

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**ANÁLISIS DEL CONSUMO DE BARRENOS Y BROCAS EN
CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

HUGO EDGAR URQUIZO APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**ANÁLISIS DEL CONSUMO DE BARRENOS Y BROCAS EN CORPORACIÓN
MINERA ANANEA S.A.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

HUGO EDGAR URQUIZO APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

.....
D.Sc. JORGE GABRIEL DURANT BRODEN

PRIMER MIEMBRO

:

.....
Ing. JUAN CARLOS CHAYÑA CONTRERAS

SEGUNDO MIEMBRO

:

.....
Ing. GABRIELA MISTRAL RIVEROS MENDOZA

TEMA: Análisis de costos mineros y comercialización de minerales

AREA: Ingeniería de minas

FECHA DE SUSTENTACION: 07 DE NOVIEMBRE DE 2019

Análisis del consumo de barrenos y brocas en corporación minera Ananea S.A.

Analysis of drill and drill consumption at corporación minera Ananea S.A.

Bach. Hugo Edgar Urquiza Apaza

Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

hugourquiza94@gmail.com, 955366230

RESUMEN

Este artículo científico tiene la finalidad de buscar e identificar los factores más importantes, relacionados con el consumo de barrenos y brocas, contrastando en un análisis basado de estudios en relación al desgaste y rendimiento del barreno y la broca. El lugar referido, Corporación Minera Ananea S.A. (Minería subterránea), estudio realizado durante el 2013. 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.

Palabras clave: Afilado de la broca; rendimiento; vida útil; perforación.

ABSTRACT

This scientific article has the purpose of searching and identifying the most important factors, related to the consumption of holes and drills, contrasting in an analysis based on studies in relation to wear and performance of the hole and the drill. The referred place, Corporación Minera Ananea S.A. (Underground mining), a study carried out during 2013. The objective was to analyze the factors of the useful life of the hole and the drill in underground mining. Likewise, the method that was used is the descriptive and statistical one, the materials used in information gathering are the observation and control sheet. On the results found it is verified that the drill and the drill mainly had an average yield; first case, in 77 meters/drill which represents the optimized 42.5%, second case, in 95 meters/drill being 24% in performance effectiveness on average with the sharpening of

drills in its useful life. Concluding, that the most prominent factors that mainly represent the performance of the drill, is the sharpening of the same since its implementation and an appropriate program increases in the performance of the useful life of the drill and the drill, as part of the improvement and maximization; it is also worth mentioning the hardness of the rock, air pressure, sweep of detritus, logistics and training of personnel that somehow influence as significant factors. In addition, it directly affects the direct costs of the company, where it had an important optimization due to the number of holes and drills, used in drilling.

Keywords: Drill bit sharpening; performance; useful life; drilling.

1. INTRODUCCION

En cualquier operación unitaria en minería subterránea es imprescindible tener en cuenta el desgaste o rotura de barrenos y brocas durante una perforación regular, y es aquí donde se ve el rendimiento de la vida útil del barreno y la broca, en Corporación Minera Ananea S.A., en la actualidad se realiza la explotación de recursos minerales auríferos por el método convencional de cámaras y pilares, en las labores en la cual se trabaja se presentan diferentes tipos de roca, en mayoría son perforaciones que se realizan en roca pizarra el cual pertenece a un tipo de roca suave, a la vez, también se realiza perforaciones en roca cuarcita que pertenece a un tipo de roca dura. En los últimos meses se tuvo un aumento en el consumo de barrenos y brocas, siendo un aumento más significativo en brocas y generando un costo resaltante para la empresa.

El estudio está basado principalmente en varias "Tesis" y artículos de investigación, en especial se tomó como referencia la tesis titulado: Las brocas de botón de 45 mm * R32 para la perforación en Consorcio Minero Horizonte S.A., Parcoy - La Libertad del autor (Orcon-Cueva, 2014) en su gran mayoría de estos trabajos de investigación los barrenos y brocas no cumplen con el rendimiento de su vida útil, y por ende necesariamente repercute

en los costos directos de cualquier empresa minera, siendo el barreno y la broca un material muy importante para la perforación.

El problema sobre la vida útil de las brocas según, Orcon-Cueva (2014) dice al respecto *“Resalta por el elevado consumo de aceros de perforación debido a la rotura de las brocas de botones 45mm * R32 que se van rompiendo por la presencias de fallas, discontinuidades en el área a perforar e inadecuados tratamientos que se le da a dichos aceros de perforación”*.

Otros problemas primordiales son la perforación de taladros de 14 pies para frentes y breasting y de los taladros de 8 pies para sostenimiento no se dan correctamente afectando así la columna de perforación y dando como resultado la desviación de los taladros. No definir exactamente la vida útil, no determinar el tiempo de afilado correcto, y no definir la rotación de las brocas cuando se están perforando; en pocas palabras, no ciclar las brocas nuevas por las brocas usadas. Nos dará mayor ventaja para minimizar el consumo de aceros (Brocas de botón de 45mm * R32) (Orcon-Cueva, 2014).

En tal sentido Camarena-Cosme (2012) señala que, *“Tenemos un excesivo consumo de accesorios de perforación el cual refleja el bajo rendimiento que tenían sus brocas y otros aceros con respecto a otras unidades mineras con el*

mismo tipo de roca, para ello empezamos a trabajar en la habilitación de un taller de afilado de brocas para brindar un correcto mantenimiento de los mismos. A esto se suma el mal procedimiento de algunos operadores jumberos en la perforación en sí, el enfoque principal de la identificación del problema es el mal uso y mantenimiento de los accesorios de perforación (Afilado de brocas) ya que en el momento que el pistón de la perforadora impacta con el shank se crea una onda de choque con una fuerza de 50 toneladas que se transmite por la columna de perforación con una velocidad de 5140 m/s y esta genera una fuerza de compresión de la broca contra la roca y si dicha broca no está afilada esa fuerza retorna casi con la mitad de la intensidad fatigando así a toda la columna de perforación y produciéndose las rupturas prematuras”.

La necesidad de tener costos no mayores a los del precio unitario de las operaciones unitarias de perforación y voladura y así tener una mayor utilidad por metro de avance. El costo de perforación de una labor típica de sección 4.5 x 4.2 con un RMR entre 30 - 40 (BP2434) es de 162.5 \$/m pero en el Precio Unitario es de 158.7 \$/m teniendo así un costo de perforación por encima del precio unitario ocasionándonos pérdida de 3.8 \$/m en perforación. La causa de este elevado costo es que no se ha estado realizando en mantenimiento de brocas de 45 mm y rimadoras de 102 mm, siendo la vida útil de estos aceros de 200 m perforados pero en la realidad se perforan 181 m promedio esto por no realizar un afilado constante y proporcionar para la perforación brocas nuevas cada guardia (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

De la misma forma Gamarra-Caceres (2011) señala “*La presencia de fallas, discontinuidades, y no definir exactamente la vida útil de las brocas*

por el tipo de terreno donde se perfora el cual eleva el costo de perforación y por consiguiente incrementa el costo de producción actual en las operaciones mineras. Necesario hacer estudios en otras minas, con los aceros que se cuentan y con los equipos de perforación y también con el talento humano”.

Con los estudios del efecto fatiga o limite fatiga de los aceros vamos predecir el rompimiento de dichos aceros (Número de ciclos de perforaciones versus el esfuerzo que realizan las brocas al ser penetradas en la roca). Conociendo estas técnicas vamos evitar el stress y la rotura prematura, con lo que obtendremos mejorar la vida útil, incorporaremos un cuadro de fallas de rotura de la brocas (Causas de la roturas) (Orcon-Cueva, 2014).

En la tesis titulada: Las brocas de botón de 45 mm * R32 para perforación en Consorcio Minero Horizonte S.A., Parcoy - la Libertad, el autor llega a las siguientes conclusiones: Primero, para mejorar los rendimientos y eficiencias de los aceros de perforación en cualquier frente de perforación es recomendable, determinar su tiempo de afilado como también determinar el cambio oportuno del acero para no utilizar su rendimiento al 100% de la vida útil del acero, es importante determinar el tipo de terreno donde se trabaja por que para cada tipo de roca el número de perforaciones de brocas es diferente y los tipos de accesorios de perforación. Segundo, para mejorar el consumo de aceros de perforación es recomendable el cuidado y uso adecuado de la energía de perforación, con un mantenimiento adecuado de los equipos de perforación de los jumbos Axeras de dos brazos, regular la presión de rotación, presión de percusión, presión de avance. Tercero, muchas empresas realizan compras de materiales para diferente uso basándose en el costo de adquisición inicial y no evalúan la productividad que esta pueda

brindarle en las operaciones en las que son empleados. Cuarto, para cada equipo de perforación y/o labor se determina la cantidad de accesorios de perforación, por guardia de perforación, por día, por semana y/o mes, la eficiencia de un accesorio debe ser medido en cada una de las operaciones que interviene, haciendo seguimiento, pruebas y cuantificaciones, se logran beneficios que proyectados a largo plazo no dan grandes dividendos, para el caso del presente trabajo se evaluaron: - Velocidad de perforación, - Vida útil de los accesorios, - Tiempo de utilización del equipo, - Costo de perforación, - Costo horario del equipo de perforación (Orcon-Cueva, 2014).

Por otro lado, en la tesis titulada: Optimización de las brocas de 38,45 mm y del sistema de perforación, con fines de disminuir costos en la UEA Semiglo de la Empresa Minera Atacocha S.A. destacan las siguientes conclusiones: Primero, evitar la mezcla de las diferentes marcas de aceros de perforación como son Atlas, Sandvik y otros ya que como consecuencia nos da rendimiento de aceros de perforación variables. Segundo, trabajar con un buen sistema de barrido para evitar el atascamiento de las brocas y con presiones reguladas para no tener problemas de emboquillado roturas de barra. Tercero, se incrementó el rendimiento de las brocas y de los accesorios de perforación. Durante la evaluación, para el rendimiento obtenido del accesorio de perforación (Brocas) estas fueron afiladas para llegar a su rendimiento óptimo y disminución de costos. Cuarto, el mejoramiento continuo del sistema de perforación es el resultado del control, afilado, capacitación y pruebas de campo para así brindar una solución rápida y eficaz en la optimización de los aceros de perforación y el sistema de perforación en sí (Camarena-Cosme, 2012).

Además, tesis que se titula: 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. Tiene las siguientes conclusiones: Primero, para mejorar los rendimientos y eficiencias de los aceros de perforación en cualquier frente de perforación es recomendable, determinar su tiempo de afilado como también determinar el cambio oportuno del acero para no utilizar su rendimiento al 100% de la vida útil del acero, es importante determinar el tipo de terreno donde se trabaja por que para cada tipo de roca el número de perforaciones de brocas es diferente y los tipos de accesorios de perforación. Segundo, para mejorar el consumo de aceros de perforación es recomendable el cuidado y uso adecuado de la energía de perforación, con un mantenimiento adecuado de los equipos de perforación de los jumbos Axeras de dos brazos, regular la presión de rotación, presión de percusión, presión de avance. Tercero, muchas empresas realizan compras de materiales para diferente uso basándose en el costo de adquisición inicial y no evalúan la productividad que esta pueda brindarle en las operaciones en las que son empleados. Cuarto, para cada equipo de perforación y/o labor se determina la cantidad de accesorios de perforación, por guardia de perforación, por día, por semana y/o mes, la eficiencia de un accesorio debe ser medido en cada una de las operaciones que interviene, haciendo seguimiento, pruebas y cuantificaciones, se logran beneficios que proyectados a largo plazo no dan grandes dividendos, para el caso del presente trabajo se evaluaron: Velocidad de perforación. Vida útil de los accesorios. Tiempo de utilización del equipo. Costo de perforación. Costo horario del equipo de perforación. Quinto, los costos de mina en CIA Milpo UEA El Porvenir rodean los 8.87 \$/tn el

cual con el trabajo reducimos el costo unitario de perforación con relación al consumos de brocas de botón de 45 mm * R32 de 0.15 \$/m a 0.14 \$/m, haciendo una comparación del año 2010 con el año 2011 el consumo de brocas se redujo en 174 piezas que viene hacer el 9.8% del consumo de 1,769 piezas del 2010, en conclusión con el trabajo llegamos al objetivo de reducir los costos de perforación con relación a la broca por el cual también se va reducir los costos unitarios de perforación con relación a las barras y shanes; para minimizar los costos de producción es recomendable utilizar el rastreo de costos en perforación y voladura y utilizar parámetros de KPIs. Sexto, el análisis de la prueba comparativa de aceros de perforación realizada en el Porvenir nos demuestran que en reducción de costos se debe tener en cuenta los soportes de procesos tales como: características, cantidad y calidad de cada uno de los recursos que intervienen en los procesos unitarios. Séptimo, cuando hablamos de costo de perforación debemos identificar qué tipo de costo estamos hablando, es el costo directo variable para reducir los costos de perforación debemos utilizar los kPIs, el rastreo de costo identificar las variables, para poder controlar y minimizar los costos de perforación. La innovación y el mejoramiento continuo debe ser la visión de cada empresa y cada profesional, es por eso que se recomienda conocer y tener información y características técnicas de toda la logística con la que podemos contar para hacer cada vez más eficiente nuestras operaciones unitarias (Gamarra-Caceres, 2011).

Así mismo en la tesis que se titula: Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45 mm, rimadoras de 102 mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la Empresa CONMICIV S.A.C. en CMH S.A.

destacan las siguientes conclusiones: Primero, se consiguió aumentar el rendimiento de broca de 45mm Sandvick en la perforación con jumbos en 42.5%, es decir de 181 m/broca que se tenía inicialmente, se alcanzó un rendimiento de 258 m/broca, alcanzando un 29% más de su vida útil (200m/broca). Segundo, se consiguió aumentar el rendimiento de rimadora de 102 mm Sandvick en la perforación con jumbos en 53%, es decir de 172 m/rimadora que se tenía inicialmente, se alcanzó un rendimiento de 263 m/broca, alcanzando un 31.5% más de su vida útil (200 m/broca). Tercero, se estableció como herramienta de control, un formato de reporte para el consumo de brocas de 45 mm, para poder hacer un seguimiento más detallado (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

Así mismo Chirinos-Andía (2015) Señala *“La duración de los aceros de perforación depende de numerosos factores, por lo que, no pueden darse cifras exactas. Al determinar la vida práctica en servicio en un lugar de trabajo determinado, hay que tener en cuenta la fiabilidad de funcionamiento y la seguridad, lo que implica que hay que reemplazar los útiles de perforación antes de que se rompan y perturben la producción. La vida útil de un acero de perforación, es el tiempo en el cual la herramienta puede operar con eficiencia, es dada por el fabricante y depende del material con el que ha sido elaborada. El desgaste de los aceros de perforación es un proceso en el que se reduce la vida útil, debido al tipo de herramienta (Configuración), a la roca y los esfuerzos aplicados sobre ellos”*.

Por otro lado, la tesis titulada: Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristóbal de Minera Bateas S.A.C., Destacan las siguientes conclusiones: Primero, los aceros de perforación no van separadas de la operatividad de los equipos, una es

complementaria a la otra debido a ello su importancia para obtener una vida útil óptima. Segundo, la utilización de las brocas y aceros de perforación tomando en cuenta las recomendaciones que se da para cada zona de la mina y de acuerdo a los procedimientos escritos para la utilización de estas, así como la dimensión de la broca a utilizar, las presiones de aire y el tiempo a la que debe de realizarse el afilado permitió mejorar la vida útil de los aceros de perforación y se redujo los costos de los mismos. Tercero, una adecuada supervisión con hojas de control de equipo y de aceros de perforación, y la capacitación in situ de los operadores y ayudantes para la operatividad adecuada de los equipos de perforación permitió alcanzar la optimización del uso de los aceros de perforación (Mallma-Perez, 2013).

Además, en la siguiente tesis que lleva por título: Mejoramiento de plan de minado para la optimización de producción en la Contrata Minera Wilsander de la Corporación Minera Ananea S.A., Destacan las siguientes conclusiones: Primero, se mejoró el plan de minado en la Contrata Minera Wilsander, mediante la determinación de la calidad del macizo rocoso, donde se obtiene el índice Q de Barton ($Q = 2,15$), calidad media tendiente a una calidad buena de acuerdo no requiere soporte. Fue determinante las pruebas de laboratorio que se realizó para caracterizar el tipo de roca en cada uno de sus frentes de explotación. Donde el avance lineal por disparo se obtenía 1 m por disparo al emplear barreno de 4 pies, a partir de enero 2015 la Contrata Minera Wilsander, obtiene 1,30 m por disparo aplicando un barreno de 5 pies. Segundo, se determinó las características de las discontinuidades en los frentes; Boa, Frente N, San Antón I y II. De la Contrata Minera Wilsander, en donde el RQD = 72%, la calidad de la roca es de media y el RMR se obtuvo 51%

indicando el tipo de roca III (Huchamaco-Alanoca, 2018).

Por otro lado, en la tesis que se titula: Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, destacan las siguientes conclusiones: Primero, se tiene un ahorro de 25 410 \$ al año por consumo de brocas debido a un adecuado mantenimiento y afilado de estos aceros de perforación, ya que incrementa la vida útil por broca en un 20%. Segundo, los principales factores de éxito para concretar la optimización de los estándares de perforación y voladura y en general del ciclo de minado, son el Seguimiento y control operativo y capacitación y creación de la conciencia. Tercero, la capacitación y creación de conciencia de los trabajos en los temas de optimización de la perforación y voladura debe darse de manera constante, fomentando la comunicación entre todos los niveles de la organización, propiciando ideas novedosas que mejoren los procedimientos de trabajo (Jáuregui-Aquino, 2009).

Así mismo Aristizabal, Rojas, Vargas, Felipe-Díaz y Ageorges (2013) señalan *“Con el fin de reducir el efecto del desgaste de la broca sobre los resultados obtenidos, se venía utilizando una broca nueva para cada ensayo, no obstante, dada la cantidad de brocas que se tenían que desechar después de cada ensayo, se decidió estudiar el efecto del afilado de la broca, realizado con un afilador de brocas Doctor Drill 750X, sobre la resistencia a la perforación de estos recubrimientos, con el fin de determinar si los resultados varían con la cantidad de re afilados y proporcionar resultados que propicien el uso repetido de las brocas y así ahorrar costos y contribuir con el medio ambiente.”*

Así mismo en la tesis que se titula: Mejora de procesos de Minera San Rafael S.A. Destaca la siguiente conclusión: Primero, el sistema de control de aceros fue implementado debido a que se detecta una deficiencia en el manejo y control de los aceros en la perforación, la implementación de este sistema requiere tiempo y esfuerzo ya que requiere de la colaboración y adaptabilidad del personal operativo, el apoyo de la supervisión y la colaboración en la solicitud de insumos y herramientas por parte de la gerencia. Los beneficios del sistema implementado en su totalidad fueron: el control del consumo de los aceros, reducción de tiempos de entrega, reducción de consumo de aceros, reducción de consumo de aceros de desperdicio, identificación de causas de falla de aceros, aumento del tiempo de vida de brocas por re afilado, entre otras. Este sistema requiere de seguimiento durante toda la operación para garantizar el control y funcionamiento del sistema y se puede demostrar mediante el indicador de eficiencia de voladuras que está ligado a este proceso que y el cual percibe una mejora de un 83.9% a un 95.4% (García-Alarcón, 2017).

En las documentaciones halladas, se tiene de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Título: Optimización de las brocas de 38,45 mm y del sistema de perforación, con fines de disminuir costos en la UEA semiglo de la empresa minera Atacocha S.A. Se constató un bajo rendimiento de los aceros de perforación, hallaron trabajando brocas sin recibir un respectivo afilado y/o mantenimiento, como causa fundamental de que las brocas de perforación no cumplen sus rendimientos reales, y no se llevaba un control de los aceros de perforación como barrenos, brocas, shanks y otros. El consumo de aceros de perforación se reduce hasta en un 30% cuando el taller se pone en actividad y los aceros (brocas) son afiladas, esto aumenta su vida útil y

por consiguiente su rendimiento de 800 pp. Hasta 1040 pp. Por broca de 45 mm y lo mismo con los demás accesorios de perforación reduciéndose los costos.

Sin embargo, de la Universidad Nacional de Trujillo. Título: Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45 mm, rimadoras de 102 mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la Empresa CONMICIV S.A.C en CMH S.A. se tiene un costo de perforación por encima del precio unitario ocasionando pérdidas de 3.8 \$/m en perforación. La causa del elevado costo, no se ha realizado mantenimiento de brocas de 45 mm y rimadoras de 102 mm, siendo la vida útil de estos aceros de 200 m perforados pero en la realidad se perforan 181 m promedio, esto sin realizar un afilado constante y proporcionar a la perforación brocas nuevas cada guardia. El rendimiento está por debajo de su vida útil, en junio se alcanzó 183 m/broca y en julio 178 m/broca alcanzo una eficiencia promedio mensual de 90%. En el mes de junio se pierde 3.5 \$/m y se realizó un avance de 414 m/mes, perdiendo al mes 1465 \$. En el mes de julio se pierde 4.06 \$/m con un avance de 481m/mes perdiendo al mes 1952 \$.

Por otro lado, de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Título: 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. Las perforaciones que se realizan son de 60 a 65 taladros con un avance efectivo de 4.5 metros en total del metraje acumulado es de 65 * 4.5 hacen un total de 270.0 a 292.5 metros de avance efectivo en cuestión, la vida útil de una broca es de 400 metros perforados, así en un frente con una broca nueva es posible perforar, pero sin olvidar el tipo de roca que presenta fallas y discontinuidades, que es

difícil de penetrar hay presencia de las cajas que son filitas del exelcior inferior con presencia de silisis. La broca de 45 de botones R32 * 45MM nueva no cumple con su vida útil. Para un tipo de roca dura versus la cantidad de afilado que se le da a la broca; se recomienda en la primera, segunda y tercera afilada deben perforar mayor cantidad de taladros en cambio en las tres últimas afiladas se debe disminuir progresivamente el número de taladros con una razón aritmética de 5 taladros, para evitar roturas en el umbral del efecto fatiga, en la cuarta afilada la broca entra al umbral del stress en el acero y tener cuidado en el número de perforaciones que realizamos, si controlamos bien el número de taladros evitaremos roturas prematuras.

En cuanto se refiere, de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Título: Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristóbal de Minera Bateas SAC. Se refiere a las condiciones que son importantes para el buen desarrollo sistemático, donde los equipos Jumbos no tienen sus guidores de barra en buen estado (desgastados hasta 40 mm con respecto al diámetro de la barra), provocan desviaciones en la perforación. Que deben tener una luz máxima permisible (5 mm) para así evitar acelerar la fatiga de la barra hexagonal más aún cuando la barra esta torneada. También, están los detalles mostrando lo perjudicial de utilizar barras torneadas, con ello únicamente se consigue aumentar el consumo de más brocas como barras y shank, por roturas prematuras. Es imprescindible implementar plantillas de brocas de botones a los perforistas y operadores de jumbos, señala Mallma. Esto contribuye a tener un mejor control del desgaste de los botones de las brocas R-32. El afilado es más fácil y más económico si los botones se afilan cuando en la zona desgastada equivale a 1/3 del diámetro del botón. Indudablemente tiene que ver

con el rendimiento de la broca y su vida útil. En ese sentido, cuando no se afila la broca, el cuerpo sometido a presiones mayores y desgastes severos, acaban su vida útil en corto tiempo. Por eso es sabido que una broca que no se afila oportunamente pierde entre 35% a 45% de su vida útil según estimaciones.

En tanto, de la Universidad Nacional del Altiplano. Título: Mejoramiento de plan de minado para la optimización de producción en la Contrata Minera Wilsander de la Corporación Minera ANANEA S. A. En la Operación teniendo una producción según los reportes del investigador es 1280 TM/mes, trabajándose por dejado de la producción óptima. Luego de proponerse la optimización en el año 2015 en 04 meses, de realizarse las pruebas con equipos de perforación de 5 pies, la producción del mineral aumento a 48,44 TM/día, y la producción mensual mejoró de forma significativa en 1285 TM/mes. Pero en general referidos al producto mineral pero mediante las pruebas de los equipos y aceros utilizados. La perforación técnicamente se realiza con barrenos de 4 pies y perforadoras Jack Leg modelo seco serie 250, brocas de 38 mm. (Atlas Copco). De otro lado, La presencia de tres familias principales de discontinuidades ortogonales entre sí es frecuente en los macizos rocosos sedimentarios; para el cual existe un mapeo geomecánico de RMR de Bieniawski 1989 que se utiliza tanto para fallas y juntas.

En otro estudio similar, de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Título: Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los Estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura. Se entiende que en el rubro de insumos por aceros de perforación resalta un incremento del costo de 0.11 USD/TM a 0.17 USD/TM debido principalmente a la componente aguzadora de copas que presento dícese

de la vida útil real 50 % de lo presupuestado que es parte de la operación. Es importante incidir en los costos unitarios que incluyen el costo por uso de equipos, depreciación de los equipos, energía, servicios auxiliares, mano de obra e insumos varios.

Así mismo, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Título: Mejora de procesos en minera San Rafael S.A. significa que el inconveniente que se detectó en el proceso es el gasto excesivo de brocas y que son desechadas con un desgaste mínimo, y el tiempo de espera de brocas o aceros que se tiene en el proceso hace necesario retrasos, para ello poder implementar un plan para la evaluación y afilado de las brocas es necesario para evitar atrasos ya que estos brazos quedan inhabilitado y tampoco se contaba con el repuesto de inmediato para poder reponer dicha broca haciendo que el tiempo completo en general de perforación tarde mucho más. Por eso que se plantea la realización de capacitación al personal para que se tenga definido el proceso y no se realice más de 15 minutos. Se entiende que el tiempo estándar del proceso 2:45:36, según cálculo de tiempo estándar para el caso, el tiempo muerto promedio del proceso 0:21:51 y el tiempo promedio de averías del equipo 0:53:27. Determinado según, análisis FODA aplicado en la empresa.

El consumo del barreno y la broca en la minería subterránea tiene relevancia porque incide en costos, además en el rendimiento de los aceros durante la perforación siendo un proceso sumamente importante. Quiere decir, que esta etapa es básica, donde realmente se puede ver la vida útil de la broca en trabajos de perforación, el consumo de aceros que corresponde al rendimiento del barreno y la broca, el desgaste y los factores que están presentes durante las acciones que se realizan para llevar a una mayor duración del barreno y la broca en

su uso y así disminuir el consumo, los costos y generar ahorros al respecto. Además se identificaron los factores que influyen en el rendimiento del barreno y la broca.

El objetivo planteado para el presente artículo es el siguiente: Analizar los factores de la vida útil del barreno y la broca en minería subterránea.

En tanto la hipótesis planteada es: La vida útil del barreno y la broca en minería subterránea se encuentra determinado por múltiples factores.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Referencia experimental

El lugar en referencia es, UEA Ana María, Corporación Minera Ananea S.A., ubicado en la región Puno, provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, Centro poblado de Lunar de Oro.

2.2. Metodología

El método que se utilizo es el Descriptivo y Estadístico, basado al "Método Científico", ya que mediante la interpretación de la data en información se analizarán hechos y sucesos en forma metódica y secuencial, las características de procesos de perforaciones subterráneas.

El Método Descriptivo, teniendo en cuenta el objeto de estudio, se describe las características en base a la observación de manera directa y se establece una lectura interpretativa según criterios establecidos, así validar la consistencia de la información obtenida.

El Método Estadístico, cuantitativamente se reflejan los datos en números que es sistematizada en un paquete estadístico estándar como el Excel, para obtener frecuencias, gráficos

y cuadros, y otros. De esta forma se pueden interpretar tales cifras.

2.3. Materiales

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

Utilizamos la técnica de observación, son la encuesta y la entrevista informal o espontánea con el fin de diagnosticar la misma.

Ficha de observación y control, con el cual se recogió los datos por turno de operación y operador. Queda detallada en el registro de la observación realizada y es recogida sistemáticamente para que sea objetiva. La ficha fue preestablecida en 07 ítems, en el que se hace el registro respectivo.

2.3.2. Técnicas de análisis de datos

Los datos son tratados estadísticamente en el programa Excel, mediante tablas de frecuencia y gráficos que se requiere para su análisis e interpretación, además de promedios, rangos y otros valores.

2.3.3. Ficha de observación y control

La ficha con el cual se trabajó, es un cuadro que consta de 07 columnas, el cual se detalla a continuación: la primera columna titulada, número de brocas con el cual se trabajó; la segunda columna titulada, la fecha con el cual se hace el control de la broca; la tercera columna titulada, guardia en la que se realiza el control ya sea día o noche; la cuarta columna titulada, nombre del operador el cual realiza la perforación; la quinta columna titulada, el modelo y/o marca del equipo o maquina con el cual se va realizar la perforación; la sexta columna titulada, el nombre de la labor en cual se está realizando la perforación; y por último, la séptima columna titulada, el número de afilados que se da a la broca. Las filas están basados principalmente

por el número de afilados que se dan, que es normalmente 05 afilados por broca.

3. RESULTADO Y DISCUSION

3.1. Análisis de factores de la vida útil del barreno y la broca

La vida útil del barreno y la broca, mucho tiene que ver con el aspecto económico que se reflejan en los costos, al inicio parte desde la elección de determinadas marcas y características que se detallan técnicamente para el uso del trabajo en perforación.

Los costos de perforación en mina se calculan con los metros perforados, que realizan una columna de perforación, por el cual el costo de perforación está en relación a un total de dólares de la columna de perforación entre los metros perforados por las columnas el KPI del costo de perforación viene hacer (\$/m) , por lo tanto el costo de perforación es un costo directo y variable, si logramos disminuir este costo de perforación por consecuente obtendremos una disminución del costo total de mina que viene hacer el costo de mina más el costo de planta por lo tanto en nuestro trabajo de investigación, en conclusión en nuestro trabajo reduciremos el costo de perforación (Orcon-Cueva, 2014).

A continuación procedemos con el análisis de los factores que implican la vida útil de la broca en minería subterránea; de las cuales se identificaron factores como son el afilado de brocas, presión de aire, dureza de la roca, barrido de detritus, logística y marca del barreno y broca, y otros factores.

3.1.1. Afilado de la broca

Siendo el primer factor pasamos a analizar la siguiente figura:

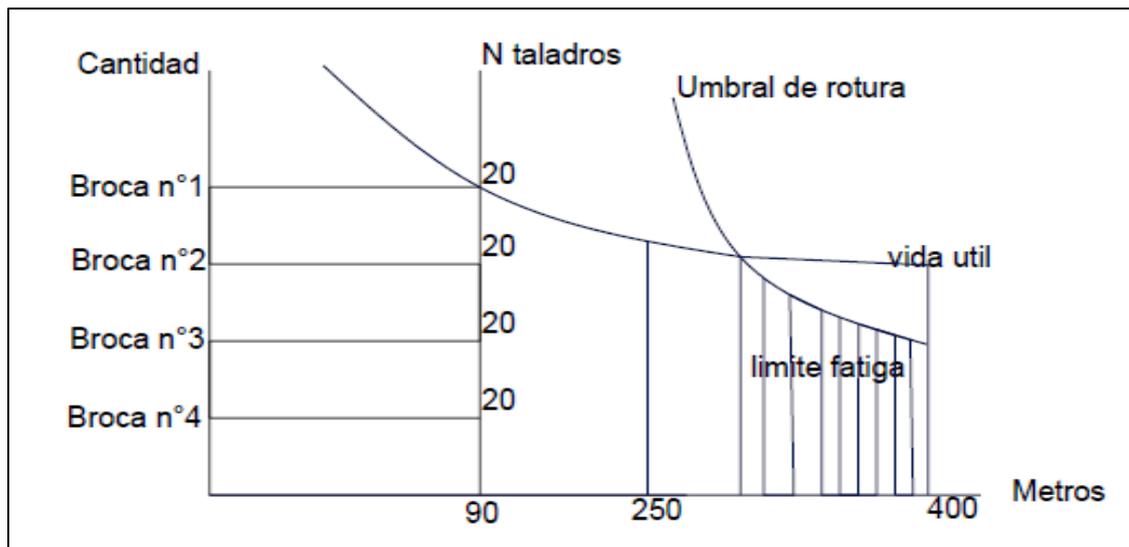


Figura 1: Cantidad de brocas por metro perforado.

FUENTE: Observación de brocas de 45mm- Consorcio Minero horizonte, 2013.

Según el gráfico, basándonos en el Proyecto Minero Parcoy, nos muestra la cantidad de brocas usadas y la vida útil de la broca en metros, mediante este estudio se evidencia el estado de rendimiento y de fatiga, que se produzca una rotura prematura de la broca, se tiene que cumplir estrictamente con la relación del número de taladros perforados y el número de veces que se afilara la broca para que así no se llegue al límite de fatiga, y a su vez al realizar el afilado se tiene que tener en cuenta que cuando más taladros se perfore mayor será la probabilidad que la broca llegue al umbral de la rotura, por lo cual al llegar al límite fatiga que después de 250 metros aumenta el consumo de aceros, se rompen y se reemplazan por nuevas. En cuanto al barrenado no se hace este procedimiento, pero se debe tener en cuenta que al cambiar la broca se tiene que realizar con una herramienta adecuada como es el saca-brocas, ya que al no realizarlo adecuadamente podemos dañar el barrenado y este a su vez no pueda cumplir con su rendimiento normal en la perforación.

Esto quiere decir; la cantidad de taladros por broca perforada que es de 20 taladros, haciendo un metraje de 90 metros, que para alcanzar la vida útil de

la broca nos falta un 77% de la vida útil de la broca. La broca nueva puede seguir realizando perforaciones hasta 55 taladros, realizando un metraje por broca de 250 metros hasta ese punto es posible hacer perforaciones sin ocasionar roturas prematuras por stress o fatiga puede haber roturas por fallas geológicas o discontinuidades en el frente de perforación (Orcon-Cueva, 2014).

Además, la vida útil de un acero de perforación, es el tiempo en el cual la herramienta puede operar con eficacia y es dada por el fabricante, y depende del material con el que ha sido elaborado. El desgaste de los aceros de perforación que se traduce en un mayor consumo implica un proceso en el que se reduce la vida útil, debido al tipo de herramienta, a la roca y los esfuerzos aplicados sobre ellos.

La Empresa Consorcio Minero Horizonte S.A., a diferencia de Corporación Minera Ananea S.A.; implemento el proyecto de afilado de brocas de 45 mm * R32, este afilado de brocas se realizó hasta por seis veces obteniéndose los siguientes resultados, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Número de perforaciones para una roca dura.

BROCA DE BOTONES R32*45MM N°1	N° DE TALADROS	TIPO DE ROCA
BROCA NUEVA	15	ROCA DURA
BROCA AFILADA	20	ROCA DURA
BROCA AFILADA POR SEGUNDA VEZ	25	ROCA DURA
BROCA AFILADA POR TERCERA VEZ	20	ROCA DURA
BROCA AFILADA POR CUARTA VEZ	15	ROCA DURA
BROCA AFILADA POR QUINTA VEZ	10	ROCA DURA
BROCA AFILADA POR SEXTA VEZ	5	ROCA DURA
TOTAL DE TALADROS	METROS PERFORADOS (M)	RENDIMIENTO (M)
110 TALADROS	110X4.5=495	495/1=495
VIDA UTIL (M)	EFICIENCIA (%)	EFFECTIVIDAD (%)
400	495/400x100=123.75	24%

FUENTE: Observación de brocas de 45mm- Consorcio Minero horizonte (Orcon-Cueva, 2014).

De acuerdo a la vida útil estándar, y con 110 taladros se alcanza una eficiencia del 23.75% y una efectividad del 24%, 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 y disminuirá el consumo por costos.

En la tabla de la Empresa Consorcio Minero Horizonte S.A., nos muestra una relación del número de taladros en mayor proporción afiladas es hasta el tercer afilado, luego se reduce al disminuir su rendimiento, para un tipo de roca dura vs la cantidad de afilado que se le tiene que

dar a la broca. La recomendación es que en la primera, segunda y tercera afilada se debe perforar mayor cantidad de taladros, en cambio en las tres últimas afiladas se debe disminuir progresivamente el número de taladros con una razón aritmética de 5 taladros, para evitar roturas en el umbral del efecto fatiga, en la cuarta afilada la broca entra al umbral del stress provocando un stress en el acero debemos tener mucho cuidado en el número de perforaciones que realizamos, si controlamos bien el número de taladros evitaremos roturas prematuras (Orcon-Cueva, 2014).

Tabla 2: Resumen estadístico de brocas del año 2013

Month	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
BROCAS (Pza)	130	120	130	132	134	130
METROS PERF (m)	72890	68452	72648	72478	72450	72150
VIDA UTIL (m)	480	480	480	480	480	480
RENDIMIENTO (m)	561	570	559	549	541	555
EFICIENCIA (%)	117%	119%	116%	114%	113%	116%

Month	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
BROCAS (Pza)	131	128	140	140	140	140
METROS PERF (m)	72658	72100	72150	72000	72000	72000
VIDA UTIL (m)	480	480	480	480	480	480
RENDIMIENTO (m)	555	563	515	514	514	514
EFICIENCIA (%)	116%	117%	107%	107%	107%	107%

FUENTE: Observación de brocas de 45mm- Consorcio Minero horizonte (Orcon-Cueva, 2014).

El afilado de brocas es muy importante porque al analizar la tabla 02, podemos observar, que genera un mayor rendimiento en promedio de 542.5 m siendo febrero el más alto y los últimos 3 meses del 2013 son bajos; de la vida útil no varía, la eficiencia en promedio es 15% pero disminuye en 7% en los últimos 4 meses del 2013; se tiene que dar el número suficiente de brocas para cada equipo de perforación que es de 130 en los primeros 6 meses y aumenta en los 4 meses siguientes aun así es menor los metros perforados a diferencia de la primera mitad del año, por lo tanto, se debe tener en cuenta para poder realizar un adecuado afilado de brocas, ya que al incumplirse con esto se puede llegar a que los operadores no cumplan con el mantenimiento de los mismos y así no dispondrán de brocas afiladas para su respectivo cambio, mientras se realiza su afilado respectivo. A su vez, se debe de cumplir estrictamente con la relación del número de taladros perforados y el afilado de la broca.

Entonces se dice; cuando no se afila la broca, el cuerpo está sometido a presiones mayores y desgaste severos, acabando su vida útil en corto tiempo. Es sabido que una broca que no se afila oportunamente pierde entre 35% a 45% de su vida útil estimada. En la unidad operativa no se afila oportunamente las brocas de botones. El operador tiene dos brocas por frente a perforar, lo cual es perjudicial ya que un frente debe manejarse mínimo con cuatro brocas. Hay que considerar que el afilado va de la mano con un control permanente que se hace con el gauge (calibrador) de control de desgaste de botones. Las consecuencias de todo esto muchas veces derivan en roturas prematuras de aceros de perforación incluso del mismo shank-adapter (Mallma-Perez, 2013).

Si el consumo de aceros resulta excesivo, es importante tomar en cuenta cuán importante es que la empresa provea el material necesario para que se pueda realizar el adecuado afilado de brocas según lo programado, es por lo cual se debe de proveer al operador el número

suficiente de brocas dependiendo del equipo o maquina con la cual se trabaja, para que así durante su ciclo de perforación no tenga ningún problema principalmente con la broca, y este a su vez pueda cumplir con el afilado y así mejorar el rendimiento de la broca.

Es muy importante que cada empresa cuente con un taller de afilado de brocas y este a su vez tiene que estar situados en lugares estratégicos con el fin de que se

puedan entregar en el mínimo tiempo posible las brocas ya afiladas, para así no tener retrasos y problemas con la perforación.

La Empresa CONMICIV S.A.C., durante la primera parte hicieron la implementación del proyecto del afilado de brocas de 45 mm y ejecutarlo día a día, a diferencia de la Corporación Minera Ananea S.A., no se hizo. Para lo cual se tiene el siguiente gráfico.

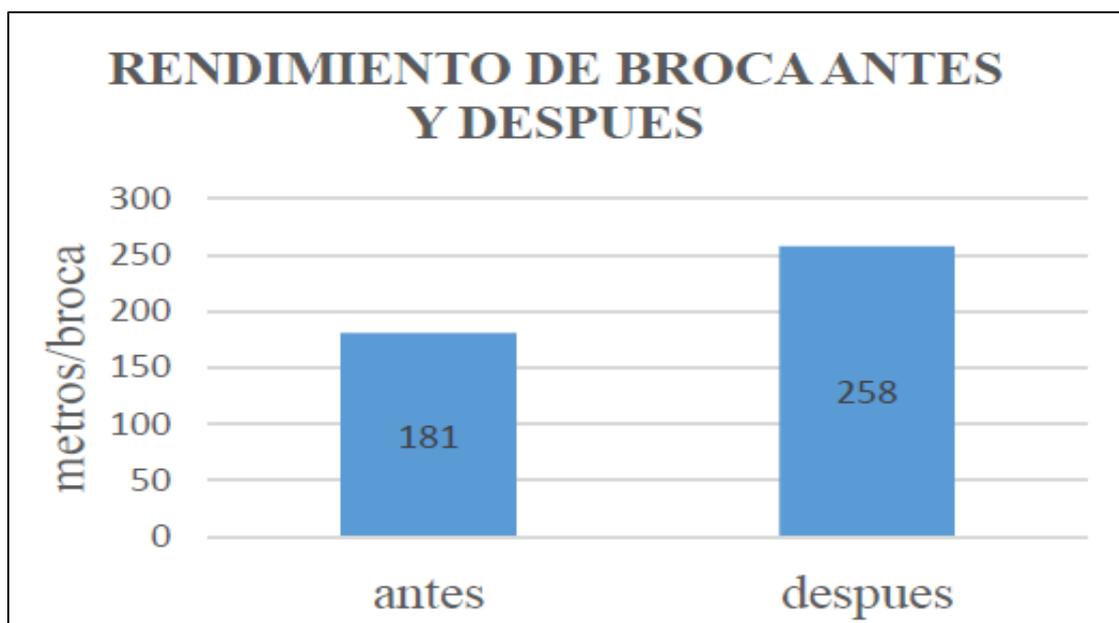


Figura 2: Rendimiento de brocas antes y después.

FUENTE: Tesis (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016)

Este incremento del rendimiento de la broca, se dio principalmente por la implementación del afilado de brocas, destaca la eficiencia en un 77 m/broca, siguiendo los procedimientos y a la vez cumpliendo con la perforación de taladros exactos con la broca de prueba, para luego realizar su respectivo afilado de la broca. En consecuencia se observa que antes del afilado se hacia 181 m/broca y luego de afilarse fue de 258 m/broca, lo que representa una mejora significativa, principalmente en los costos de la empresa.

Según Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde (2016) interpreta diciendo, “*Como se ha podido observar en el gráfico de barras se ha obtenido un aumento del rendimiento promedio de brocas de 181 m/broca a 258 m/broca lo cual representa un crecimiento de 77 m/broca (42.5%) más del inicial*”.

Se emplearon brocas de 45mm Sanvik para cumplir con el metraje programado. Por lo cual optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm realizando el afilado de brocas se generaría ahorros monetarios al tener

menos consumo de ellas (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

3.1.2. Presión de aire

En la unidad Caylloma de la Minera Bateas, los sistemas de percusión están definidos en percusión alta de 180 bar a 200 bar, lo cual es demasiado para el tipo de roca que tienen entre un RMR de 20 a 50. El detalle es que a mayor percusión los taladros se maltratan más perjudicando después la operación de carguío (Mallma-Perez, 2013).

La presión del aire tiene que estar bien calibrado ya que al minimizarse o maximizarse este y no manejar una presión de aire constante o estándar para cada equipo o máquina de perforación, se puede tener problemas con la percusión y esto a la vez afecta directamente en el rendimiento de barrenos y brocas ya que disminuirá su rendimiento de vida útil. Es decir su consumo está también influida por este factor. En Corporación Minera Ananea S.A., no se toma tanto en cuenta este factor solo reportes e informes a tenerse en cuenta porque están definidos sin revisarse frecuentemente a diferencia de la Minera Bateas.

Además, cuando se perfora en Mineral deleznable y alterado, se necesita menos energía, por lo cual se debe reducir la presión de percusión y avance y no llevarlos a niveles de presiones como si estuviéramos en rocas duras. Gran error es pretender sacar un disparo a costa de todo encubriendo ineficiencias operativas que nada solucionan el problema de generar mayor productividad. Cuando los insertos sobresalen continuamente no solo es un tema de frecuencia de afilado sino también un tema de RPM (Hay que disminuir las revoluciones por minuto de la barra ya que en terreno abrasivo acelera el desgaste del cuerpo), (Mallma-Perez, 2013).

3.1.3. Dureza de la roca

La perforabilidad de un determinado tipo de roca depende entre otras cosas de la dureza de la roca de los minerales de que están compuesta y del tamaño de los granos, el cuarzo es uno de los minerales más comunes que aparece en la roca. Al ser muy duro el cuarzo (Sílice) una roca con gran contenido de este mineral será difícil de perforar, produciendo un elevado desgaste en el carburo cementado de la broca, y una roca con alto contenido de caliza resulta fácil de perforar y produce muy poco desgaste en la broca (Camarena-Cosme, 2012).

La resistencia a la fatiga va ser la resistencia de la broca al ser penetra en el interior del macizo rocoso que esta expresado en Mpa, la resistencia lo vamos a medir en las fuerzas de presiones las cuales son las siguientes: Presión de percusión, presión de rotación y presión de avance. No olvidemos el tipo de roca que presenta fallas y discontinuidades, que es difícil de penetrar también la presencia de las cajas encajonantes que son: Filitas del exelcior inferior con presencia de sílices, entonces la broca de 45 de botones R32*45mm nueva no va cumplir con su vida útil, por las razones mencionadas. Se continuara mejorando el rendimiento de las brocas, por lo cual se seguirá dando importancia al cumplimiento del intervalo de afilado y la distribución de brocas según RMR de las labores (Gamarra-Caceres, 2011).

Los fabricantes han realizado varias pruebas para comparar el rendimiento de brocas con los botones esféricos o balísticos. Los resultados han mostrado que las brocas con botones balísticos tienen mejor performance que las brocas con botones esféricos con respecto a la proporción de penetración en roca suave a media. . La máxima resistencia a la compresión de la roca no debe exceder las 30.000 lb/pulg², y la formación de la

roca no debe ser muy abrasiva. Una broca con los botones balísticos debe ser la primera opción, pero condiciones de la Roca puede influir en la elección como la dureza, que para estos casos se emplearían broca de botones esféricos. En una roca excesivamente abrasiva el caso sería muy parejo tanto los botones como el cuerpo mostrarían un desgaste progresivo lo cual se da en algunos casos en la mina. Cuando se tiene rocas abrasivas o muy abrasivas es importante tener un tipo de broca adecuada a estas características, 7 botones con tres orificios de barrido uno central y dos laterales de este modo refrigeramos mejor la broca evitando recalentamientos y provocando mejor evacuación de los detritus pero añadido a un biselado grande de manera de evacuar rápidamente los detritus. Las características de la roca y el uso de las brocas nos permiten identificar que realmente la roca es abrasiva, si bien no es altamente abrasiva, permite discernir, claramente en qué tipo de roca se trabaja, por lo cual dentro del análisis de las operaciones de perforación y voladura muestra que las características geomecánicas de la roca y las condiciones geológicas en general son aquellas variables que pueden ser consideradas como no controlables de acuerdo a como se presenten las condiciones naturales del medio (Mallma-Perez, 2013).

Todos los autores citados frente a este factor, se refieren a que el tipo de roca es un factor muy importante en el rendimiento de la vida útil del barreno y la broca, ya que al tener varios tipos de roca como es: duro, medio o suave, esto complica la perforación porque es una variable que no se puede controlar, por lo cual se tiene que realizar un estudio del tipo de roca exacto en el cual se va realizar los trabajos de perforación y a su vez realizar un estudio profundo y específico de las distintas alteraciones que se presenten durante la perforación,

para así proporcionar una marca o un tipo adecuado de barreno y broca específico al tipo de roca anteriormente mencionado.

3.1.4. Barrido de detritus

Las brocas disponen de una serie de orificios centrales y laterales por los que se inyecta el fluido de barrido para remover el detritus y poseen de unas hendiduras por las que pasan y ascienden las partículas de roca producidas. Las brocas están en condiciones de perforar siempre que los botones periféricos estén bien, ya que son más importantes que los del resto. Especial atención se podrá en la limpieza de los orificios y estrías de barrido (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016). En referencia a aceros como el barreno y broca.

El barrido de detritus tiene que ver principalmente con la limpieza del taladro que se va perforando, ya que un deficiente barrido de detritus afecta directamente en el barreno y este a su vez a la broca, el cual reduce el rendimiento de la vida útil empezando principalmente con los barrenos hexagonales para luego afectar directamente a la broca, es por lo cual que las brocas tienen un diseño especial con orificios laterales y centrales y con una presión adecuada de aire o agua ayudara a un correcto barrido de detritus.

El barrido de detritus según los autores Mallma-Perez (2013) y Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde (2016) nos dice que *“parte del barrido de detritus tiene que ver la presión de aire el cual es totalmente cierto ya que si no se tuviera una presión de aire adecuado no se tendría una limpieza correcta de los taladros el cual afectaría en la vida útil de la broca, también paralelamente a ello juega un rol muy importante el agua ya que juntamente con la presión del agua y el aire se lograra un barrido eficiente de detritus”*.

3.1.5. Logística y marca de la broca

Evitar la mezcla de las diferentes marcas de aceros de perforación como son Atlas, Sandvik y otros ya que como consecuencia nos da rendimiento de aceros de perforación variables. El rendimiento o vida útil se elevaría por lo que Logística entregaría brocas después de más días o guardias y por lo tanto se reduciría el costo en consumo de brocas. Ya que así manejaríamos con exactitud cuántos pies perforados rinde una broca y los aceros de perforación y la distribución de brocas sería periódicamente y no todo los días (Camarena-Cosme, 2012).

La logística tiene un papel muy importante, ya que al realizar un estudio eficaz de los diferentes tipos de marcas de barrenos y brocas que existen en el mercado se procederá a realizar las adquisiciones de acuerdo a las necesidades de la empresa, el cual lo realizara el área de logística y estas adquisiciones se deben realizar en coordinación con el área de mina a través de especificaciones técnicas, ya que son los que hacen uso de barrenos y brocas, y estos hacen a su vez un seguimiento minucioso del funcionamiento de cada tipo de broca.

3.1.6. Otros factores

Estos rendimientos son los encontrados en la empresa las cuales nos sirven como base para trabajar sobre ellos y por eso nos vemos en la necesidad de enfocarnos en la optimización de sus rendimientos para lo cual planteamos un trabajo en el cual desarrollemos todas las técnicas para mejorar y optimizar la vida útil de los aceros de perforación como el mantenimiento de aceros de perforación, capacitación al personal de Semiglo, seguimiento en operaciones para optimizar los rendimientos de los accesorios de perforación, ver el estado de los equipos de perforación, etc. Para

poder obtener un mejor rendimiento (Camarena-Cosme, 2012). Resalta más que una simple observación sobre la importancia de la capacitación.

Es importante destacar lo que se menciona sobre la capacitación al personal relacionado con el mantenimiento para el mejoramiento de barrenos y brocas del que mínimamente se mencionó; debido a que el personal que opera tiene en su mano el rendimiento de cada barreno y broca. Sin embargo, en los estudios de referencia no resaltaron, solo de Camarena, al respecto.

3.2. Discusión sobre los factores de la vida útil del barreno y la broca

En ese sentido sobre el afilado, varios autores nos dan mayores especificaciones. Para elegir la broca adecuada al trabajo se debe considerar la velocidad a la que se debe extraer el material y la dureza del mismo. La broca se desgasta con el uso y puede perder su filo, siendo necesario un reafilado, para lo cual pueden emplearse máquinas afiladoras, utilizadas en la industria del mecanizado. También es posible afilar brocas a mano mediante pequeñas amoladoras, con muelas de grano fino (Orcon-Cueva, 2014).

En consecuencia concuerdo con el autor en relación a la tabla 01, por lo tanto no existen diferencias en cuanto a los procedimientos y resultados que se muestran, sobre las repetidas veces que vuelven a afilar buscando el máximo rendimiento y menor consumo de la broca, así como del barreno en la perforación respectiva. A diferencia donde no se aplicó este factor en la Corporación Minera Ananea S.A., en el que el consumo de aceros salta a la vista hipotéticamente como se puede ver a diferencia de la Empresa Consorcio Minero Horizonte S.A.; si se aplica el

factor de afilado el rendimiento llega a la vida útil de la broca y puede que la supere en algunos casos, lo que demostraría un mejoramiento de relevancia.

En cuestión se difiere con los criterios de afilamiento y la manera de afilar, donde se enfatiza hacia el consumo o la vida útil del barreno y la broca, otros autores trasladan estos resultados a los costos básicamente, así como a la cantidad de brocas utilizadas.

En resumen para el año 2013, se resaltan los costos de perforación se están minimizando, cuando se concluya el año vamos obtener un margen de ganancia con respecto al año 2012 falta 4 meses para las simulaciones respectivas las proyecciones con respecto al consumo de brocas por mes es de 140 brocas en conclusión, se obtuvo 0.1 \$/metro de ganancia y obtuvimos una reducción de brocas de 174 brocas y con un costo variable de 13050.00 dólares de ahorro (Orcon-Cueva, 2014).

Sin embargo a lo que explica Orcon-Cueva (2014) en su investigación, también existen otros autores con temas similares, entre ellos (Mallma-Perez, 2013), (Camarena-Cosme, 2012), (Jáuregui-Aquino, 2009), (Quenaya-Rodriguez, 2015), (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016). Refieren sobre el afilado de la broca considerándola como importante este factor, destacando el costo beneficio, el rendimiento de los taladros, los criterios del afilamiento para conseguir una completa vida útil de la broca. En general se concuerda con el análisis y las explicaciones que se dan, para mayores detalles agregamos y citamos lo que señalan al respecto los autores mencionados y que acotan mayores luces al respecto para replicarla en la empresa de Corporación Minera Ananea S.A.

De otra parte, una broca desgastada disminuye la penetración y tiende a desviarse más el taladro. Por ello hay que reafilar las brocas y establecer el intervalo de reafilado adecuado. El criterio general para el reafilado es hacerlo cuando se ha perdido mucha penetración. En condiciones de rocas duras y abrasivas, la recomendación ha sido reafilar, cuando el frente de desgaste es la mitad del diámetro del botón (botones esféricos), y un tercio en botones balísticos. Pero, debido a la importancia de mantener la velocidad de penetración, se puede demostrar que reafilar aun los botones esféricos con un tercio del diámetro de la base, puede ser más conveniente en ciertas circunstancias. Hay dos métodos generales para reafilar botones con copa de afilado o con rueda de afilado. A causa de su eje de rotación, la copa de afilado tiene una velocidad de corte nula en el centro del botón. Cuando se afilan botones esféricos, esto se compensa con la oscilación de la máquina afiladora. Es obvio que no puede usarse la copa de afilado para reafilar botones balísticos. Si se elige la rueda de afilar, se puede rehacer la forma simétrica del botón, ya que el eje de rotación da una buena velocidad de corte en toda la superficie de afilado (Mallma-Perez, 2013).

Se cuenta con la aguzadora de brocas, sin embargo no se emplea continuamente y tampoco se ha centralizado estratégicamente la ubicación de las aguzadoras de brocas para lograr afilar continuamente todas las brocas de todos los jumbos que diariamente están perforando en mina. Es importante realizar un afilamiento constante y continuo de las brocas, teniéndose las aguzadoras en ubicaciones estratégicas donde puedan afilarse el total de brocas que se requiere diariamente emplear y puedan entregarse a tiempo las brocas afiladas a las labores donde se le requiere. Con el afilado las brocas de 45mm que se emplean pueden llegar a durar en promedio un 25% más

de su vida útil, es decir de 2800 pies perforados a 3500 pies perforados por broca (Jáuregui-Aquino, 2009). Siendo resaltante.

El efecto del afilado de la broca sobre la resistencia a la perforación de los recubrimientos, se encontró que la longitud que se puede desbatar a esta herramienta no debe superar la zona en la que su dureza es casi constante (7 mm a partir de la punta para el tipo de brocas utilizadas en este estudio). Por lo tanto, para las brocas evaluadas se pueden realizar al menos 2 re-afilados sin que existan variaciones significativas en los resultados de la resistencia a la perforación de los recubrimientos (Aristizabal *et al.*, 2013)

Otro aspecto muy importante del afilado de brocas es cuantas veces se tiene que realizar el afilado, eso varía principalmente según el tipo de roca que se va trabajando, en este caso en el trabajo que se realizó, solo realizaron dos afilados ya que no se cumplió estrictamente la relación entre el número de taladros perforados y el afilado respectivo de la broca, es por ello que solo llegaron a dos afilados el cual pudo ser mayor y así tener un mayor rendimiento de la vida útil de la broca.

El reafilado de las brocas dependerá del desgaste del acero de la broca y el desgaste de los botones de tungsteno al salir de la mina y en promedio se afila dos veces. El parámetro de reafilado de broca consiste en que el perforista identifique en promedio un tercio de desgaste, respecto del diámetro del botón completo. Si el perforista sigue utilizando la broca, consigue perforar un tanto más pero que la broca ya no entre el parámetro de re-afilado se desechará. Según el historial de reafilado de brocas, en otras minas, se consigue un aumento del 200 % de la vida útil de las brocas con el sistema implementado por completo. Según estos datos, la

reducción de costos es considerablemente buena y permite realizar una inversión en la implementación del re-afilado debido a su efectividad (García-Alarcón, 2017).

Otra investigación sobre la dureza de la roca, aporta. Las brocas de botones deben ser reacondicionadas cuando: El cuerpo de las brocas se desgasta más que los botones, haciendo que estos sobresalgan excesivamente. Así se evitara que los botones se claven en la roca o quiebren, esto sucede frecuentemente en terrenos blandos y abrasivos. Cuando los botones se desgastan más rápidamente que el cuerpo, especialmente en rocas duras y abrasivas, los botones deben ser afilados con frecuencia. Si en rocas no abrasivas los botones se pulen mostrando señales de fracturación en su superficie con aspecto de piel de reptil. Esto evita que las fracturas superficiales se propaguen, lo cual podría provocar la destrucción de los botones (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

En ese sentido se amplía que, las brocas se evalúan en función de la capacidad de perforación, de acuerdo a la dureza y consistencia de las rocas. Otra variable independiente es el tipo de roca y es función de la dureza y ello constituye la resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro, para ello se realiza la comparación de dureza Mohs y ello exige como seleccionamos una broca para el tipo de material a perforar y los diversos accesorios de perforación, los cuales exigen la selección de un tipo de aceros para herramienta que deben ser tratados adecuadamente bajo un tratamiento térmico y revenido (Quenaya-Rodríguez, 2015).

Sobre el barrido de detritus, se dice que las condiciones de uso de brocas de botones esféricos en labores de avances, muestran un desgaste acelerado del cuerpo de la broca, esto

fundamentalmente se debe a la dificultad progresiva de evacuación de detritus del taladro y del RPM alto, es decir al observar la broca se nota el desgaste en el cuerpo mas no en los insertos de tal forma que a pesar que los insertos no se afilan en su momento debido a que no existen una cultura de afilado y así mejorar la vida útil de los aceros. Por otro lado, el diseño de la broca debe asegurar siempre un buen barrido. Para ello existe en el mercado variedad de diseños que puedan adaptarse a un determinado tipo de roca donde es muy importante que el barrido de agua se acompañe de un soplado adicional de aire comprimido, de esa manera evacuaremos rápidamente los detritus evitando la permanencia de estos en el taladro. Al no haberlo se acelera el desgaste de la barra hexagonal como del cuerpo de la broca. Debido a la permanencia de los detritus en el taladro raspando el cuerpo del hexagonal disminuyendo la vida útil de estos componentes. Una forma de evitar el desgaste acelerado del cuerpo como ocasionalmente el tapado del agujero de barrido, es buscar un diseño con un biselado mucho más amplio que ofrezca mejor evacuación de detritus como también un mejor barrido lateral (Mallma-Perez, 2013).

De la misma forma, los parámetros de perforación aplicadas en el tajo de la mina Tintaya estuvieron muy inestables de lo recomendado. La presión de aire se encontró por muy debajo de lo recomendado por lo cual el barrido no fue eficiente generando una remolienda y atascamientos, la velocidad de rotación por su parte se encontró por muy encima

de lo recomendado ocasionando un desgaste innecesario y la fuerza vertical (PullDown) estuvo muy elevado ocasionado atascamientos y perdida de insertos (Roldan-Juarez, 2012).

3.3. Costos de perforación y productividad

Los costos de mina Consorcio Minero Horizonte S.A. Parcoy – La Libertad rodean los 8.87 \$/tn el cual con el trabajo reducimos el costo unitario de perforación con relación al consumos 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, en conclusión con el trabajo llegamos al objetivo de reducir los costos de perforación con relación a la broca por el cual también se va reducir los costos unitarios de perforación con relación a las barras y shanes. Para minimizar los costos de producción es recomendable utilizar el rastreo de costos en perforación y voladura y utilizar parámetros de KPIs (Orcon-Cueva, 2014).

En la mina Consorcio Minero Horizonte S.A. Parcoy – La Libertad según el autor, en el año 2013 se logró reducir el consumo de brocas en 174 piezas en comparación con el año 2012 que viene a ser 9.8 % del consumo de ese año, es por lo cual la importancia por el cual se trató el tema de consumo de barrenos y brocas ya que afecta en el costo directo de la empresa.

Tabla 3: Costo de perforación de agosto.

MATERIALES			AGOSTO				
DESCRIPCION	UNIDAD	MTS/DISP	VIDA UTIL MTS	ESTANDAR PZAS/DISP	PRECIO US\$/PZA	US\$/MT	
BARRAS DE PERFORACION	MT/DISP	205.2	2500	0.08	448.66	13.21	
BROCAS DE 45 MM	MT/DISP	190.8	271	0.7	86.74	20.33	
SHANK ADAPTER	MT/DISP	205.2	3500	0.06	238.74	4.67	
RIMADORA DE 102 MM	MT/DISP	14.4	259	0.06	205.28	3.8	
EQUIPO						TOTAL	42.01
DESCRIPCION	UNIDAD	HRS/DISP	COSTO PROPIEDAD US\$/HR	COSTO OPERCIÓN US\$/HR	COSTO TOTAL US\$/HR	COSTO TOTAL US\$	US\$/MT
JUMBO ELECTRICO DE UN BRAZO	HORAS	2.5		130	130	325	108.33
						TOTAL	150.34

FUENTE: Tesis (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016)

En el mes de agosto con un rendimiento de 271 m/broca y 259 m/rimadora se tiene un costo de perforación de 150.34 \$/m. En el precio unitario que paga CMH S.A a la empresa contratista CONMICIV S.A.C es de 158.71 \$/m realizando una comparación con el PU. Podemos decir que en el mes de agosto el costo de perforación está 8.4\$/m por debajo del

PU (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

De la tesis de Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde (2016) en la tabla 03 se observa que, el costo total de los materiales es de 42.01 US\$ y el costo total del equipo es de 108.33 US\$, por lo cual el costo total de perforación es de 150.34 US\$.

Tabla 4: Ahorro mensual en perforación.

Ahorro en perforación				
AVANCE MENSUAL	m/mes	costo \$/m	ahorro \$/m	ahorro \$/mes
Junio-Julio (Promedio)		162.5		
Agosto	295.1	155	7.5	2217
Setiembre	259.1	156.38	6.1	1587
Octubre	517.8	156.78	5.7	2965.7
			Total \$	6770.2

FUENTE: Tesis (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

Se redujo el costo de perforación en 4% equivalente a 6.4 \$/m, de 162.5 \$/m a 156 \$/m promedio logrando un ahorro en tres meses de 6770.2 \$/meses; que fue el ahorro esperado (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

De la tabla de la tesis de Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde (2016) en la tabla 4 se observa que, el ahorro del mes de agosto fue de 2217 US\$, el ahorro del mes de setiembre fue de 1587 US\$ y el ahorro del mes de octubre fue de 2965.7 US\$, dándonos un total ahorrado de los tres meses de 6770.2 US\$.

Tabla 5: Influencia de broca de 45 mm y rimadora de 102 mm en el costo de perforación.

Influencia de broca 45 mm y rimadora de 102 mm en el costo de perforación					
Mes	Costo \$/m	Costo rimadora \$/m	Costo broca &/m	% incidencia rimadora	% incidencia broca
Junio	162.25	5.94	30.1	3.70%	18.60%
Julio	162.77	5.55	31.02	3.40%	19.10%
Agosto	155	3.8	20.33	2.50%	13.10%
Setiembre	156.38	3.63	21.89	2.30%	14.00%
Octubre	156.78	3.81	22.11	2.40%	14.10%

FUENTE: Tesis (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

La rimadora de 102 mm Sandvick tiene una incidencia 11.5% menos al de la broca de 45mm (Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde, 2016).

De la tabla de la Tesis de Abanto-Cruz y Vasquez-Valverde (2016) en la tabla 05 se observa que, el % de incidencia broca en el mes de junio fue de 18.60%, en el mes de julio fue de 19.10%, en el mes de agosto fue de 13.10%, en el mes de setiembre fue de 14.00% y finalmente en el mes de octubre fue de 14.10%.

4. CONCLUSIONES

La vida útil del barreno y la broca es importante, de acuerdo a la mayoría de los autores revisados sobre su rendimiento en la perforación en minería subterránea, en vista que repercute en los costos y los estándares que deben cumplir el barreno y la broca porque no alcanzan en gran medida su vida útil según su diseño. Se identificó como un factor relevante el afilado de la broca. Se halla en el afilado adecuado, implica que las brocas alcancen la efectividad de su vida útil o superarla, a su vez paralelo a este factor tiene que ver con que la empresa genere las condiciones y recursos necesarios para el correcto afilado de brocas dentro del trabajo operativo en su implementación, dentro del programa de mantenimiento adecuado referido a la vida útil de las

brocas; el afilado no solo se realiza una sola vez, sino repetidas veces, este a su vez, puede realizarse manualmente o con algún equipo específico al afilado de brocas. Mostrando para el primer caso, en 77 metros/broca que representa el 42.5% optimizado, y el segundo caso, en 95 metros/broca siendo el 24% en efectividad de rendimiento en promedio con el afilado de brocas en su vida útil. Por lo tanto, los resultados hallados nos indican que las pruebas y experiencias son positivas pero que todavía no se replica de manera general, aun son pocas las referencias al respecto.

Otro factor muy importante que afecta en menor medida la vida útil del barreno y la broca es la dureza de la roca, ya que al tener un tipo de roca dura o un tipo de roca muy abrasiva, será más difícil de perforar y por lo cual genera un mayor desgaste tanto en los botones de las brocas como en el mismo cuerpo de la broca y el barreno, y no cumpla con su respectiva vida útil, por lo cual es muy importante saber el RMR y las características geomecánicas del frente o área donde se realiza los trabajos de perforación, es así que se debe proporcionar el barreno y una broca adecuada para cada tipo de roca, así sea roca suave, media o dura, según sea el caso.

Dentro de otros aspectos influyentes, como los factores que son importantes; destacan la presión del aire, que al no tener una presión de aire estándar, afecta principalmente en la percusión por lo cual el barreno y la broca tienden a maltratarse. De igual manera, otro factor importante es el barrido de detritus, debido a que la broca cuenta con una serie de orificios ya sean laterales o centrales para su correcta limpieza de detritus, al no hacerlo correctamente se observa que acelera el desgaste de la broca y a la vez de la barra hexagonal de perforación raspando el cuerpo, y disminuyendo la vida útil. Otro factor influyente es el área de logística, ya que juega un rol muy importante en la adquisición de diferentes marcas de barrenos y brocas que existen en el mercado, en vista que cada tipo de marca es específico para un distinto tipo de roca, en consecuencia se tiene que realizar un estudio más exhaustivo para poder así realizar una eficiente adquisición de específicos tipos de marcas. Por último, el factor que poco se considera al pasar por alto como menos relevante es la constante capacitación del personal, el cual se debe realizar cada lapso de tiempo y a la vez hacer el seguimiento permanente al personal.

Todos estos factores mencionados tienen una gran importancia, porque al no realizar un adecuado seguimiento a cada uno de estos factores repercute en los costos directos de la empresa, por el contrario si se cumple adecuadamente con estos factores se llegara a tener un rendimiento óptimo del barreno y las brocas, es decir un menor consumo de las mismas, el cual genera la reducción de costos en la empresa, al final.

Finalmente es importante señalar y tener en cuenta que no existen investigaciones similares en la Corporación Minera Ananea S.A., y requiere que se hagan prontamente sobre el tema, además de estudios a mayor profundidad, sobre los

factores que se identifican con mayores detalles, por lo que deberían realizarse otros estudios de forma que sean netamente técnicos. Por otro lado, sobre optimización en cuanto a costos y beneficios por cada una de los factores identificados en este breve análisis.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por ser la luz de todos los días al guiar mis pasos y darme un día más de vida, a mis padres Hugo y Elena, a mis hermanos Neil Yuri, Edwin Hugo y Denny William, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento para hacer realidad mi formación profesional.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios superiores en ésta primera casa de estudios.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, a la plana docente por haberme transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación como ingeniero de minas.

6. LITERATURA CITADA

Abanto-Cruz, J. y Vasquez-Valverde, J. (2016). *Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45 mm, rimadoras de 102 mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la Empresa CONMIVIC S.A.C. en CMH S.A.* Universidad Nacional de Trujillo.

Aristizabal, K., Rojas, O., Vargas, F., Felipe-Díaz, A. y Ageorges, H. (2013). Efecto del afilado de la broca sobre la resistencia a la perforación de recubrimientos de AL₂O₃-TiO₂ elaborados

mediante proyección térmica por plasma atmosférico. *Revista Colombiana de Materiales*, 5(Octubre), 353–360.

- Camarena-Cosme, A. (2012). *Optimización de las brocas 38 y 45 mm, del sistema de perforación, con fines de disminuir costos en la UEA Semiglo de la Empresa Minera Atacocha S.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Chirinos-Andía, M. (2015). *Control de aceros de perforación, factores que influyen la vida útil, su relación con el paralelismo y profundidad en el proyecto de expansión K-115 JJC Contratistas Generales S.A. Sociedad Minera Cerro Verde.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Gamarra-Caceres, R. (2011). *Optimización de las brocas de boton de 45 mm*R32 para minimizar los costos de perforación en la Compañía Minera Milpo S.A.A. UEA el Porvenir.* Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Garcia-Alarcón, A. (2017). *Mejora de procesos de Minera San Rafael S.A.* Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Huchamaco-Alanoca, W. (2018). *Mejoramiento de plan de minado para la optimización de producción en la Contrata Minera Wilsander de la Corporación Minera Ananea S.A.* Universidad nacional del Altiplano.
- Jáuregui-Aquino, A. (2009). *Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura.* Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mallma-Perez, J. (2013). *Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristobal de Minera Bateas S.A.C.* Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Orcon-Cueva, A. (2014). *Las brocas de botón de 45 mm*R32 para la perforación en Consorcio Minero Horizonte S.A., Parcoy-La Libertad.* Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Quenaya-Rodriguez, J. (2015). *Selección de un acero para el accesorio zapata de inserción superficial en brocas de perforación.* Universidad Nacional de San Agustín.
- Roldan-Juarez, A. (2012). *Parámetros de Perforación y rendimiento de las brocas tricónicas en el tajo abierto de la Mina Tintaya y propuesta para el tajo abierto Antapaccay, 2012.* Universidad Nacional Micaela bastidas de Apurímac.