización de uso de brocas mediante afilado	45
5.6 Discusión	47
CAPITULO VI.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
6.1 Conclusiones.....	50
6.2 Recomendaciones	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de Variables	8
Tabla 2 — Perforabilidad y resistencia a la compresión	16
Tabla 3 — Perforabilidad y desgaste de algunas rocas comunes	17
Tabla 4 — Consumo real de brocas en Atlas Copco y Rockbit.	24
Tabla 5 — Clasificación geomecánica G.S.I.	25
Tabla 6 — Características del Crucero 746	28
Tabla 7 — Constante K, E	29
Tabla 8 — Consumo de brocas de febrero-junio	30
Tabla 9 — El resultado es como se muestra a continuación:	32
Tabla 10 — Característica de la broca Rock bit	33
Tabla 11 — Tiempo de vida de la broca Rock bit	34
Tabla 12 — Costo por metro perf de la roca Rock bit	35
Tabla 13 — Característica de la broca Atlas Copco	36
Tabla 14 — Tiempo de vida de la broca Atlas Copco	37
Tabla 15 — Costo por metro de la broca Atlas Copco	38
Tabla 16 — Longitud perforada por broca Atlas y Rock bit	39
Tabla 17 — Consumo real de brocas en 10 unidades	43
Tabla 18 — Análisis de brocas de botones de 38 mm	46
Tabla 19 — Consumo real de brocas en Atlas Copco y Rock bit	47
Tabla 20 — Longitud perforada por broca Atlas y Rock bit	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Procedure for measurement and calculation of RQD	13
Figura 2 — Clasificación de BIENAWSKI	15
Figura 3 — Perforabilidad vs Resistencia a la compresión.....	16
Figura 4 — Broca de botones.....	20
Figura 5 — Caracterización geotécnica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento y resistencia.....	26
Figura 6 — Estimación del tiempo de auto soporte según la Clasificación del RMR	27
Figura 7 — Tiempo de vida de la broca Rock bit	34
Figura 8 — Longitud de perforación.....	35
Figura 9 — Longitud Perforada (m).....	37
Figura 10 — Longitud de perforación y tiempo de vida	39
Figura 11 — Long. Promedio perforado por broca (pies).....	39
Figura 12 — Número de taladros por broca, Número de brocas por frente	42
Figura 13 — Long. Promedio perforado por broca (pies).....	48

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en la Mina Coriloma Empresa Minera Korminpa S.A. Apurímac, existen problemas con las brocas de perforación. Como en la mayoría de las empresas mineras se busca mejorar y optimizar los costos de operación mina para así obtener mejor productividad, mayores beneficios, y mejores ganancias esto sin descuidar la seguridad y la calidad en el trabajo que están por encima de todo.

El consumo excesivo de las brocas de perforación en el crucero 746 de la mina Coriloma se genera por el mal uso y control de las brocas de perforación, siendo otra de las razones es la mala elección de las marcas a utilizar en la empresa minera, así mismo también la pericia del operador de la perforadora el cual no realiza la maniobrabilidad adecuada ase que las brocas se desgasten prematuramente, se quiebren los insertos, se atasquen en los taladros las cuales en muchas ocasiones no se pueden recuperar por consiguiente se desechan antes de llegar a su vida útil, es por ello que se plantea la siguiente hipótesis general. Determinar la optimización de las brocas de perforación en el crucero 746, para reducir los costos operativos en la mina Coriloma. La metodología empleada para este trabajo de investigación es descriptiva aplicada la cual se realizó mediante la observación y los reportes generados del consumo de las brocas mediante registros, las cuales fueron procesados en Excel. Se tomó datos de fuentes como son los libros, trabajos de investigación publicadas en revistas científicas virtuales las cuales están debidamente citadas y referenciadas. Se determinó que al haber realizado esta investigación es factible realizar el cambio de las brocas que con las cuales se perforaban inicialmente (SANDVIK, ATLAS COPCO) a las brocas ROCKBIT que tiene mayor vida útil, tal como se ha demostrado en esta investigación, se concluye que la marca ROCKBIT, es la más óptima y supera en durabilidad en más del 23 % a la marca de ATLAS COPCO. Esta tesis servirá para futuras investigaciones.

Este trabajo de investigación consta de 6 capítulos debidamente desarrolladas.



RESUMEN

Uno de los problemas en la actividad minera son los elevados costos de operación, donde una actividad minera busca siempre reducir los costos, Para nuestro caso el consumo excesivo de las brocas en el Crucero 746 de la Mina Coriloma, Es debido a que no se tiene un adecuado control de las brocas, siendo así otra de las razones es la mala elección de la marca de la brocas para el tipo de roca que se está interactuando, otra de las razones también es la pericia del operador del martillo neumático la cual no realiza la maniobrabilidad adecuada, esto genera que las brocas se desgasten antes de llegar a su vida útil, la otra razón es que las brocas se pierden atascados en el taladro, siendo que estas no se puedan recuperar. Por todo ello antes mencionado se tiene un elevado consumo de brocas por lo cual el mal consumo de brocas influye en precio de producción que sean elevados, por estas razones se tiene como objetivo general, determinar la optimización de brocas de perforación en el Crucero 746, para reducir los costos operativos en la Mina Coriloma.

la investigación es de causa efecto, pues se determinó el análisis de optimizar de las brocas de perforación para minimizar los costos de operación en la Mina Coriloma. Se determinó el análisis de perforación, el cual implica una descripción de cómo se logró reducir los costos operativos.

Realizando las pruebas en campo de ambas brocas en comparación se concluye que la optimización de broca de perforación permitió reducir los costos operativos en el Crucero 746, de la Mina Coriloma donde se tiene que para las brocas Rock bit el costo por metro perforado es igual a 0,206 \$/m y para las brocas Atlas Copco es 0,367 \$/m. donde la broca seleccionada para este fin es la broca Rock bit. para el caso del trabajo de investigación.

Palabras clave: optimización, brocas, perforación, reducción, costos.



ABSTRACT

One of the problems in mining activity is the high cost of operation and it is logical that any mining activity always seeks to reduce costs. In our case, the excessive consumption of drill bits in the Coriloma Mine 746 cross is due to the lack of adequate drill control, another reason is the poor choice of the drill brand for the type of rock with which we are interacting, another reason is also the skill of the pneumatic hammer operator who does not handle it properly, this causes the bits to wear out before reaching their life expectancy, the other reason is that the bits get lost stuck in the drill, making it impossible to recover them. All the aforementioned results in a high consumption of drilling bits. All of the above has a high production price as a consequence, for these reasons the general objective is to determine the optimization of drilling bits in the 746 cross, to reduce the operating costs at the Coriloma Mine.

the type of research in this study is cause and effect, since it was determined that optimizing the use of drilling bits minimizes operating costs at the Coriloma Mine. Drilling analysis was determined, which implies a description of how operating costs were reduced.

After Carrying out the field tests of both bits in comparison, it is concluded that the optimization of the drilling bit allowed to reduce the operating costs in the cross 746, of the Coriloma Mine, where for the Rockbit bits the cost per meter drilled is 0.206 \$/m and for Atlas Copco bits it is \$ 0.367 /m. The bit selected for this research is the Rockbit bit.

Keywords: optimization, drill bits, Costs, reduction.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En las actividades de perforación, la interacción que se genera entre el operador y la perforadora son de mucha importancia. Debido a esto, la adquisición de un equipo, conocimiento de operar y tecnología son importantes para tener una buena producción. Uno de los factores importantes, a la hora de mejorar dicha interacción para elevar la productividad, es la elección adecuada de las brocas y tener en cuenta el equipo de perforación a emplear; dicho análisis no deberá dejarse de lado. La selección de brocas está estrechamente ligada a la identificación del tipo de roca o frente de perforación, para este caso es necesario apoyarse en la determinación geomecánica del macizo rocoso.

En este caso se tiene un consumo excesivo de las brocas en el Crucero 746 de la Mina Coriloma, al no tener un adecuado control de ellos, otro de los factores es la mala elección de las brocas adecuadas para el tipo de roca con el que se está interactuando, otra de las razones es la pericia del operador del martillo neumático las cuales no realiza la maniobrabilidad adecuada, haciendo que las brocas se desgasten prematuramente, se quiebren los insertos o generándose un desgaste antes de llegar a su vida útil y la otra razón es que las brocas se pierden atascados en el taladro, haciendo que estas no se puedan recuperar. Es por ello que se tiene un elevado consumo de las brocas y las cuales hacen que los costos de operación sean elevados.

1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo la optimización de brocas de perforación reducirá los costos operativos en el Crucero 746, de la Mina Coriloma -Apurímac-2019?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se mejorará el ciclo de perforación en el Crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma – Apurímac - 2019?

- ¿En qué medida se reducirá el consumo de las brocas en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma – Apurímac - 2019?
- ¿De qué manera se incrementará la producción con la optimización en el crucero 746, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma – Apurímac - 2019?

1.3 Justificación de la investigación

Este proyecto de tesis se justifica porque al igual que todas las unidades mineras buscan reducir sus costos de operación mediante mejora de técnicas de trabajo o estandarizaciones de sus actividades etc. Donde el objetivo principal es mejorar las utilidades valiéndose de la optimización de las diferentes actividades operativas que existe en interior mina, estas optimizaciones no solo pueden ser operativas sino también en el consumo de recursos que son empleados en la operación, estas pueden ser optimización de consumo de combustible, consumo de aire, consumo de explosivos, horas hombre, etc., en este caso se busca optimizar las brocas de perforación para reducir los costos operativos, mediante ellos optimizar el ciclo de minado, optimizar el consumo de las brocas e incrementar la producción, La investigación se justifica también por que trata sobre la economía de la unidad minera y busca reducir los costos que genera el excesivo consumo de las brocas. En la parte académica se justifica porque se genera contenido bibliográfico y antecedentes que puedan ser utilizados en posteriores investigaciones relacionadas a la optimización de las brocas.

1.4 Importancia de la Investigación

Este trabajo de tesis es importante porque trata sobre La optimización de las brocas de perforación y así por este medio reducir los costos operativos de las actividades de perforación y costos de operación mina.

Este trabajo de tesis es importante porque mediante ello se logrará un sistema de costos y medición exhaustiva de las operaciones, que, a la vez, se sintetizan en la supervisión y la capacitación continua en las operaciones mineras, lográndose de esta manera que la empresa minera obtenga una mayor rentabilidad y utilidad.



Este trabajo de tesis es importante porque generan antecedentes de estudio para el rubro minero donde se pueda aplicar en otras minas de tal forma obtener rentabilidad y ganancias al optimizar las brocas de perforación que es un tema muy puntual y de importancia en al ámbito minero.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo general

Determinar la optimización de brocas de perforación en el Crucero 746, para reducir los costos operativos en la Mina Coriloma – Apurímac – 2019

2.1.2. Objetivos específicos

- Identificar el mejoramiento en el ciclo de perforación en el Crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019
- Calcular la reducción del consumo de las brocas en el Crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019
- Identificar el incremento de la producción con la optimización en el Crucero 746, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La optimización de las brocas de perforación en el Crucero 746, reducirá los costos operativos en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Se mejora el ciclo de perforación en el Crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019
- Se reduce el consumo de las brocas en el Crucero 746, con la optimización, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019
- Se incrementa la producción con la optimización en el Crucero 746, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de Variables

Tipo de Variable	Nombre de la Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	X: Optimización de las brocas de perforación	Mejor desempeño de las brocas	Vida útil de las brocas en pies
Variable dependiente	Y: Reducción de los costos operativos	Ciclo de perforation	Longitud de perforación por pies
			Horas guardia
		Consumo de las brocas	Consumo de brocas Por guardia
		Incremento la Producción	Tonelaje por guardia

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) RAMOS RAMOS, (2011), en el artículo científico titulado “El estado de arte de las brocas de perforación” publicado en la Universidad de América de la ciudad Bogotá Colombia, habiendo realizado un análisis de diferentes tipos de brocas concluye que los últimos estudios realizados en el diseño de brocas de perforación se ha tomado en cuenta el fenómeno de la vibración, el cual tiene un fuerte impacto en la vida útil durante la perforación. Por lo que para el diseño de brocas tiene que tomarse en cuenta, el peso sobre la broca, densidad de los detritos, tipo de litología, abrasividad, temperatura, deformación y esfuerzos de la broca. (Estado de arte de las brocas de perforación, 2011 pág. 113)
- b) BEOM KWON, y otros, (2014) en artículo científico publicado en Evaluation of drilling Efficiency by percussion tapping and drill Bit with new button arrangement (Evaluación de la eficiencia de perforación mediante carpa de percusión o broca con nueva disposición de botones), publicado en la revista International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. Refieren que se han realizado uso de simuladores y modelos matemáticos para determinar la resistencia de la broca de botones sometidos a esfuerzos combinados de percusión y fuerza de rotación por que impacta directamente sobre la superficie de la roca. Con lo que se ha logrado especificaciones de diseño de brocas óptimas: (Material del botón, forma del botón, tamaño del botón, disposición de los botones, diseño de la cabeza de la broca y descarga interna diseño del canal) son necesarios para mejorar la velocidad y la eficiencia de la perforación. El artículo investiga el efecto de la disposición de los botones en la eficiencia de la perforación. Se utilizó el método Taguchi para optimizar el rendimiento de la percusión realizando las pruebas en rocas graníticas. (Evaluation of drilling Efficiency by percussion tapping and drill Bit with new button arrangement, 2014)



3.1.2 Antecedentes nacionales

- a) URQUIZO APAZA, (2019), en su trabajo de suficiencia profesional titulado “Análisis de consumo de Barrenos y Brocas en la Corporación Minera Ananea S.A”, hace una comparación del uso de brocas en las principales, en la minería subterránea Milpo y Horizonte. Se planteó como objetivo: Analizar los factores de la vida útil del barreno y la broca en minería subterránea. Así mismo, el método que se utilizó es el descriptivo y estadístico, los materiales utilizados en recolección de información son la ficha de observación y control. Sobre los resultados hallados se constata que el barreno y la broca principalmente tuvieron un rendimiento promedio; primer caso, en 77 metros/broca que representa el 42.5% optimizado, segundo caso, en 95 metros/broca siendo el 24% en efectividad de rendimiento en promedio con el afilado de brocas en su vida útil. Concluyendo, que los factores más resaltantes que representan principalmente al rendimiento de la broca, es el afilado de las mismas ya que su implementación y un programa adecuado aumenta en el rendimiento de la vida útil del barreno y la broca, como parte del mejoramiento y maximización; también cabe mencionar la dureza de la roca, presión del aire, barrido de detritus, logística y capacitaciones al personal que de alguna manera influyen como factores significativos. Además, repercute directamente en los costos directos de la empresa, donde tuvo una optimización importante debido al número de barrenos y brocas, utilizados en perforación. (Análisis de consumo de Barrenos y Brocas en la Corporación Minera Ananea S.A , 2019 pág. 3)
- b) ORCÓN CUEVA (2014), En su informe final de tesis para obtener el título, profesional de ingeniero de minas en la Universidad nacional del centro del Perú (UNCP) titulado “Las brocas de Botón 45 mm*R32 para la perforación en el Consorcio Minero Horizonte Parcoy -La libertad.” En su investigación analiza las Brocas de Botón de R32*45MM usadas durante el periodo por el Consorcio Minero Horizonte S.A. durante el año 2013. Se arribó a la conclusión siguiente: Los costos de mina rodean los 8.87 \$/tonelada cual con el trabajo se redujo el costo unitario de perforación con relación al consumo de brocas de botón de 45 mm * R32 de 0.15\$/m a 0.14\$/m, haciendo una comparación del año 2012 con el año 2013 el consumo de brocas se redujo en 174 piezas que viene hacer el 9.8% del consumo de 1769 piezas del 2010. Para



minimizar los costos de producción es recomendable utilizar el rastreo de costos en perforación y voladura y utilizar parámetros de KPIs (Key performance Indicator) o Indicadores de rendimiento.

- c) UMAÑA TANCAILLO (2014), en su trabajo de tesis titulado “Reducción y optimización de costos operativos en perforación y voladura Minera Yanaquihua S.A.C. E.E. Adgeminco S.A.C” concluye que, a través de la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y voladura, se logró minimizar los Costó unitario de Mina en 1,51 \$/TM es decir una reducción del 7% en comparación con lo que se venía obteniendo. Representando esto una reducción en costos operativos de Mina de 108 720 \$ al año. También concluye que la optimización de las operaciones unitarias y por los ahorros en la eliminación de la voladura secundaria y el incremento en la vida de los aceros de perforación ascienden a un monto de 1 488 000 \$ al año.
- d) APARCO HUILLCAS, y otros, (2019) en su trabajo de tesis titulado “optimización de la vida útil de los aceros de perforación para la reducción de costos en mina San Vicente – CIA San Ignacio de Morococha S.A.A. año 2018” concluye que, Con el uso adecuado y afilado de brocas oportunamente se optimiza la vida útil de las brocas de perforación de 45 mm obteniendo una mejora 35% de su vida útil respecto al hallado, logrando un incremento de 1124.15 pies perforados/broca.
- e) CAMARENA COSME, (2012) en su trabajo de tesis titulado “optimización de las brocas de 38,45mm y del sistema de perforación, con fines de disminuir costos en la UEA semiglo de la empresa minera Atacocha S.A.” concluye que, para el rendimiento de las brocas estas fueron afiladas para llegar a su rendimiento óptimo y disminución de costos.

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Geomecánica

La clasificación geomecánica de roca en las áreas subterráneas, es posible el establecimiento de los planes a seguir para poder garantizar la instalación de las fortificaciones.

Hay diversos tipos de roca, donde cada una tienen características y propiedades físicas que las diferencian de las demás.?

En una gran mayoría de casos, el macizo rocoso aparece como un conglomerado conectado o ensamblado de bloques irregulares, separados por diferentes discontinuidades geológicas como son las fracturas o las fallas y, por ello, la Caracterización Geomecánica de los macizos rocosos es compleja, pues además debe de incluir tanto las propiedades de la matriz rocosa, así como también de las discontinuidades.

El procedimiento de diseño para el sostenimiento de terrenos, debe ser adaptado a cada situación específica. Las razones para ello son los hechos siguientes:

- Hay un alto índice de variabilidad en los “materiales utilizados”.
- La información que se puede proporcionar a través de las investigaciones Geológicas se ven severamente limitadas
- Respecto a la exactitud existen limitaciones y también respecto a la importancia de parámetros robados de material de la roca.
- Las limitaciones severas en el cálculo y también en los métodos para modelar el sistema de sostenimiento.
- La abertura es dependiente del tiempo, y también es influenciado por el cambio en las filtraciones de agua.
- Discrepancia entre el tiempo que se requiere para las pruebas de los parámetros, para los cálculos y modelos, si se comparan al tiempo disponible.

Los tres sistemas más conocidos para La Clasificación Geomecánica de la Roca son los siguientes:

- RQD (Rock Quality Designation) Designación de la calidad de roca, Deere et al, 1967).

- RMR (Rock Mass Rating) Clasificación de la masa rocosa, Bieniawski (1973, 1989).
- Q (Tunnel Quality Index) Índice de la calidad del túnel, Barton et al (1974).

3.2.1.1. RQD (Rock Quality Designation) – Designación de la calidad de roca

Se le denomina así a un proceso que en sus análisis usa la calidad de las muestras obtenidas de la perforación (sondajes) diamantina (Deere et al, 1967) para poder establecer la calidad de la roca masiva in situ.

Lo que normalmente muestra valores de 54,7 mm x 1,5 m, resultando en un porcentaje como el siguiente:

- 0 – 25 % Muy Malo
- 25 – 50 % Malo
- 50 – 75 % Regular
- 75 – 90 % Bueno
- 90 – 100 % Muy Bueno

El valor de 10 cm = diámetro de la muestra x 2

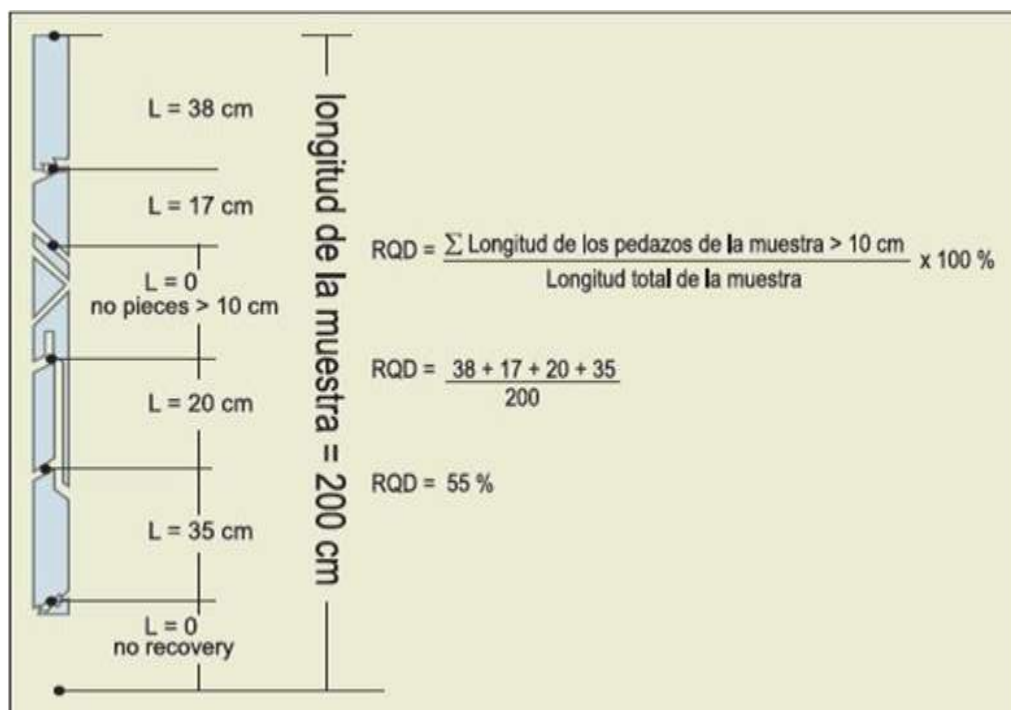


Figura 1 — Procedure for measurement and calculation of RQD

Extraído de (Afler Decre. 1989)

Si se utiliza el sistema RQD se obtendrá una indicación de lo que vendría a ser la calidad de la roca en el sector de la muestra, la presencia de fallas, fracturas presentes y de las fuerzas presente en la roca.

3.2.1.2. Clasificación de BIENAWSKI

Dureza de la roca; RQD: Rock Quality Designation (designación de la calidad de la roca); frecuencia y alteración de las fracturas; fuerzas en la masa rocosa in situ; filtraciones de agua.

RMR – Clasificaciones

Descripción RMR

- Muy buena 81-100. Sin sostenimiento, Pernos puntuales $L = 1,4 + (0,18 \times W)$
- Buena 61-80. Puntuales $L = 1,4 + (0,18 \times W)$
- Normal 41-60. Pernos – Esp. 1,5, $L = 1,8 + (0,18 \times W)$, Shotcrete 50mm
- Malo 21-40. Shotcrete 100mm, Pernos – Esp. 1m, $L = 2 + (0,18 \times W)$
- Muy malo < 20 Arcos. Shotcrete 150mm, Pernos– Esp. 1m, $L = 3 + (0,18 \times W)$

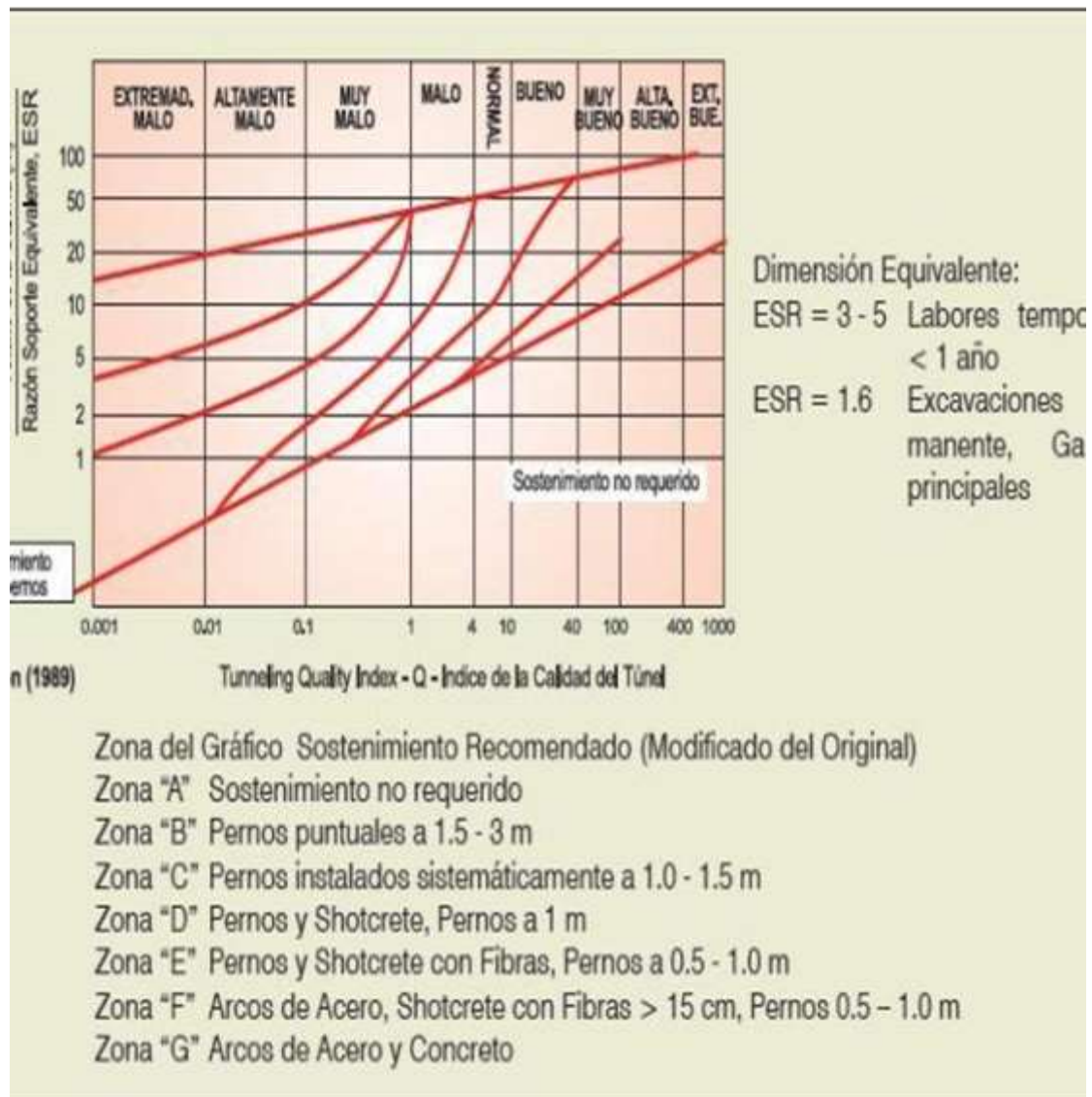


Figura 2 — Clasificación de BIENAWSKI

Extraído de (Afler Decre. 1989)

3.2.1.3. Clasificación de BARTON

Para poder efectuar el cálculo del Índice Q, necesariamente se tiene que tomar en cuenta lo siguiente: dureza de la roca, RQD, fracturas (frecuencia y alteraciones), presencia de agua y las fuerzas in situ. Los valores de (ESR) "Excavation Support Ratio" (Razón del Soporte de la Excavación), es vinculado con la utilización final y por último vida anticipada de la excavación.? No define nada

3.2.2 Macizo Rocos

3.2.2.1. Características del macizo rocoso

Según Gamarra Caceres (2011) las características del Macizo Rocos son la estructura, la dureza y la resistencia a la compresión simple de la roca donde a continuación se describen cada una.

- A. Estructura: La clasificación de las rocas también puede darse tomando en cuenta su estructura, si es que los granos de minerales presentes en su estructura que están mezclados por una masa homogénea se determinan que la roca es maciza.
- B. Dureza: es la propiedad de resistencia de la roca que ejerce para ser rayado, esto se da en rocas de grano grueso y compacto.
- C. Resistencia a la compresión: se define a la resistencia que ejerce una roca hasta el punto de que pueda fragmentarse.

Tabla 1 — Perforabilidad y resistencia a la compresión

PERFORABILIDAD (cm/min)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
90	200
120	150
150	100

Extraído de Tesis (Gamarra Caceres 2011)

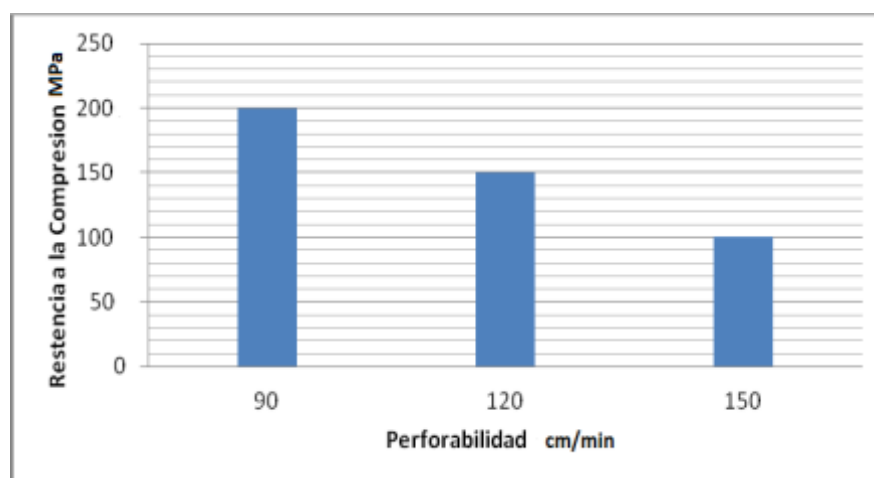


Figura 3 — Perforabilidad vs Resistencia a la compresión

Extraído de Tesis (Gamarra Caceres 2011)

Como se puede observar en el diagrama de frecuencia de la rapidez de penetración con respecto a la resistencia a la compresión, se observa que es inversamente proporcional. Cuando la rapidez de penetración se incrementa, entonces la resistencia hace que disminuya, este análisis es vinculante para el caso de este estudio porque trata sobre el desgaste de las brocas (Gamarra Cáceres 2011)

3.2.3 Perforabilidad

Según Gamarra Cáceres (2011) en su tesis menciona que la Perforabilidad está ligada al tipo de macizo rocoso y su composición de la misma, también va involucrado directamente a la maniobrabilidad del perforista y la calidad de las brocas de perforación.

Tabla 2 — Perforabilidad y desgaste de algunas rocas comunes

Tipo de roca	Perforabilidad	Desgaste
Granito	Normal de perforar	Mucho desgaste en la broca y el varillaje
Basalto	Normal de perforar	Menos desgaste en el varillaje
Diorita	Normal de perforar	Desgaste normal en el varillaje
Anfibolita	Difícil de perforar	Produce un fuerte desgaste Debido al contenido de cuarzo
Gneis	Más Difícil de perforar debido a la granulación fina	Produce un fuerte desgaste
Pizarra	Fácil de perforar	Poco desgaste en los aceros
Roca caliza	Fácil de perforar	Poco desgaste en los aceros
Arenisca	Fácil de perforar	Produce un fuerte desgaste por la presencia del cuarzo
Cuarcita	Difícil de perforar por la presencia del SIO	Produce un elevado desgaste de los aceros

Extraído de Tesis (Gamarra Cáceres 2011)

3.2.4 Principios de la perforación de rocas

3.2.4.1 Perforación por percusión

De acuerdo con Bernaola y otros (2013) en una publicación de la Universidad Politécnica de Madrid, definen que, la perforación por percusión, son todas aquellas formas de perforación en las cuales la fragmentación de la roca se produce, elementalmente a consecuencia del impacto de un útil de filo más o menos aguzado sobre la misma. Este tipo de trabajos se realizan con equipos manuales o mecanizados de acuerdo a la dimensión del tipo de trabajo.

3.2.4.2 Rotación y trituración

Ferrersl (2020) en su página menciona que este método de rotación y trituración se venía utilizando originalmente para la perforación en los pozos de petróleo. Actualmente es también posible su uso para la perforación de barrenos en chimeneas y galerías de túneles. Éste procedimiento resulta bastante práctico para perforar. Las técnicas de rotación que utilizan la circulación de fluidos para la eliminación de los detritus de la perforación son prácticas y efectivas tanto para pequeños como para moderados diámetros a cualquier profundidad, dentro de la capacidad de la máquina.

3.2.4.3 Rotura de la roca percusión y trituración

Según Gamarra Cáceres (2011) en su tesis menciona que la perforación por percusión y trituración, la roca se rompe por efecto de una elevada fuerza (o presión), esta fuerza aplica sobre la roca un botón o plaquita de carburo cementado. Es un procedimiento mixto donde la acción de perforación es por giro y golpe.

3.2.5 Aceros de Perforación

Según INACAP (2015) señala que en la minería la fase inicial de operaciones a realizar es la fase de perforación y consiste en taladrar las rocas, estas perforaciones se llevan a cabo a través de los accesorios de perforación, estos son:

- Barras
- Brocas



- Coplas
- Barras adicionales.

Para ejecutar un trabajo de perforación de forma específica se pueden elegir variadas combinaciones de accesorios. Los factores que se deben tener en consideración de los componentes son:

- El diámetro de los barrenos
- Longitud de los barrenos
- Estructura
- Resistencia de las rocas
- Abrasividad de las rocas
- Tamaño de la perforadora
- Potencia de la perforadora
- Experiencias anteriores

Los materiales utilizados en las herramientas de perforación son:

- Diamante
- Nitruro de boro
- Cerámicos
- Carburo de tungsteno
- Materiales duros
- Aceros rápidos
- Aleaciones especiales. Cromo níquel y magnesio

3.2.5.1. Broca de botones

Taishan (2012) en su página menciona que son fabricadas a partir de barras de acero de alta calidad y aleación y carburos de tungsteno, estas brocas personalizadas son aplicables para perforar rocas blandas, rocas medio sueltas y rocas duras, las brocas de botones es el más usado en la perforación hay tres diseños principalmente disponibles



Figura 4 — Broca de botones

Extraído de Taishan (2012) brocas de botones roscada

3.2.6 Análisis de costos

De acuerdo con Riquelme Matias (2017) en su publicación de Webyempresas, en primera línea comenta que la Contabilidad de Gestión surge a partir de la necesidad de obtener información suficiente y personalizada acerca de los costos generales involucrados en el producto que se va producir y vender, que sea de utilidad a la gerencia a la hora de tomar algunas decisiones en el ámbito financiero.

Para el análisis de costos partimos una idea de la necesidad de establecer el costo de un producto específico, de esta forma pautar el precio de venta. Siendo así el coste la suma del total de los gastos ocasionados para obtener un bien o servicio.

La cantidad de gastos que se dan lugar a un costo, son:

- Aquellos que de alguna manera forman parte de la actividad habitual y propia de la empresa.
- Aquellos que están estrechamente vinculados a la actividad productiva.
- Aquellos que son ineludibles para el desarrollo de la actividad productiva.

3.2.6.1 Costos directos

De acuerdo con Riquelme Matias (2017) en su publicación, se denominan costos directos aquellos costos que se asocian directamente con el producto de forma clara, sin hacer ningún tipo de reparto. Sirven para instaurar mecanismos de control que den a conocer con la mayor exactitud posible la cantidad de costo que amerita el producto o servicio. Se conocen como costos de producción.

3.2.6.2 Costos indirectos

De acuerdo con Jesusch (2014) en su publicación, son aquellos costos que se ven implícitos en el proceso de producción pero que no se incorporan de manera directa al producto final. Estos son bastante comunes en varios productos, por lo que se debe constituir algún criterio de reparto. Se conocen también como gastos de fabricación.

3.3 Definición de términos

Rampa: Es una labor de servicio para poder ingresar materiales y así también poder extraer mineral de interés económico, estas labores pueden ser espirales o inclinadas y de sección estándar. (Salas Hurtado 2013)

Cruceros: Es una labor que interconecta dos labores paralelas, generalmente estas son cortas y de sección estándar, que se utilizan como labores de servicio. (Lopez Gimeno 2017)

Chimeneas: Son labores verticales que son construidas con el fin de acceder a diferentes niveles o también de ventilación y de servicios. (Lopez Gimeno 2017)

By Pass: Son labores que sirven de echadero de desmonte para que estos puedan ser dispuestos y evacuados y dispuestos en las canchas específicas para cada caso. (Lopez Gimeno 2017)

Ore pass (OP): Son labores que deriven como echadero de mineral, estos minerales de disponen de un nivel a otro para que puedan ser extraídos y evacuados a la cancha correspondiente. (Lopez Gimeno 2017)



Galerías sobre Veta: Son labores que se ejecutan siguiendo la dirección de la veta, pero con una gradiente uniforme, estas a la vez son labores de producción y de preparación. (Salas Hurtado 2013)

Galería de extracción: Esta labor es netamente de servicio y también es una labor horizontal donde el cual cae el mineral volado y por donde se extrae el mismo. (Lopez Gimeno 2017)

Macizo rocoso: Se le denomina Macizo rocoso al conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades. Mecánicamente hablando, son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos, lo que implica que su clasificación es esencial en la ingeniería geológica (Geologiaweb, 2020).

Perforación y voladura: La perforación y voladura es una técnica que se aplica a la extracción de roca en terrenos que son competentes, en los lugares, en los que medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Así, partiendo de esta definición, este método se puede aplicar a cualquier método de explotación, en minería y obra civil, donde sea necesario un movimiento de tierras. Las actividades realizadas en la perforación y voladura son los encargados de abrir la ruta para obtener el mineral. Esta tarea, desde luego, no está libre de peligros mortales y de riesgos hacia el mismo proyecto (Camiper, 2019).

Taladros: Son agujeros donde se aloja la carga explosiva, su propósito es después de iniciar el chispeo fragmentar la roca para poder ser extraídas. El propósito que tienen es abrir en la roca o mineral huecos cilíndricos llamados taladros. Estos se destinan a alojar o colocar explosivo y sus accesorios en su interior. En otras palabras, la perforación se hace con el objeto de volar cierta porción de roca o mineral, ya sea en un frente o en un stope o tajeo (Isem, 2017).

Costos: En estos últimos años esta definición es la más utilizada en las empresas mineras estos costos son manejables y hacia una tendencia positiva de acuerdo a los manejos administrativos de la empresa, Como todo negocio, la minería y la metalurgia, consisten en satisfacer la demanda del mercado vendiéndole un producto o servicio por más dinero



de lo que cuesta su producción, de manera que permita obtener una utilidad (Jesusch, 2014).

Operaciones mineras: Es el conjunto de actividades relacionadas con la actividad extractiva de minerales, las cuales estas colaboran con un solo fin que es extraer el mineral económicamente rentable, con responsabilidad y seguridad. (Sociedad nacional de minería y petróleo, 2020).

Optimización: De acuerdo con la publicación de Perspectivagem (2015) El Optimizar simboliza llegar a conseguir los mejores resultados posibles obtenidos por medio de una actividad o estrategia; de este verbo deriva la palabra optimización, cuya conceptualización varía en relación a las diversas situaciones en las que se puede desenvolver, como son en la economía, en la administración, en las matemáticas y la informática.

Producción: producción minera en el país se refiere a minerales metálicos que son extraídos y comercializados principalmente como materia prima, en forma de concentrados ó productos refinados, y en contados casos con cierto valor agregado. (jesusch, 2014).

Productividad: es la relación que existe entre la cantidad de insumos y recursos utilizados para la obtener un producto determinado en función a la cantidad en volúmenes que serán, determinado por sus factores productivos. (según la industria minera en chile, 2014)



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

La investigación es descriptiva aplicada, el estudio tiene en cuenta la economía de la empresa mediante la optimización de las brocas de perforación.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

El estudio es intencional no probabilístico. La población para el siguiente trabajo está constituida por la mina Coriloma específicamente el crucero 746.

4.3 Procedimiento de la investigación

Se realizó el trabajo de investigación en 5 meses, el medio fue la observación y los reportes generados del consumo de las brocas de perforación, para ello se tubo registros en papel las cuales fueron pasados al Excel y el empleo del procesador de textos. Donde de acuerdo a los reportes y resúmenes de los mismos se tiene los siguientes resultados.

Tabla 3 — Consumo real de brocas en Atlas Copco y Rockbit.

Tipo de broca	Consumo real de brocas en 10 disparos
Atlas Copco	5
Rockbit	4

4.4 Material de investigación

Se emplearon el software de cálculos y procesadores de texto:

- Hojas de Cálculo.
- Bases de Datos.
- Graficadores: Autocad, Autocad civil 3d.

Se codificó los datos y se clasificó en forma manual y en forma electrónica. Para el segundo caso, el programa utilizado será el Excel y de los graficadores.

4.5 Plan de tratamiento de datos

Se procedió a realizar las evaluaciones para la optimización de las brocas de perforación, seguidamente se evaluaron la factibilidad del cambio de los aceros de perforación, donde se vio la reducción en los costos de operación.

4.6 Estudios geomecánica del Crucero 746

Evaluación geomecánica del Crucero 746

La zona donde se desarrolla el Crucero 746 es un macizo rocoso competente, como también presenta pequeña falla con presencia de alteración de sulfuro de pirita en el Crucero 746, considerándose geotécnicamente un macizo roco competente.

Clasificación geomecánica G.S.I.

El macizo rocoso presenta un promedio de 2-6 fracturas/m, discontinuidades lisas, moderadamente alteradas ligeramente abiertas que se rompe con varios golpes de picota, tendrá clasificación G.S.I. Moderadamente Fracturada (LF/B) y su valuación RMR' equivalente es de 79. Donde el tipo de soporte es de tipo A, con un tiempo de Autosuporte para labores de 2.1 – 3.0 m de 5 años, para labores de 3.5 – 5.0 m de 3 años de Autosuporte

Tabla 4 — Clasificación geomecánica G.S.I.

RMR	Descripción	Tiempo promedio de Sostenimiento
0 - 20	Muy pobre	10 min / 0.05 min
21 - 40	Pobre	5 hr / 15 min
41 - 60	Regular	1 sem / 3 meses
61 - 80	Bueno	5 años
81 - 100	Muy bueno	> 5 años

Extraído de <https://geotecniafacil.com/gsi-indice-resistencia-geologica/>

Todos estos datos se muestran en la figura 1, una estructura con sus diversas descripciones como (fracturas por metro), y la condición superficial de resistencia por golpes de picota y valores de la caracterización geotécnica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento y resistencia, tomando como premisa siempre las discontinuidades del macizo rocoso.

LABORES MINERAS DE DESARROLLO Y EXPLOTACIÓN (2.50 a 4.50 m. de Luz)		RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (M B)		BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B)		REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) (R)		MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M)		MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) (MM)	
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (M B)		BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B)		REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) (R)		MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M)		MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) (MM)			
A Sin soporte o perno ocasional (control de bloques inestables)		Superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, corradas. (RC > 250 MPA) (se astilla con golpes de picota)		Discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, liger. abierta. (RC 100 a 250 MPA) (se rompe con varios golpes de picota)		Discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abiertas. (RC 50 a 100 MPA) (se rompe con uno o dos golpes de picota)		Superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (RC 25 a 50 MPA) - (se indenta superficialmente)		Superficie pulida y estriada, muy abierta con relleno de arcillas blandas. (RC < 25 MPA) (se disgrega o indenta profundamente)			
B Perno sistematico. (1.8 x 1.8 m.) (cinta metalica o malla ocasional)													
C Perno sistematico. (1.5 x 1.5 m.) (cinta metalica o malla obligatoria)													
D Perno sistematico. (1.20 x 1.20 m.) Shotcrete con fibra (0.05 m.) Cuadros de madera.													
D1 Pernos sistematicos (1.0 x 1.0 m.) Shotcrete con fibra (0.10 m.) Cuadros de madera.													
E Cimbras metalicas o Cuadros de madera.													
Abaco de relacion con RMR. LEVEMENTE FRACTURADA. Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre si. (LF) (2 a 6 fract. por metro) (RQD 75 - 90) (RQD = 115 - 3.3 Jn.)		100 A LF/MB	95 A LF/B	90 A LF/R	85 A LF/R	80 B LF/R	75 B LF/R	—	—	—	—	—	—
MODERADAMENTE FRACTURADA. Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (F) (RQD 50 - 75) (6 a 12 Fract. por metro)		A F/MB	A F/B	A F/R	B F/R	B F/R	B F/R	—	—	—	—	—	—
MUY FRACTURADA. Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o mas sistemas de discontinuidades. (MF) (RQD 25 - 50) (12 a 20 Fract. por metro)		A MF/MB	B MF/B	B MF/R	B MF/R	C MF/R	C MF/R	D MF/M	D MF/M	D1 MF/MM	D1 MF/MM	D1 MF/MM	D1 MF/MM
INTENSAMENTE FRACTURADA. Plegamiento y fallamiento, con muchas discontinuidades interceptadas formando (IF) bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 - 25) (mas de 20 Fract. por metro)		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TRITURADA O BRECHADA. Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos facilmente disgregables, angulosos y redondeados. (sin RQD) (T)		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Figura 5 — Caracterización geotécnica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento y resistencia

Extraído de Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Con la Figura 6 determinaremos la estimación del tiempo de auto soporte según la clasificación RMR

METODOLOGIA DE APLICACION					
EL DESPRENDIMIENTO DE ROCA SE EVITA COLOCANDO EL SOPORTE ADECUADO EN EL MOMENTO OPORTUNO.					
PROCESO DE MAPEO GEOMECANICO					
La tabla de sostenimiento según el G.S.I., se aplica de acuerdo a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y se subdividen de acuerdo al ancho de la excavación o minado:					
- Para la utilización de esta tabla se determina insitu lo siguiente: - Estructura: según la cantidad de fracturas por metro lineal definidas con el flexómetro. - Resistencia o condición superficial: definida por la cantidad de golpes de la picota o barretilla con que se rompe o la profundidad de indentación. Para hallar "G.S.I." debe lavarse la zona diferenciando fracturas naturales y de voladura. - Cuando hay la presencia de alteración en las paredes, de las fracturas o el tipo de relleno: (granular, limoso o arcilloso); la forma de las fracturas (lisa, estriada, ondulada, rugosa, ligeramente rugosa) y espaciamiento de las fallas; se procede a determinar el tipo de soporte de acuerdo al ancho del minado. - En excavaciones que no requieran soporte según la clasificación geomecánica, pero presentan fracturas paralelas, verticales y horizontales a favor o en contra de la excavación. En labores principales el sostenimiento será en forma sistemático. - La clasificación y el tipo de soporte; debe realizarse de inmediato, colocando el soporte adecuado en el tiempo indicado; de colocarse el soporte a destiempo es probablemente se requiera de un soporte mas pesado del que se indico. - Factores influyentes: - En excavaciones realizadas sobre el macizo rocoso propenso a crujidos de roca (popping rock) o estallido de roca (rockburst), el sostenimiento determinado con la tabla GSI sufrirá modificación al inmediato inferior, es decir si el sostenimiento es tipo "b" pasara a un tipo "c". - En la evaluación del sostenimiento se tendrá en cuenta: flujo de agua; el relajamiento de la Roca; voladura deficiente; presencia de fallas; zonas de intersección. El sostenimiento determinado con la tabla GSI sufrirá una modificación al inmediato inferior para su sostenimiento la tabla GSI, se ha relacionado con el índice de masa rocosa (rmr) bieniawski, así mismo el tipo de roca, sostenimiento a aplicarse; relacionado al tiempo de auto soporte y abertura máxima.					
INDICE G.S.I.	INDICE RMR	TIPO DE SOPORTE	TIEMPO DE AUTOSOPORTE		ABERTURA MAXIMA
			LABORES 2.1 - 3.0 Mts.	LABORES 3.5 - 5.0 Mts.	
LF / MB (Levemente fracturada / Muy buena)	85-95	A	10 AÑOS	5 AÑOS	20 mts.
LF / B (Levemente fracturada / Buena)	75-85	A	5 AÑOS	3 AÑOS	15 mts.
LF / R (Levemente fracturada / Regular)	65-75	A	2 AÑOS	1 AÑO	10 mts.
F / MB (Fracturada / Muy buena)	75-85	A	5 AÑOS	2 AÑOS	15 mts.
F / B (Fracturada / Buena)	65-75	A	2 AÑOS	1 AÑO	10 mts.
F / R (Fracturada / Regular)	55-65	B	6 MESES	3 MESES	7.0 mts.
F / M (Fracturada / Mala)	45-55	C	2 SEMANAS	1 SEMANA	4.5 mts.
MF / B (Muy fracturada / Buena)	55-65	B	6 MESES	3 MESES	7.0 mts.
MF / R (Muy fracturada / Regular)	45-55	C	2 SEMANAS	1 SEMANA	4.5 mts.
MF / M (Muy fracturada / Mala)	35-45	D - D1	5 DIAS	2 DIAS	3.0 mts.
MM / MM (Muy mala)	25-35	E	8 HORAS (INMEDIATO)	4 HORAS (INMEDIATO)	2.0 mts.
IF / B (Intensamente fracturada / Buena)	45-55	C	2 SEMANAS	1 SEMANA	4.5 mts.
IF / R (Intensamente fracturada / Regular)	35-45	D - E	5 DIAS	2 DIAS	3.0 mts.
IF / M (Intensamente fracturada / Mala)	25-35	D1 - E	8 HORAS (INMEDIATO)	4 HORAS (INMEDIATO)	2.0 mts.
IF / MM (Intensamente fracturada / Muy mala)	15-25	E	(PRESOPORTE)	(PRESOPORTE)	1.0 mts.
- La perforación del taladro para sostenimiento será perpendiculares a las paredes y techo, salvo cuando se coloquen para asegurar bloques sueltos, siendo necesario para este caso el uso de las gatas mecánicas o puntales de seguridad. - En la colocación de malla se debe realizar de gradiente a gradiente, asegurándose estas al techo mediante el uso de gatas mecánicas, y luego se aseguran con los pernos de anclaje, esta operación evitara la caída de fragmentos de roca al perforista. - En la colocación del shotcrete se realiza después de lavar la labor con agua a presión, se requiere el uso de calibradores, la distancia para evitar el exceso de rebote es de 1.5 mts., diseño y la preparación de la mezcla adecuada, la iluminación de la zona, uso de los manómetros en los equipos, equipo de protección personal, uso de drenes si hay presencia de agua. - En la colocación de cimbras metálicas o cuadro de madera, se debe considerar el correcto alineamiento y perpendicularidad deben estar bien ancladas y topadas a la superficie de la sección.					
MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL					
La voladura controlada: en especial en las coronas, para lo cual se deberá espaciar adecuadamente los taladros y distribuir mejor la carga explosiva. No acumular taladros para la colocación de pernos. "taladro perforado, perno colocado". Nunca perforar taladros en la dirección de la fractura o falla. La calidad del sostenimiento va en función a los estandares y PETS para su ejecución, capacitación permanente al personal en la aplicación de la tabla GSI, y el colocado del sostenimiento.					

Figura 6 — Estimación del tiempo de auto soporte según la Clasificación del RMR
Extraído de Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Determinación de la optimización de las brocas de perforación

Para la determinar la optimización de las brocas de perforación se realizó mediante la comparación del uso de las brocas marca Atlas Copco y las brocas RockBit, el mismo que se realizó en la apertura del crucero 746 durante los meses Febrero-junio del año 2020. Los cálculos justificatorios son:

Dimensiones del Crucero 746

Tabla 6 — Características del Crucero 746

Descripción	Dimensión
Ancho de labor	1,8 m
Altura de labor	2,0 m
Longitud de barreno	6 pies ~ 1,83 m
Eficiencia de perforación	90%
Longitud de taladro	5,4 pies ~ 1,65 m
Diámetro de broca	38 mm

5.2 Parámetros de perforación

Determinación de número de taladros:

Usando la fórmula:

$$Nro. taladros = \frac{4\sqrt{S}}{E} + k * S$$

Donde:

S : Área (m²)

E : Distancia entre taladros (m)

k : Coeficiente de roca

$$\text{Área} = \text{Ancho de labo} * \text{Altura de labor} \dots \dots$$

$$\text{Área} = 1,8 \text{ m} * 2,0 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 3,6 \text{ m}^2$$

Tabla 7 — Constante K, E

	E	k
Friable	0,7-0,75	1
Intermedia	0,6-0,65	1,5
Tenaz	0,5-0,55	2

Extraído de tesis (Gamarra Caceres 2021)

Entonces: E : 0,55

K : 2

$$Nro. taladros = \frac{4\sqrt{3,6}}{0,55} + 2 * 3,6 = 20.999$$

Nro. taladros cargados = 21 taladros

Nro. taladros de alivio = 1 taladro

Nro. total de taladros = 22 taladros

Sabiendo que la longitud de taladro considerando la eficiencia de perforación es de 5,4 pies (1,65 m), entonces la longitud total perforada por frente es:

$$Long. perforación = Long. barreno * Eff. perf. * núm. taladro$$

$$Long. perforación = 1,83 m * 0,90 * 22 taladros$$

$$Long. Perforación = 1,65 * 22 taladros$$

$$Long. perforación = 36,3 m$$

Para un disparo se requiere realizar aproximadamente un total de 36,3 m de perforación.

5.3 Consumo de brocas antes de realizar la optimización

El consumo de las brocas de la marca Sandvik en el Crucero 746 antes de realizar la optimización se consideran elevados costos, por falta de conocimiento y una adecuada capacitación al personal operario en la perforación del macizo rocoso. Y la falta de conocimiento de los siguientes factores como:

- Fatiga de brocas
- Eficiencia en la maniobrabilidad

- Barrido de detritos
- Afilado de brocas
- Parámetros de selección de brocas

En el siguiente cuadro se muestra el análisis de consumo de brocas de botones de 38 mm en marca Sandvik de los meses de febrero a junio del año 2020, se recopiló información respecto a consumo de brocas en la unidad minera, la cual se muestra a continuación:

Tabla 8 — Consumo de brocas de febrero-junio

Meses	N° brocas	Long. total, perforación. (pies)	Long. perforation. Broca(pies)	Long. total, perforación. (metros)
Febrero	17	4454	262	79,9
Marzo	15	4200	280	85,3
Abril	17	4318	254	77,4
Mayo	16	4160	260	79,2
Junio	17	4369	257	78,3

Las brocas tienen una vida útil de 400 pies según fabricante, por lo que el rendimiento en cada mes es de:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Long.perf.real (pies)} * 100}{\text{Vida útil (pies)}}$$

- Mes de Febrero

$$\text{Rendimiento} = \frac{262 * 100}{400}$$

$$\text{Rendimiento} = 65,50\%$$

- Mes de Marzo

$$\text{Rendimiento} = \frac{280 * 100}{400}$$

$$\text{Rendimiento} = 70,00\%$$

- Mes de Abril

$$\text{Rendimiento} = \frac{254 * 100}{400}$$

$$\text{Rendimiento} = 63,50\%$$

- Mes de Mayo

$$\text{Rendimiento} = \frac{260 * 100}{400}$$

$$\text{Rendimiento} = 65,00\%$$

- Mes de Junio

$$\text{Rendimiento} = \frac{257 * 100}{400}$$

$$\text{Rendimiento} = 64,25\%$$

5.3.1 Rendimiento de brocas

Long de perforación promedio:

$$\text{Long. perf. prom.} = \frac{\sum \text{Nro.brocas} * \text{long.perf}}{\text{nro.total de brocas}}$$

$$\text{Long. perf. prom.}$$

$$= \frac{(17 * 262) + (15 * 280) + (17 * 254) + (16 * 260) + (17 * 257)}{82}$$

$$\text{Long. perf. prom.} = 262,21 \text{ pies promedio}$$

Número promedio de taladros por broca:

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{\text{Long.perf.prom}}{\text{Long.taladro}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{262,21 \text{ pies}}{5,4 \text{ pies}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = 45,56 \text{ tal}$$

Rendimiento promedio:

$$\text{Rendimiento prom.} = \frac{\sum \text{Nro.brocas} * \text{long.perf}}{\text{Vida útil} * \text{nro.total de brocas}}$$

Rendimiento prom.

$$= \frac{(17 * 262) + (15 * 280) + (17 * 254) + (16 * 260) + (17 * 257)}{400 * 82}$$

$$\text{Rendimiento prom.} = 65,55\%$$

Las brocas tienen un rendimiento del 65,55% de la vida estimada por el fabricante, lo cual es inefectivo para la producción en mina.

Tabla 9 — El resultado es como se muestra a continuación

Meses	Nº brocas	Long. total, perf. (pies)	Long promedio perforacion por broca (pies)	Vida útil (pies)	Rendimiento%
Febrero	17	4454	262	400	65,50
Marzo	15	4200	280	400	70,00
Abril	17	4318	254	400	63,50
Mayo	16	4160	260	400	65,00
Junio	17	4369	257	400	64,25
Promedio	82	21501	262,21		65,55

La longitud promedio avanzada en metros sería de:

$$\text{Long. Perf. promedio} = 262,21 \text{ pies} * 0,3048 \text{ metros/pie}$$

$$\text{Long. Perf. promedio} = 79,92 \text{ m}$$

5.4 Optimización de uso de brocas mediante el cambio de marca

5.4.1 Comparación de marcas de broca Rock bit y Atlas Copco

5.4.2 Parámetros de elección de broca

Los siguientes parámetros que influyen directamente y fueron tomados para el análisis técnico- económico de las brocas de perforación son los siguientes:

- Velocidad de penetración
- Vida útil
- Longitud perforada
- Costo de la broca
- Costos de operacion

Se tiene un análisis de resultados en base a 2 brocas distintas

Broca Rock bit

Tabla 10 — Característica de la broca Rock bit

característica de la broca Rock bit		
Diámetro	mm	38
	pulgadas	1 ½
Longitud	mm	50
	pulgadas	2
Nº de botones	unidades	7
Botón por diámetro del botón	calibre	5x9
Calibre ángulo de botones	centro	2x7
		35
Agujero de felpa	lado	2
	centro	1

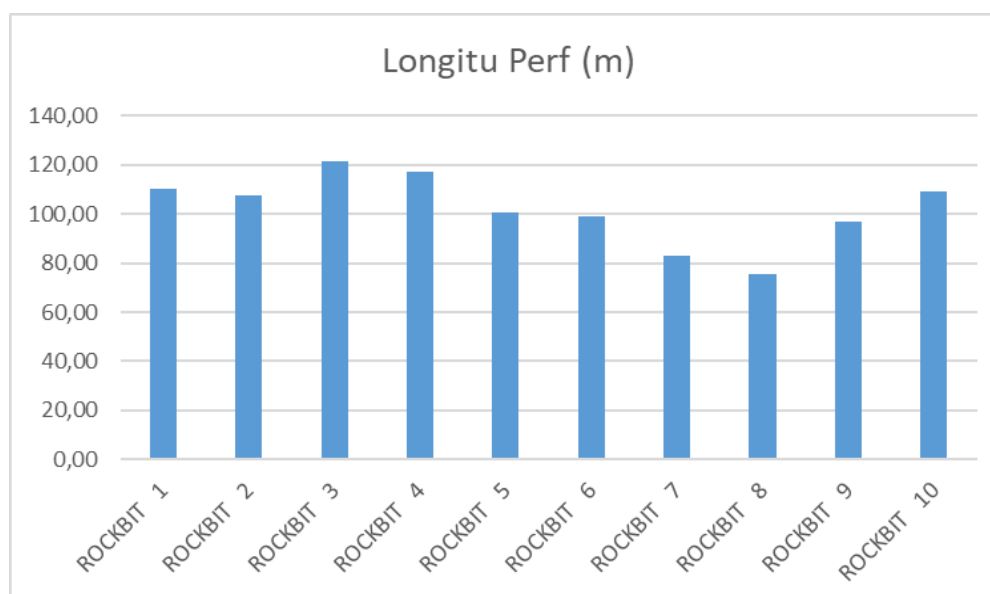
Se realizó una muestra de un total de 10 brocas marca Rock bit:

Costo de broca : \$ 21,00

Tipo de roca a perforar : dura

Tabla 11 — Tiempo de vida de la broca Rock bit

N° de Broca	Longitud Perf (m)	Longitud Perf (pies)	Vida útil (pies)	Rendimiento (%)
Rock bit 1	110,30	361.88	400	90,5
Rock bit 2	107,65	353.18	400	88.3
Rock bit 3	121,42	398.36	400	99,6
Rock bit 4	117,13	384.28	400	96,1
Rock bit 5	100,53	329.82	400	82,5
Rock bit 6	98,80	324.15	400	81,0
Rock bit 7	83,04	272.44	400	68,1
Rock bit 8	75,51	247.74	400	61,9
Rock bit 9	96,97	318.14	400	79,5
Rock bit 10	108,98	357.54	400	89,38

**Figura 7 — Tiempo de vida de la broca Rock bit**

Para poder determinar el costo por metro perforado usaremos la siguiente fórmula

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long.de perforación (m)}}$$

Con los cuales tenemos el siguiente resultado:

Tabla 12 — Costo por metro perf de la roca Rock bit

N° de muestra	Longitud Perf .(m)	Costo de broca (\$)	Costo por metro perf. (\$)
Rock bit 1	110,30	21	0,190
Rock bit 2	107,65	21	0,195
Rock bit 3	121,42	21	0,173
Rock bit 4	117,13	21	0,179
Rock bit 5	100,53	21	0,209
Rock bit 6	98,80	21	0,213
Rock bit 7	83,04	21	0,253
Rock bit 8	75,51	21	0,278
Rock bit 9	96,97	21	0,217
Rock bit 10	108,98	21	0,193

Si considera la longitud de perforación de cada muestra y el tiempo de vida de cada uno tendríamos como resultado lo siguiente:

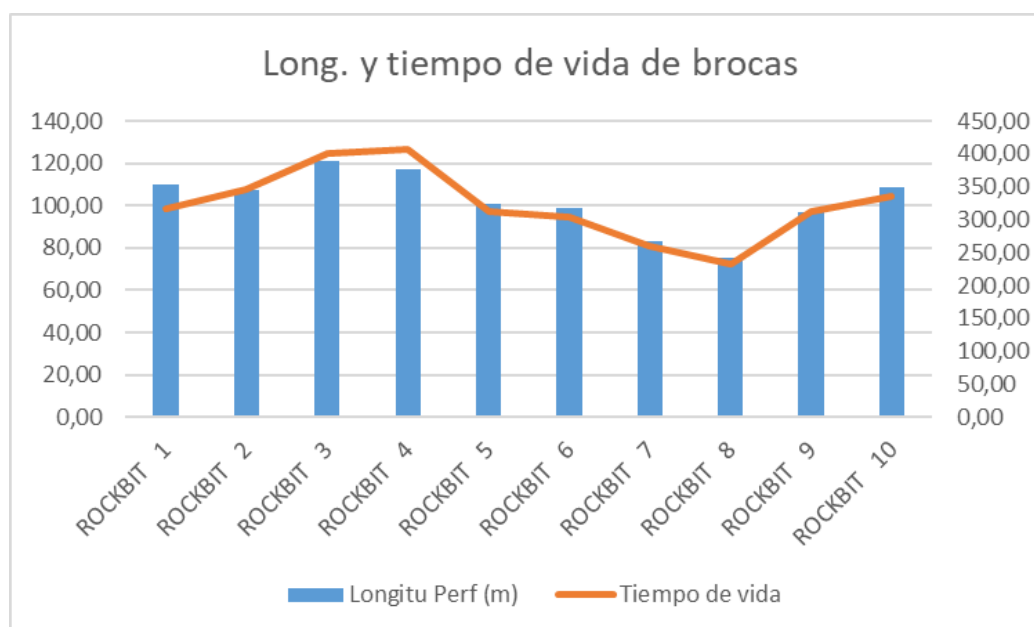


Figura 8 — Longitud de perforación

Longitud de perforación promedio:

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{\sum \text{Longitud de perf.}}{N^{\circ} \text{ de muestras}}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{1020,33 \text{ m}}{10}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = 102,03 \text{ m}$$

Broca Atlas Copco

Tabla 13 — Característica de la broca Atlas Copco

Característica de la broca Atlas Copco		
Diámetro	mm	38
	pulgadas	1 ½
Longitud	mm	50
	pulgadas	2
N° de botones	unidades	7
Botón por diámetro del botón	calibre	5x9
Calibre ángulo de botones	centro	2x7
		35
Agujero de felpa	lado	2
	centro	1

Extraído de broca Atlas Copco 2021

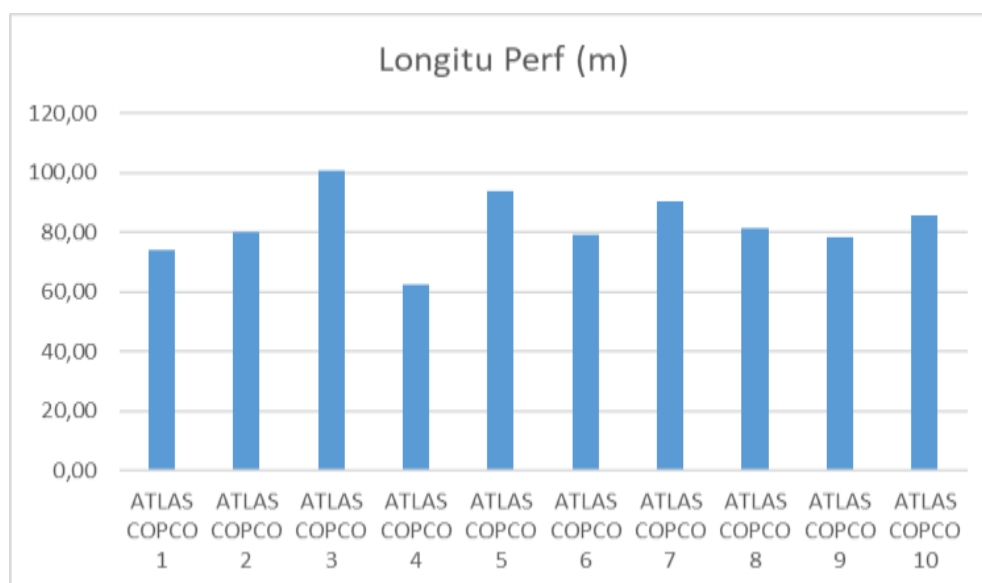
Se realizó una muestra de un total de 10 brocas marca Rock bit:

Costo de broca : \$ 30,36

Tipo de roca a perforar : dura

Tabla 14 — Tiempo de vida de la broca Atlas Copco

N° de muestra	Longitud de Perf. (m)	Longitud de Perf. (pies)	Vida útil (pies)	Rendimiento (%)
Atlas Copco 1	74,18	243.37	400	60,8
Atlas Copco 2	80,11	262.83	400	65,7
Atlas Copco 3	100,73	330.48	400	82,6
Atlas Copco 4	62,39	204.69	400	51,2
Atlas Copco 5	93,99	308.37	400	77,09
Atlas Copco 6	79,14	259.64	400	64,9
Atlas Copco 7	90,42	296.65	400	74,2
Atlas Copco 8	81,56	267.58	400	66,9
Atlas Copco 9	78,19	256.53	400	64,1
Atlas Copco 10	85,56	280.71	400	70,2

**Figura 9 — Longitud Perforada (m)**

Para poder determinar la velocidad y costo unitario en cada muestra utilizaremos las siguientes fórmulas:

Costo por metro perforado utilizamos la Ecuación 5.8

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long. de perforación (m)}}$$

Con lo cual nos da el siguiente resultado:

Tabla 15 — Costo por metro de la broca Atlas Copco

N° de muestra	Longitud Perf (m)	Costo broca (\$)	Costo por metro perf. (\$)
Atlas Copco 1	74,18	30,36	0,409
Atlas Copco 2	80,11	30,36	0,379
Atlas Copco 3	100,73	30,36	0,301
Atlas Copco 4	62,39	30,36	0,487
Atlas Copco 5	93,99	30,36	0,323
Atlas Copco 6	79,14	30,36	0,384
Atlas Copco 7	90,42	30,36	0,336
Atlas Copco 8	81,56	30,36	0,372
Atlas Copco 9	78,19	30,36	0,388
Atlas Copco 10	85,56	30,36	0,355

Si consideramos la longitud de perforación de cada muestra y el tiempo de vida de cada uno tendríamos como resultado lo siguiente:

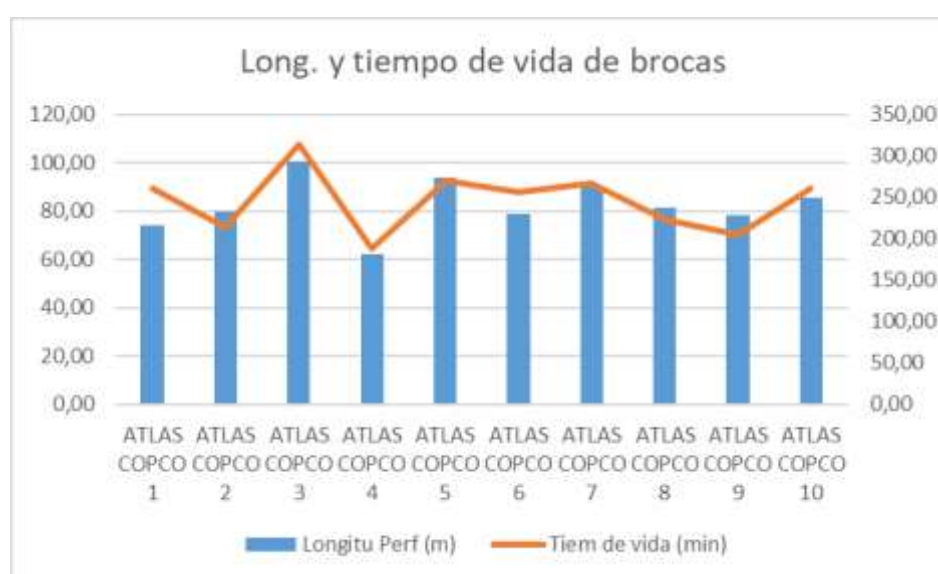


Figura 10 — Longitud de perforación y tiempo de vida

Longitud de perforación Promedio utilizamos la Ecuación 5.9

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{\sum \text{Longitud de perf.}}{\text{N}^\circ \text{ de muestras}}$$

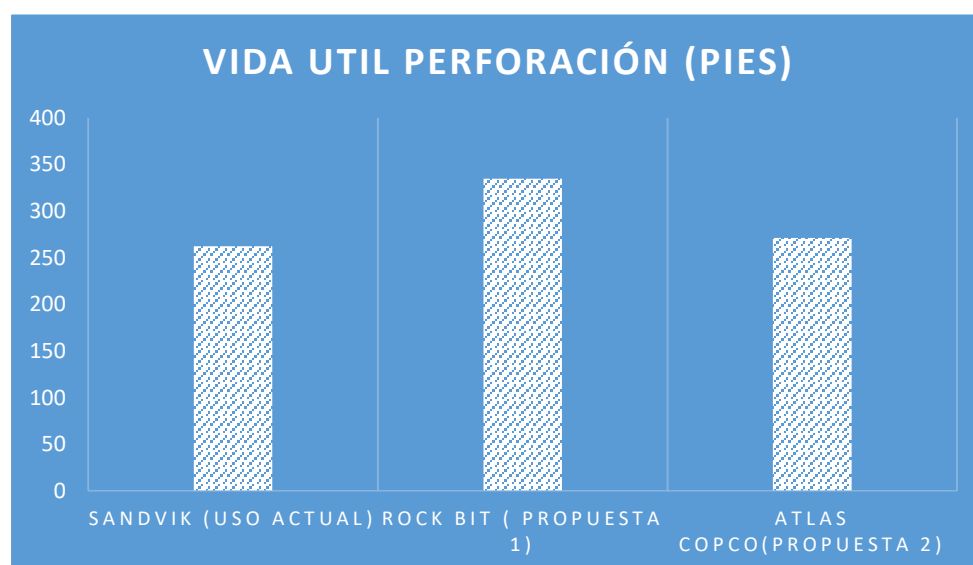
$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{826,27 \text{ m}}{10}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = 82,63 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta los resultados mostrados con las nuevas brocas y Sandvik, podemos ver una notable diferencia:

Tabla 16 — Longitud perforada por broca Atlas y Rock bit

Nº de muestra	Long. Promedio perforado por broca (metros)	Long. Promedio perforado por broca (pies)
Sandvik (Uso actual)	79,92	262,21
Rock Bit (Propuesta 1)	102,03	334,75
Atlas Copco (Propuesta 2)	82,63	271,09

**Figura 11 — Long. Promedio perforado por broca (pies)**

5.4.3 Reducción de costos operativos con la optimización de brocas.

Actualmente se está usando las brocas marca Atlas Copco en la unidad minera, sin embargo, se realizó una comparación de costos entre esta marca y Rock bit para optimizar los costos, el análisis se realiza en igualdad de condiciones para ambas marcas de brocas:

Para determinar el costo usaremos los datos recabados de las muestras de ambas marcas, de las cuales consideraremos el costo de broca y la longitud perforada.

Usaremos la fórmula:

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long.promedio de perforación (m)}} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

Rock bit:

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{\sum \text{Longitud de perf.}}{\text{N° de muestras}} \quad \text{Ecuación 5.11}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{1020,33 \text{ m}}{10}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = 102,03 \text{ m}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long.promedio de perforación (m)}} \quad \text{Ecuación 5.12}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\$ 21,00}{102,03 \text{ m}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = 0,206 \text{ \$/m}$$

Atlas Copco:

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{\sum \text{Longitud de perf.}}{\text{N° de muestras}} \quad \text{Ecuación 5.13}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = \frac{826,27 \text{ m}}{10}$$

$$\text{Long. de perf. promedio} = 82,63 \text{ m}$$

Reemplazando en ecuación 5.12:

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\text{Costo Broca (\$)}}{\text{Long.promedio de perforación (m)}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = \frac{\$ 30,36}{82,63 \text{ m}}$$

$$\text{Costo por metro perf.} = 0.367 \text{ \$/m}$$

5.4.4 Reducción del consumo de brocas

Brocas Rock bit:

Consumo de brocas Rock bit:

Para conocer el consumo de brocas por frente usamos la siguiente fórmula:

$$\text{Brocas por frente} = \frac{\text{long.de perf.por frente} \left(\frac{\text{m}}{\text{frente}}\right)}{\text{vida broca} \left(\frac{\text{m}}{\text{broca}}\right)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5.17}$$

$$\text{Brocas por frente} = \frac{36,3 \text{ m/frente}}{102,03 \text{ m/broca}}$$

$$\text{Brocas por frente} = 0,35 \text{ brocas/frente}$$

Número promedio de taladros por broca:

$$\text{Num.prom.de tal.por broca} = \frac{\text{Long.perf.prom}}{\text{Long.taladro}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5.18}$$

$$\text{Num.prom.de tal.por broca} = \frac{102,03 \text{ m/broca}}{1.65 \text{ m/tal}}$$

$$\text{Num.prom.de tal.por broca} = 61,83 \text{ tal/broca}$$

Brocas Atlas Copco:

Consumo de brocas Atlas Copco Ecuación 5.17

$$\text{Brocas por frente} = \frac{\text{Long.perf.por frente}}{\text{Vida util promedio de broca}}$$

$$\text{Brocas por frente} = \frac{36,3 \text{ m/frente}}{82,63 \text{ m/broca}}$$

$$\text{Brocas por frente} = 0,44 \text{ brocas/frente}$$

Número promedio de taladros por broca Ecuación 5.18



$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{\text{Long. perf. prom}}{\text{Long. taladro}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = \frac{82,63 \text{ m/broca}}{1,65 \text{ m/tal}}$$

$$\text{Num. prom. de tal. por broca} = 50,08 \text{ tal/broca}$$

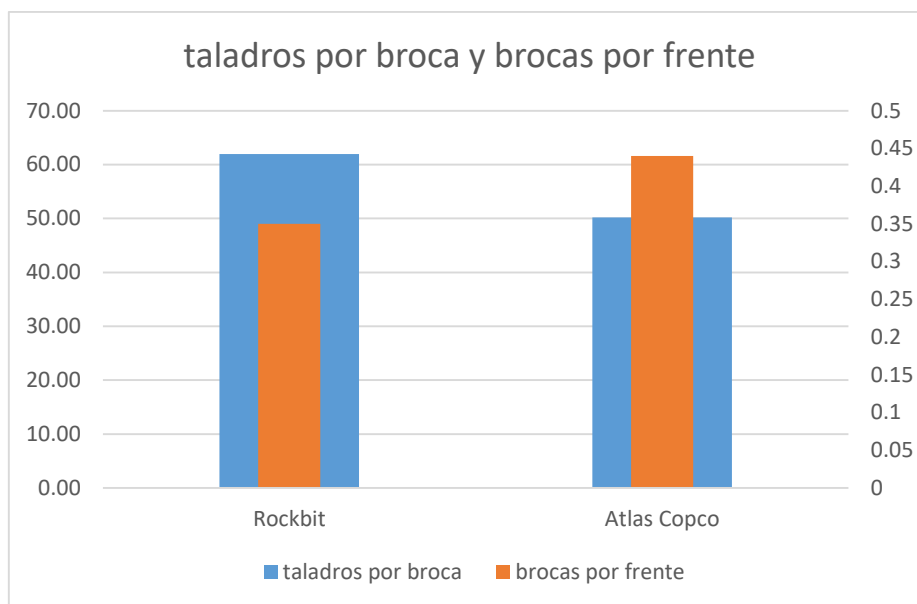


Figura 12 — Número de taladros por broca, Número de brocas por frente

Análisis de consumo de brocas en Mina:

Se realizó una prueba de uso con cada broca en un lapso de 10 brocas para determinar la eficiencia de cada uno.

Consumo teórico

Consumo de brocas Atlas Copco:

Consumo de brocas = 10 disparos x 0,44 brocas/disparo

*Consumo de **brocas** = 4,4 ~ 5 brocas*

Consumo de brocas Rock bit:

*Consumo de **brocas** = 10 disparos x 0,35 brocas/disparo*

*Consumo de **brocas** = 3,5 ~ 4 brocas*

En la recolección de datos se tuvo lo siguiente:

Tabla 17 — Consumo real de brocas en 10 unidades

Tipo de broca	Consumo real de brocas en 10 disparos
Atlas Copco	5
Rockbit	4

Se puede ver que el cálculo teórico concuerda con el consumo real en mina, dando como resultado que se consume una broca menos usando la marca Rock bit.

5.4.5 Cálculos para incremento de la producción.

Avance lineal de broca Rock bit Ecuación 5.19

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = \text{Avance lineal por disparo} * \text{frentes por broca}$$

$$\text{Frente por broca} = (61,83 \text{ tal/broca}) / (22 \text{ tal/frente}) = 2,81 \text{ frentes/broca}$$

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = \text{Long. barreno} * \text{Eff. perf.} * \text{Eff. disparo} * \text{frentes por broca}$$

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = 1,83 \frac{m}{frente} * 0,9 * 0,9 * 2,81 \text{ frentes/broca}$$

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = 4,16 \text{ m/broca}$$

Avance lineal de broca Atlas Copco Ecuación 5.19

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = \text{Avance lineal por disparo} * \text{frentes por broca}$$

$$\text{Frente por broca} = (50 \text{ tal/broca}) / (22 \text{ tal/frente}) = 2,27 \text{ frentes/broca}$$

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = \text{Long. barreno} * \text{Eff. perf.} * \text{Eff. disparo} * \text{frentes por broca}$$

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = 1,83 \text{ m} * 0,9 * 0,9 * 2,27 \text{ frentes/broca}$$

$$\text{Avance lineal}/_{broca} = 3,36 \text{ m/broca}$$

Tonelaje extraído en mina:

Considerando los siguientes parámetros:

- Avance por disparo : 1,48 m

- Ancho de labor : 1,80 m
- Altura de labor : 2,00 m
- Densidad de mineral : 2,30 tn/ m³

Tonelaje por disparo:

$$\text{Tonelaje} / \text{disparo} = \text{Volumen por Disparo} * \text{Densidad de mineral}$$

...Ecuación 5.20

$$\text{Tonelaje} / \text{disparo} = 1,48\text{m} * 1,80\text{ m} * 2,00\text{ m} * 2,30\text{ tn} / \text{m}^3$$

$$\text{Tonelaje} / \text{disparo} = 12,25\text{ tn} / \text{disparo}$$

Calculamos el tonelaje disparado por metro lineal avanzado:

$$\text{Tonelaje} / \text{m. lineal avanzado} = \frac{\text{Tonelaje} / \text{disparo}}{\text{Avance por disparo}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5.21}$$

$$\text{Tonelaje} / \text{m. lineal avanzado} = \frac{12,25}{1,48}$$

$$\text{Tonelaje} / \text{m. lineal avanzado} = 8,28\text{ tn} / \text{m. lineal}$$

Rendimiento de brocas:

Broca Rock bit:

Ecuación 5.22:

$$\text{Rendimiento} / \text{broca} = \text{Avance lineal} / \text{broca} * \text{Tonelaje} / \text{m. lineal avanzado}$$

$$\text{Rendimiento} / \text{broca} = 4,16\text{ m. lineales} / \text{broca} * 8,28\text{ tn} / \text{m. lineal}$$

$$\text{Rendimiento} / \text{broca} = 34,44\text{ t/}$$

Broca Atlas Copco:

Ecuación 5.22:

$$\text{Rendimiento} / \text{broca} = \text{Avance lineal} / \text{broca} * \text{Tonelaje} / \text{m. lineal avanzado}$$

$$\text{Rendimiento} / \text{broca} = 3,36\text{ m. lineales} / \text{broca} * 8,28\text{ tn} / \text{m. lineal}$$

$$\text{Rendimiento} / \text{broca} = 27,82\text{ t/broca}$$

Entonces en base al cálculo anterior se dice que la broca Rock bit tiene un mayor rendimiento, teniendo un total 6,62 toneladas más de rendimiento de avance lineal por disparo.

5.4.6 Elección de broca

Según los datos recogidos de las pruebas realizadas en mina, se ve que las brocas de marca Rock bit son más eficientes que las Atlas Copco. Por ello se recomendó realizar el cambio de brocas.

5.5 Optimización de uso de brocas mediante afilado

Como se muestra en los cuadros anteriores, las brocas tienen una vida aproximada de 262,21 pies sin antes de realizar una optimización en su uso. Esta se puede optimizar mediante el afilado de brocas. El afilado de brocas es un factor importante para alargar la vida útil de la broca, evitando la fatiga prematura, el afilado de las brocas de botones se realiza cuando disminuye la velocidad de penetración en un promedio considerable o cuando el carburo cementado muestra daños o quiebres por el efecto de la fatiga. El afilado nos alarga la vida útil de broca en un porcentaje considerable. Para ello se usa un afilador de brocas en la unidad minera. Actualmente la mina cuenta con un equipo para afilar las brocas, la cual puede prolongar la vida de una broca. Las brocas tendrán un total de 5 afiladas, y a diferencia de antes ahora no se permitirá que se desgaste completamente antes de realizar el afilado.

Según datos recabados en mina:

- Se realiza el primer afilado después de haber completado un total de 20 taladros perforados
- El segundo afilado después de 15 taladros perforados
- El tercer afilado después de 15 taladros perforados
- El cuarto afilado después de 10 taladros perforados
- El quinto afilado después de 10 taladros perforados

Tabla 18 — Análisis de brocas de botones de 38 mm

ANALISIS DE BROCAS DE BOTONOS DE 38 mm		
BROCA DE BOTONES	TALADROS PERF.	TIPO DE ROCA
broca nueva	22	dura
broca afilada primera vez	15	dura
broca afilada segunda vez	13	dura
broca afilada tercera vez	10	dura
broca afilada cuarta vez	10	dura
broca afilada quinta vez	5	dura
N° DE TALADROS	75	dura

Total, de taladros : 75

Metros perforados

Metros perforados = Total taladros * Long. taladro Ecuación 5.26

Metros perforados = total taladros * long talad * eficiencia perf.

*Metros perforados = 75 tal * 1,65 m*

Metros perforados = 123,75 m

Eficiencia en base a vida útil teórica de broca:

$$Eficiencia = \frac{Metros\ perforados\ opt.(m)*100}{vida\ útil\ teórica\ (m)} \quad Ecuación\ 5.27$$

$$Eficiencia = \frac{123,75\ m * 100}{121,92\ m}$$

$$Eficiencia = 101,5\%$$

La efectividad que tiene es de: 1,5%

De acuerdo a la vida útil estándar, y con 75 taladros se alcanza una eficiencia del 1,5%, quiere decir que con el afilado en un proceso estratégico se logra superar la vida útil de la broca por el número de taladros, mejorando su rendimiento siendo más en un 1,5%.

5.6 Discusión

Es muy importante la adecuada selección de los aceros de perforación y el tipo de trabajos de perforación a realizar, en nuestro caso la reducción del consumo de brocas de perforación está mencionadas en la siguiente tabla.

Tabla 19 — Consumo real de brocas en Atlas Copco y Rock bit

Tipo de broca	Consumo real de brocas en 10 disparos
Atlas Copco	5
Rock bit	4

Se puede ver que el cálculo teórico concuerda con el consumo real en mina, dando como resultado que se consume una broca menos usando la marca Rockbit. En relación de broca Atlas Copco.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados con las nuevas brocas y antigua (Sandvik) se observa una notable diferencia en el mejoramiento de perforación, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 20 — Longitud perforada por broca Atlas y Rock bit

N° de muestra	Long. Promedio perforado por broca (metros)	Long. Promedio perforado por broca (pies)
Sandvik (Uso actual)	79,92	262,21
Propuesta 1 (Rock bit)	102,03	334,75
Propuesta 2 (Atlas Copco)	82,63	271,09

En la siguiente barra de gráfico se muestra la eficiencia y el mejoramiento de perforación de las brocas, que nos muestra un resultado y una eficiencia de perforación la broca Rock bit en comparación con la marca Sandvik y Atlas Copco.

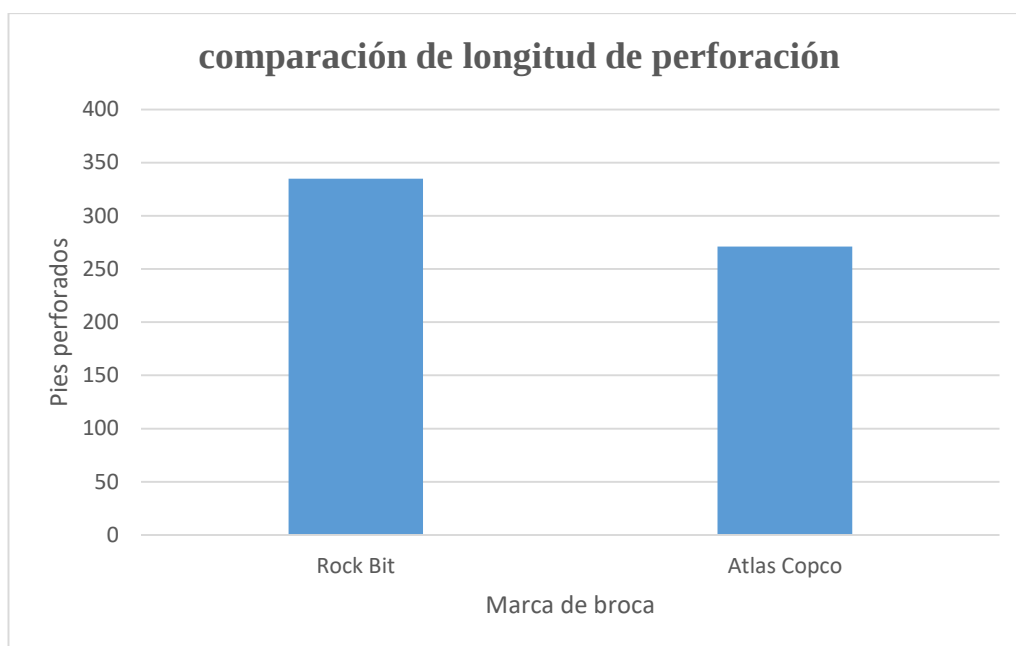


Figura 13 — Long. Promedio perforado por broca (pies)

El rendimiento de las brocas refleja un mayor incremento de producción, estos resultados se ven a continuación.

Rendimiento de brocas:

Broca Rock bit:

Ecuación 5.22:

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = \text{Avance lineal}/\text{broca} * \text{Tonelaje}/\text{m. lineal avanzado}$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = 4,16 \text{ m. lineales}/\text{broca} * 8,28 \text{ tn}/\text{m. lineal}$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = 34,44 \text{ tn}/\text{broca}$$

Broca Atlas Copco:

Ecuación 5.22:

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = \text{Avance lineal}/\text{broca} * \text{Tonelaje}/\text{m. lineal avanzado}$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = 3,36 \text{ m. lineales}/\text{broca} * 8,28 \text{ tn}/\text{m. lineal}$$

$$\text{Rendimiento}/\text{broca} = 27,82 \text{ tn/broca}$$

En base a los cálculos anteriores podemos decir que la broca Rock bit tiene un mayor incremento de producción y rendimiento, teniendo un total 6,62 toneladas más de rendimiento de avance lineal por disparo, que la broca Atlas Copco.

La optimización del consumo de las brocas se inicia desde la selección de marca de las brocas, la broca Rock bit tiene un costo de \$ 21,00, la broca Atlas Copco tiene un costo de \$ 30,36, así mismo también se puede observar que tiene un consumo menor de brocas en la marca Rock bit, en temas de producción también refleja la eficiencia y la optimización de la broca Rock bit, de tal forma se puede optimizar mediante el afilado de brocas el 1,5%

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La optimización de las brocas de perforación en el crucero 746 ha reduciendo los costos operativos en la mina Coriloma - Apurímac – 2019, se tiene costo por metro perforado para broca Rockbit de 0,206 \$/m, para broca Atlas Copco de 0,367 \$/m. esto quiere decir se ha optimizado en 0,161 \$/m perforado utilizando la broca Rockbit

Se mejoró la perforación en el crucero 746 con la optimización de las brocas de perforación, en función a la longitud perforada y la vida útil de las brocas, se tiene para la broca Atlas Copco 271,09 pies, para la broca Rockbit es de 334,75. Llegando a mejorar la vida útil y longitud de perforación en 63,66 pies de más para broca Rockbit. Así mismo con el afilado de brocas se llega a mejorar en 1,5 % más de su vida útil.

El consumo de brocas en el crucero 746 se ha reducido considerablemente tal como se ha demostrado en este trabajo de investigación para la broca Rockbit se tiene una reducción de 0,35 brocas/frente, así mismo para la broca Atlas Copco se tiene 0,44 brocas/frente. Esto quiere decir, se ha reducido en 0,09 brocas/frente menos para la broca Rockbit.

Se incrementó la producción en el crucero 746 de la mina Coriloma. Siendo un avance lineal para la broca Atlas Copco de 3,36 m/broca y obteniendo un rendimiento de producción de 27,82 tn/broca. así mismo el avance lineal para la broca Rockbit es de 4,16 m/broca y obteniendo un rendimiento de 34,44 tn/broca. siendo mucho más eficiente en relación de avance lineal de 0,8 m/broca y producción de 6,62 tn/broca la broca Rockbit.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda el uso de las brocas de la marca Rockbit, para todas operaciones de perforación en la mina Coriloma.

Para mantener un nivel bajo en consumo de las brocas de perforación se recomienda controlar la operatividad y maniobrabilidad de los equipos de perforación y capacitando periódicamente al personal de perforación.

Se recomienda tener en consideración el diseño de la malla de perforación adecuada y se procure reducir el número de taladros por frente

Se recomienda para mantener reducidos los costos operativos tener una constante evaluación de las brocas de perforación y su comportamiento en cada tipo de roca. Así mismo se recomienda también el afilado adecuado de las brocas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALICANTE. glosarios.servidor, 28 de Diciembre de 2013. [Citado el: 19 de Octubre de 2019.] <https://glosarios.servidor-alicante.com/mineria/broca.2013>.

ALTAMIRANO CUEVA, Hilder Manuel y SANTAMARIA VALENCIA, Orlando Manuel. “Optimización Del Costo De Perforación Para Aceros Dth En La Mina Modelo A Tajo Abierto, Huamachuco, 2018”.

APARCO HUILLCAS, Adrian y GARCIA DE LA CRUZ, Jenner Anderson. 2019. Optimización de la vida útil de los aceros de perforación para la reducción de costos en mina san vicente – cia. San ignacio de morococha s.a.a.año 2018.

BERNAOLA ALONSO, José, CASTILLA GÓMEZ, Jorge y HERRERA HERBERT, Juan. Perforación Y Voladura De Rocas En Minería 2013.

CAGUANA GUTIERREZ, Andres Fernando, TENORIO TUPACYUPANQUI, Manuel Patricio. Optimizacion de los Parametros de Perforacion y Voladura en al Cantera Las Victorias 2013.

CAMARENA COSME, Danni Alfredo. Optimizacion de las brocas de 38,45mm y del sistema de perforacion, con fines de disminuir costos en la uea semiglo de la empresa minera atacocha s.a., 2012.

CAMIPER. Voladura y perforación minera: aquí todos sus esquemas 2019.

RAMOS RAMOS, Jorge Luis. Estado de arte de las brocas de perforación. 2011.

BEOM KWON, Ki, y otros. Evaluation of drilling Efficiency by percussion tenting og drill Bit with new button arrangement. 2014.

FERRER. Perforación a Rotación – Rotopercusión 2020.

GAMARRA CACERES, Alex Rolf. Optimización de las brocas de botón de 45 MM* R32 para minimizar los costos de perforación en la Compañía Minera Milpo S.A.A. UEA El Porvenir 2011.

GEOLOGIAWEB. Macizo rocoso, matriz rocosa y discontinuidades. Descripción y caracterización de macizos rocosos 2018.



GERENS. Costos y finanzas para empresas mineras 2019.

GUAMÁN PELÁEZ, Marco Vinicio. Optimización de los procesos de perforación y voladura en el túnel Fase A-B de interconexión del proyecto Sopladora 2016.

INACAP. Aceros de perforacion 2015.

ISEM. Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros 2017.

ISEM. Clasificación geomecánica de roca en minería subterránea 2020.

JESUSCH. Costos mineros 2014.

LOPEZ GIMENO, Carlos. Manual de Perforacion, Explosivos y Voladuras. Minería y Obras Públicas. Lima. 2017.

MALLMA PEREZ, Israel Jimmy. Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristobal de Minera Bateas Sac 2013.

MAMANI NEYRA, Irving Rony. "Análisis y optimización de costos de perforación y voladura en la construcción del canal san antonio de miña" 2016.

NEOATTACK. Concepto de Optimizar 2019.

ORCÓN CUEVA, Alfredo. Las brocas de Botón 45 mm*R32 para la perforación en el Consorcio Minero Horizonte Parcoy -La libertad. Universidad Nacional del Centro, Huancayo-Perú : 2014.

PERSPECTIVAGEM. Optimización En Minería 2015.

RIQUELME MATIAS. Diferencia entre costos directos e indirectos 2017.

SALAS HURTADO, Luis Alberto. Estudio de KPIs en en los Equipos de Perforacion cargui y acarreo para el incremento de produccion de 3000 a 3600 TN/Dia. 2013.

SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA Y PETROLEO. sociedad nacional de mineria y petroleo, 2020.



TAISHAN. Brocas de botones roscadas 2012.

UMAÑA TANCALLO, Edgard Isidro. Reducción y optimización de costos operativos en perforación y voladura Minera Yanaquihua S.A.C. E.E.: 2014.

URQUIZO APAZA, Hugo Edgar. Análisis de consumo de Barrenos y Brocas en la Corporacion Minera Ananea S.A. Puno-Perú. 2019.



ANEXOS



ANEXO I MATRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de consistencia				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión
Problema general ¿Cómo las optimizaciones de brocas de perforación reducirán los costos operativos en el crucero 746, de la Mina Coriloma? – Apurímac - 2019?	Objetivo general Determinar la optimización de las brocas de perforación en el crucero 746, para reducir los costos operativos en la Mina Coriloma – Apurímac - 2019	Hipótesis general Se optimizará las brocas de perforación en el crucero 746, reducirá los costos operativos en la Mina Coriloma. – Apurímac – 2019.	Variable independiente Optimización de las brocas de perforación.	Mejor desempeño de las brocas
Problemas específicos ¿Cómo se mejorará el ciclo de perforación en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma? – Apurímac - 2019? ¿En qué medida se reducirá el consumo de las brocas en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma – Apurímac - 2019? ¿De qué manera se incrementará la producción en el crucero 746, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma? – Apurímac - 2019?	Objetivos específicos Identificar el mejoramiento en el ciclo de perforación en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019 Calcular la reducción del consumo de las brocas en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019 Identificar el incremento la producción con la optimización en el crucero 746, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019	Hipótesis específicas Se mejora el ciclo de perforación en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019 Se reduce el consumo de las brocas en el crucero 746, con la optimización de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019 Se incrementa la producción con la optimización en el crucero 746, de las brocas de perforación en la Mina Coriloma. – Apurímac - 2019	Variable dependiente Reducción de los costos operativos	Ciclo de perforación Consumo de las brocas Incremento la producción