

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“REDUCCION DE LOS COSTOS OPERATIVOS AL AUMENTAR LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN EN LAPERFORACIÓN DE TERRENOS DUROS, FRACTURADOS Y ABRASIVOS”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bachiller. Monica del Rocio Portocarrero Zelada

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro, Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2019



DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mi familia,
que gracias a su apoyo incondicional pude
concluir mi carrera con éxito.

Gracias a todos...

AGRADECIMIENTO

Los siguientes párrafos van dirigidos a quienes me apoyaron y sostuvieron vigorosamente para conquistar los objetivos y metas proyectados.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mis padres, familiares y académicos.

A todos ellos, muchas gracias

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	37
CAPÍTULO III. RESULTADOS	38
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1	39
TABLA N° 2	42
TABLA N° 3	50
TABLA N° 4	50
TABLA N° 5	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1	45
FIGURA N° 2	45
FIGURA N° 3	46
FIGURA N° 4	46
FIGURA N° 5	47
FIGURA N° 6	47
FIGURA N° 7	48
FIGURA N° 8	48
FIGURA N° 9	49
FIGURA N° 10	49
FIGURA N° 11	51
FIGURA N° 12	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACION N° 1	39
ECUACION N° 2	40
ECUACION N° 3	40

RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo reducción de los costos operativos al aumentar la velocidad de rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos. El estudio se desarrolló en dos fases: campo y gabinete. En la fase de campo se analizó el desgaste de brocas y se determinó el aumento de velocidad de penetración; En la fase de gabinete, se calculó los costos de perforación (TDC). Luego de implementar el aumento de velocidad de perforación, se comprobó que se dio un incremento en el rendimiento de las brocas de perforación diamantina. Palabras clave: Rendimiento, brocas, terreno duro, fracturado, abrasivo.

Palabras clave: Rendimiento, brocas, suelo duro, fracturado, abrasivo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Wilson. (2013) nos dice que en la explotación de minerales metálicos y no metálicos, es fundamental la actividad de perforación, donde se usan aceros para taladrar las rocas heterogéneas de la naturaleza de los yacimientos y frente a la competencia de diversas marcas de empresas fabricantes de brocas y cuyos rendimientos también son diferentes. Por tal razón se planteó el objetivo de explicar las comparaciones entre los rendimientos óptimos de brocas de 12 1/4” de diámetro para las marcas como Atlas Copco, Sandvik, Varel y PDB en yacimientos skarn metasomático de contacto a tajo abierto del sur medio, que trabaja en cuatro tipos de rocas fundamentalmente. Cuyo procedimiento seguido ha sido: 1. Revisión del marco teórico Se establecieron que existen cuatro variables críticas como son: Empuje, velocidad de rotación, barrido y refrigeración, los cuales se deben combinar en forma armónica para incrementar el rendimiento de la vida útil de brocas y aceros de perforación. 2. Revisión de reportes del rendimiento de las brocas de 12 1/4” Se trabajó con data histórica desde los años 2006 hasta 18-02-2012, el desempeño de las brocas insertando el código del equipo (4019, 4006, 4020), nombre del tajo, numero de taladros, longitud, tiempo de perforación, tipo de roca, reamer, PSI, pulldown, ID de broca, marca y tipo, serie, y finalmente el diámetro de broca de 12 1/4”. Se adjunta en el anexo 1. 3. Comparación de rendimientos de variables críticas de brocas en función a tipo de litología. Las variables críticas para incrementar la vida útil de brocas de 12 1/4. Haciendo la comparación en roca dura de las 4 variables como velocidad de penetración (m/hr), PSI, RPM, y pulldown, para la marca Atlas Copco fue: 56; 52, 88 y 48 362, respectivamente. Para la marca Sandvik fue: 54, 48; 86; y 45 395 respectivamente.

Para la marca PDB fue: 61; 55; 95; y 62 500 respectivamente. Para la marca Varel fue: 53; 49; 091; y 51 951 respectivamente. Resultando el de mayor rendimiento en velocidad penetración la marca Atlas Copco, y Sandvik con 61 y 56 m/hr respectivamente. 4. Determinación de la vida útil de brocas resultando del siguiente modo: Broca marca PDB: 4091 m (1°); Broca marca Sandvick 3732 m (2°); Broca marca Atlas Copco: 3624 m (3°); Broca marca Varel: 2444 m (4°) 5. Selección optima de brocas Por los resultados que, se han observado en el ítem anterior, se seleccionó la broca marca Atlas Copco y Sandvik por su vida útil optima de brocas y que actualmente se están usando. Garay Gómez. (2014) nos detalla en su tesis la variación de las condiciones de trabajo que se obtiene al modificar la geometría de las vías de agua de las brocas de perforación diamantinas, las cuales son utilizadas como herramientas de corte durante los procesos de perforación. En la primera etapa de la investigación, el análisis de la problemática se realiza mediante simulaciones numéricas, siendo el alcance la comparación de las características fluido-dinámicas del flujo de enfriamiento tanto de las brocas con vías de agua estándar (radiales), como de las brocas con las vías de agua modificada (con un ángulo de inclinación). Posteriormente, con el objetivo de probar el desempeño de las brocas y el desgaste que se presenta en cada geometría, se realizaron ensayos experimentales (ensayos de perforación) en las instalaciones de la empresa Boyles Bros Diamantina. En esta etapa, es importante mencionar que la empresa dispuso de una máquina de perforación y de un área de sus instalaciones para el desarrollo de las pruebas experimentales. Finalmente, según los resultados obtenidos, se logra verificar que la modificación de la geometría de vías de agua influye en el desempeño de la broca de perforación de manera positiva. En el caso de la simulación numérica se observa un desarrollo del

fluido más eficiente, con vectores de velocidad de mayor magnitud y con zonas de intensidad de turbulencia más uniformes, lo cual se traduce en una mejor capacidad de enfriamiento de la broca de perforación. En cuanto a los resultados de los ensayos experimentales, se observó una reducción aproximada del desgaste de la corona de 54 % durante los primeros 25 metros de perforación, así como un menor desgaste del casquillo de acero producto de una mejor evacuación de detritos (conglomerado de partículas rocosas y partículas de la matriz de la broca). Estos resultados demuestran que el diseño propuesto de vías de agua inclinadas es una alternativa viable con grandes beneficios, pues proporciona una mayor eficiencia en la capacidad de enfriamiento, y reduce tanto el calentamiento de la broca como la ductilidad de la matriz metálica, lo que en consecuencia permite disminuir las posibilidades de desgaste prematuro de la matriz y del casquillo de acero, lográndose mayores metrajes de perforación. Escobar. (2013) “Análisis de falla en los aceros de perforación como estrategia de incremento de la vida útil de los equipos TOP HAMMER”. describe las múltiples aplicaciones de la perforación en obras civiles y en minería de superficie; desde principios de la perforación hasta como seleccionar el equipo adecuado, la columna de perforación adecuada y también describe los problemas como la sobre perforación y perforar sin afilar las brocas, falta de mantenimiento de los equipos de perforación, mal marcado de la malla de perforación en el frente, falta de personal con experiencia, etc.; repercute en generar mala perforación, mala voladura y por ende incremento en el costo de la operación. También se describen soluciones a los problemas más comunes que se presentan en los aceros y equipos de perforación a través del acopio de información de dos años y medio que el autor colectó como Ingeniero Supervisor de equipos y aceros de perforación Top Hammer o martillo en

cabeza, siendo participe de cómo hacer la selección de equipo para cada tipo de obra con su adecuada columna de perforación y dando solución a los problemas que suele suscitarse en obra en el momento de la perforación. Al finalizar el trabajo se analizaron los principios básicos de la perforación, los diferentes tipos de aplicaciones actuales en el país, selección adecuada de equipo y sobre todo se entenderá que solucionando problemas como: sobre perforación de brocas, desviación de taladros, incumplimiento del mantenimiento periódico de los equipos de perforación, etc.; obtendremos grandes ahorros y generaremos un buen producto final que es la fragmentación requerida para la siguiente actividad que es el carguío y acarreo. López Rodríguez. (2012) “Estudio de desempeño y rendimiento de brocas de perforación en el campo Shushufindi para optimizar tiempos de perforación mediante la aplicación de la base de datos Phoenix de Halliburton” El sujeto de estudio es el campo Shushufindi. En el primer capítulo se estudió el campo y su historial de perforación para luego en el segundo capítulo presentar fundamentos teóricos de perforación y brocas que son las herramientas para desarrollar el resto de este proyecto. En el tercer capítulo se clasifica y filtra la información de los pozos de referencia y con la ayuda de la aplicación Phoenix de Halliburton se analiza los programas y registros de brocas de cada uno de estos pozos. En base a esto, en el cuarto capítulo se establecen las aplicaciones de brocas y parámetros recomendados en nuevos programas que optimizan tiempos y por ende costos de perforación. En el quinto capítulo se compara económicamente las propuestas de optimización con los pozos de referencia, demostrando la importancia y factibilidad económica de este proyecto. Adicional al beneficio económico es importante mencionar que este es un estudio completo de brocas de perforación que ha servido para detectar falencias y oportunidad de mejora en la aplicación Phoenix de

Halliburton. Finalmente, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones necesarias del proyecto. Gónzales Páez. (2014) “Rendimiento, desgaste y abrasividad en excavación mecanizada de túneles en terrenos heterogéneos”. con una base de datos de 33 km de registros de túnel de EPB en la zona de Barcelona se ha examinado en detalle desde el punto de vista de recambio de herramientas de corte y rendimiento de la excavación mecanizada. La base de datos incluye túneles en suelos blandos, en rocas medias y duras y en condiciones mixtas de roca y suelo. Los datos recabados incluyen registros de cambios de herramientas, operaciones de la maquina (avance, empuje, par, etc.) y propiedades geotécnicas, con un énfasis sistemático en mediciones de abrasividad de los diferentes materiales perforados. Para obtener una descripción homogénea de la abrasividad se realizaron mediciones de abrasividad del tipo LCPC en todos los materiales. Un resumen descriptivo de las principales tendencias reveladas por los datos se presenta en esta tesis. Las paradas de las máquinas durante la perforación se pueden clasificar entre aquellas debidas a un mantenimiento planificado y aquellas debidas a incidentes imprevistos. Los últimos pueden resultar ser decisivos cuando evaluamos el éxito de una perforación, aunque normalmente no son considerados en el proyecto. Uno de los aspectos más exigentes del mantenimiento desde el punto de vista operativo es el de las herramientas de corte, ya que su revisión y posible sustitución siempre implica paradas de la máquina, y como que a menudo es necesario tener acceso al frente, es con frecuencia una operación lenta y difícil. Por lo tanto, es deseable programar el mantenimiento de la cabeza de corte con la precisión máxima posible. Para llevar a cabo tal programación dos aspectos son necesarios: la identificación de umbrales de desgaste de las herramientas y un método que permita estimar el desgaste para cada

herramienta como consecuencia de la operación. El objetivo de este estudio es investigar cómo enfrentarse a este problema cuando el medio es heterogéneo y la excavación es mecanizada mediante EPB. Se tiene en cuenta sistemáticamente la heterogeneidad geotécnica transversal y longitudinal. La heterogeneidad longitudinal se usa para segmentar la base de datos en unidades homogéneas. La heterogeneidad transversal (dentro de la sección) se estima por un conjunto de factores de impacto en la presente desarrollados FI. El concepto de energía específica (SE) fue aplicado para evaluar la eficiencia total de la excavación. Procedimientos anteriores para computar SE en excavaciones con TBM fueron adaptados a excavaciones con maquina EPB en modo cerrado. Se tienen en cuenta explícitamente el soporte del frente y el momento rotacional debido a la presión de la tierra. Varios métodos existentes para predecir la tasa de penetración y la vida útil de las herramientas se evalúan respecto a los resultados de la base de datos. Siempre que fuera necesario se realizaron recalibraciones de estos procedimientos. Basadas en un análisis sistemático de los resultados de la base de datos, se proponen nuevas relaciones de origen empírico para estimar la tasa de penetración a partir de otros parámetros operacionales y las propiedades del suelo promediadas por sección. La exactitud de algunas aproximaciones implicadas (concretamente el uso de un tiempo de vida útil equivalente) se ha encontrado razonable usando los resultados de una excavación con los datos que eran lo más exactos posibles. Las relaciones propuestas serian mayormente aplicables como puntos de partida en proyectos en los cuales la geología está compuesta de suelos y rocas blandas y donde son predominantes los frentes heterogéneos. Abanto & Jeiner. (2016) “Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm,

rimadoras de 102mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la empresa CONMICIV S.A.C. en CMH S.A.” realizó este estudio con el fin de reducir los costos en operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm, rimadoras de 102mm y el consumo de explosivos en labores de desarrollo que realiza la empresa CONMICIV S.A.C en CMH S.A. Para el estudio usamos datos de consumo de brocas, rimadora y explosivos de los meses de junio y julio sin optimizar el uso (antes) y los meses de agosto, setiembre y octubre optimizando el uso (después). En la cual antes la broca de 45mm y rimadora de 102 sandvick venía presentando un rendimiento de 181m/broca 10% debajo de la vida útil y 172m/rimadora, 14% debajo de la vida útil dada por la empresa proveedora sandvick (200m) para esta mina. Generando un costo de perforación promedio de 162.5\$/m siendo este mayor en 3.8\$/m más del precio unitario de perforación (158.7\$/m), realizando el afilado se logró llegar a 156\$/m este 6.5\$/m menos del costo inicial. En voladura antes tenía un costo promedio de 106.7\$/m, 2.8\$/m más del PU de voladura (103.9 \$/m) después de aplicar el control en el consumo de explosivo se llegó a tener un costo de voladura de 96.6\$/m este 10.1\$/m menos del costo inicial. Para esta investigación se aplica el método científico analítico descriptivo, en la primera fase se analizó y definió la problemática del elevado costo de perforación y voladura, con la data de salida de brocas de 45mm, rimadora de 102mm y cantidades de explosivo usadas en los meses de junio y julio, permitió observar el comportamiento del costo de las operaciones unitarias en los dos meses. En la fase optimización y medición se usó los datos de los meses de agosto, setiembre y octubre, medimos los costos después de la implementación del mantenimiento realizando el afilado de brocas y mejora del consumo de explosivos. Luego se realizó un análisis, lluvia de ideas y plan de mejora

y acciones a tomar para reducir los costos de perforación y voladura. En la fase Mejora, se realizaron capacitaciones teóricas a supervisores (capataces y jefes de guardia), ayudantes y maestros de mina (cargadores). Generando un ahorro en perforación de 6770.2\$/tres meses y de 11137.7\$/tres meses. Fabara. (2013) “Optimización de la hidráulica para brocas de perforación en los campos Drago y Auca de EP Petroecuador”. su tesis tuvo como objetivo realizar un estudio técnico de la aplicación de brocas con cierta configuración hidráulica para las secciones de 16", 12.25" y 8.5" de los campos Auca y Drago de EP Petroecuador, a fin de determinar la relación entre la hidráulica de la broca y los parámetros de perforación. Se inicia con la descripción de los campos Auca y Drago, su localización geográfica, geología, condiciones de los campos tales como reservas y producción. Además, se explica el principio de funcionamiento de las brocas y como estas actúan al perforar la formación. Se describe el método utilizado para evaluar el desgaste de las brocas. También se explica los tipos de fluidos de perforación y el sistema de circulación, para poder determinar dónde se dan las pérdidas de presión, así como los principios empleados para la optimización hidráulica de la broca. A continuación, se procede a realizar un análisis por sección de cada uno de los pozos, a fin de determinar cómo los parámetros empleados afectaron el desempeño de la perforación. Se procede a realizar los cálculos hidráulicos de presión y TFA (Total Flow Área) a partir de un caudal ideal, de la misma manera se calcula el caudal y TFA operativo que se debe emplear de acuerdo a las condiciones de presión reales de los taladros. Las conclusiones y recomendaciones muestran la configuración hidráulica operativa más óptima de acuerdo con cada caso analizado. Portilla, Suárez & Corzo. (2012) “Metodología para la optimización de parámetros de perforación a partir de propiedades geomecánicas”. nos hablan acerca de la

optimización en la perforación de pozos está enfocada en la disminución de tiempos y por ende costos operacionales. Esto se puede lograr a partir de la evaluación de los parámetros de perforación utilizados durante la perforación de los pozos vecinos y con el desarrollo de programas de mejoramiento continuo y procesos eficientes del desempeño durante la perforación. Su artículo presenta una fácil y práctica metodología en la cual se evalúa la relación de la energía suministrada durante la perforación de un pozo con las propiedades geomecánicas, para determinar los parámetros óptimos que permitan aumentar la eficiencia del sistema de perforación y por lo tanto aumentar la tasa de penetración. Del análisis de los parámetros de perforación, utilizados en los pozos, se estima la eficiencia mecánica del sistema y se definen las zonas más críticas para implementar acciones de optimización de la perforación en pozos futuros de la zona, con la ayuda de la información registrada en la operación. Del Carpio Gallegos. (2005) “Optimización de la vida útil de las herramientas de perforación de rocas para percusión” nos dice que un sistema de perforación de rocas está compuesto por la roca, la perforadora y las herramientas de perforación. El más amplio y profundo conocimiento de las características y el comportamiento de cada uno de estos elementos ayudará a alcanzar una mayor vida útil de las herramientas de perforación de rocas. El aumento de la vida útil de las herramientas de perforación de rocas significará más metros perforados, y por lo tanto un ahorro en el costo de perforación. Este trabajo expone el empleo de los conocimientos fundamentales de la perforación que permite alcanzar una mayor vida útil de los aceros de perforación de rocas. Llaique Nuñoncca & Sánchez Guevara. (2015) hicieron una investigación que fue realizada en Mina Modelo ubicada en el departamento de Cajamarca, en labores de desarrollo, preparación y en tajos, en la

perforación de rocas. La investigación tiene como objetivo principal determinar el Costo Total de Perforación (TDC), que permita la optimización de esta operación unitaria en Mina Modelo. Las pruebas de campo se realizaron en diferentes tajos de la mina. Los equipos y herramientas que se utilizaron son perforadoras de modelo PIT Viper 271 de la marca Atlas Copco y brocas tricónicas PDB Tools Inc. de diámetro 10 5/8” cuyos Modelos son EX 722 (para terreno duro), EX 712 (para terreno medio), EX 532 (para terreno medio a suave), que son materia de estudio de esta investigación durante el año 2012 – 2013. Para realizar las pruebas de campo con las brocas tricónicas, fue necesario conocer el estado de los principales sistemas de estas nuevas perforadoras en las cuales se hicieron mediciones de presión de aire y de peso (pulldown), para de esta manera corroborar si están en la capacidad de perforar con un diámetro de 10 5/8”, lo cual es materia de estudio. La investigación analizó y evaluó una muestra de doce perforaciones aleatorias con los diferentes modelos de brocas, líneas arriba mencionadas para determinar la reducción del costo total de perforación (TDC); esto se logró con las nuevas tecnologías de brocas, las cuales son más resistentes al incremento significativo de la velocidad de penetración, además se suma a ello la correcta aplicación de los parámetros de perforación, reduciendo al TDC en 21.42% y 19.45% en terrenos duros y medio a suave respectivamente. Por lo tanto, estos modelos de brocas han dado buenos resultados, sobre todo en terrenos duros, ya que este presenta el costo más alto. Urteaga Gastolomendo & Cotrina Vilela. (2017). “Optimización del porcentaje de recuperación de testigos de sondajes diamantinos en rocas fracturadas, aumentando la viscosidad de los fluidos de perforación y variando parámetros operacionales en minera condestable, 2016”. Su investigación detalla la optimización del porcentaje representativo de los testigos de perforación diamantina

en rocas fracturadas variando algunos parámetros operativos y aumentando la viscosidad de los fluidos de perforación aplicados en minera condestable Proyecto Cerro Azul a los taladros de perforación diamantina que ejecuta la empresa especializada Boart Longyear SAC. Que posteriormente puede aplicarse en perforaciones que presenten este tipo de rocas. La perforación con recuperación de testigos es un sistema muy utilizado en la minería y construcción, mediante el uso de máquinas hidráulicas herramientas de corte y fluidos de perforación penetran grandes profundidades y extraen núcleos de rocas de diferentes diámetros que contienen toda la información real contenida en el subsuelo. El objetivo de la investigación es optimizar el porcentaje de recuperación de testigos de perforación en los taladros ejecutados por la Empresa Boart Longyear SAC, en Minera Condestable aplicando parámetros que se ajusten al tipo de terreno que permita mejorar la cantidad representativa de los testigos en los taladros diamantinos, dentro de estos parámetros operacionales está: los RPM, presión sobre la corona, tipo de broca de descarga frontal y aumentar la viscosidad de los fluidos de perforación para evitar el daño a las paredes del taladro en ejecución, mejorar la circulación de barrido y limpieza de los detritos. En este tipo de rocas, la recuperación es deficiente y afecta la calidad de los resultados de la exploración en tal sentido y con la aprobación del cliente es aceptada la investigación. Realizando de manera prudente los cambios en los parámetros operacionales se establece la velocidad de rotación en 1000 RPM, presión sobre la corona al inicio de la perforación 1000 lb, considerando la profundidad y el peso de la sarta de perforación se reduce gradualmente hasta lograr el avance fino (RPI). Aumentamos la viscosidad de los fluidos de perforación de 35 a 49 segundos, se implementó el uso de corona de descarga frontal, Teniendo como resultado el

incremento del porcentaje de recuperación de testigos en más del 15% después de haber realizado los cambios sugeridos de acuerdo a lo planteado en el proyecto de estudio. Roldan Juarez. (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”. nos dice que durante la perforación, las brocas funcionan bajo un principio esencial: vencer los esfuerzos de corte y de compresión de la roca. Para cumplir este propósito los dientes de la broca, en el caso de la tricónica, deben incrustarse en la formación rocosa y posteriormente cortarla cuando se desplaza dentro de la misma. Por esta razón se distinguen dos marcas fundamentales de brocas triconica utilizadas en la mina de Tintaya: SANDVIK y ATLAS COPCO. El trabajo de la broca dependerá del tipo y características de la roca que se desea cortar, principalmente en función de la dureza y los parámetros de perforación aplicada en el proceso de perforación como son, presión de aire (Pull Down) y las revoluciones por minuto (RPM). Que influirán directamente con el rendimiento y la vida útil de la broca triconica. Con una descripción de los parámetros de perforación en cada tipo de macizo rocoso en los tajos de la mina Tintaya. Se logro reconocer la influencia directa de cada parámetro de perforación en el rendimiento y la vida útil de las brocas triconicas, uno de los parámetros más influyentes es la baja presión de aire para el barrido generando una remolienda casi permanente y la alta presión vertical generando un daño mayor a los insertos de la broca triconica. La perforación Es la capacidad de perforar con una broca una roca determinada. Para dar un index general de perforabilidad es necesario considerar que la roca ígnea, sedimentaria y metamórfica tienen características particulares de resistencia a la perforación y de abrasividad producida por sus componentes minerales y el tamaño de los granos.La perforación primaria es la

primera operación que se realiza en una mina a tajo abierto y tiene por finalidad abrir unos pozos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde se van a alojar las cargas de explosivos y sus accesorios iniciadores. Lo más importante en Perforación: Conocer su Equipo de Trabajo. Aprender los buenos hábitos en perforación. Aprender a Usar adecuadamente los Parámetros de perforación. Sectorizar la mina y conocer los diferentes tipos de terrenos. Buenos hábitos de Perforación: Siempre preguntar, nunca quedarse con la duda. Anotar todo lo sucedido en un libro de bitácora o a libreta de turno. (palabras se las lleva el viento). Siempre trabajar con las manos en los switch del Empuje y Rotación Concentración absoluta en su labor, (evitar leer periódicos y/o revistas en horas de trabajo). Use sólo los parámetros que le pida el terreno. Limpiar siempre la broca, por lo menos dos veces por turno.

Propiedades de las Rocas que afectan a la Perforación: Las principales propiedades físicas de las rocas que influyen en los mecanismos de penetración son: Dureza. Resistencia. Abrasividad. DUREZA: La dureza de la roca es el principal tipo de resistencia a superar durante la perforación. RESISTENCIA: Se llama resistencia mecánica de una roca a la propiedad de oponerse a su destrucción bajo una carga exterior, estática o dinámica. Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión; comúnmente la resistencia a la tracción no pasa de un 10 a un 15% de la resistencia a la compresión. ABRASIVIDAD: La abrasividad es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro, en el proceso de rozamiento durante el movimiento. Los factores que elevan la capacidad abrasiva de las rocas son las siguientes: Contenido de Sílice o cuarzo (Lagunas Norte: 98% de sílice) La forma de los granos, los angulosos son más abrasivos que los redondeados. El tamaño de los granos. Dureza y el Tamaño de los Granos (Abrasividad) Las rocas

con granos grandes son fáciles de perforar. Las rocas con granos grandes desgastan menos la broca que las rocas con estructura de grano fino. Estructuras de rocas con contenido mineral similar pueden tener diferentes grados de índices de perforabilidad. ¿Por qué es importante el Sistema de Lubricación de Brocas? Es importante porque ayuda a refrigerar y enfriar los paquetes de los rodamientos de los conos, y prolonga la vida de las brocas en un 10 a 15%. Velocidad ascensional Mínima Si conocemos la densidad de la roca y el diámetro de las partículas, podemos calcular la velocidad ascensional mínima: Ecuación de la Velocidad Ascensional mínima. Brocas Chumpitáz Cari. 2007. Pág (127-136) Es el elemento cortante ubicado al frente de la perforación por el medio del cual se profundiza la sonda, recibe el nombre común de broca o también el de corona de perforación. Su función es la permitir el tren de perforación, cortar la roca o avanzar en material suelto. Según su diseño le da estabilidad al tren reduciendo sus vibraciones, es por esto importante usar siempre brocas adecuadas dependiendo del tipo de suelo a perforar. Las coronas diamantinas son brocas de sección anular, de manera que conforme avanza la perforación se talla una muestra de forma cilíndrica que se aloja en un muestreador (porta testigos) inmediatamente detrás de la corona. Los diamantes que se emplean en la fabricación de las coronas varían en calidad y tamaño, y la matriz que la sustenta es fabricada con durezas diferentes. La elección de un tipo de broca determinado estará en función de la dureza, abrasividad, grado de fracturamiento y tipo de roca a ser perforada. Brocas de Carburo de Tungsteno (Tipo Widia): Estas brocas generalmente tienen unos prismas octogonales de carburo de tungsteno que proporcionan una sujeción segura al cuerpo de la broca. Los prismas se fabrican en tres diámetros 4, 5.5 y 7.5 mm. El grosor de corte de la corona determina el diámetro del prisma a utilizar. Los prismas son

rectificados a un ángulo de 10° del plano vertical y pueden reafirmarse. Estas brocas son utilizadas a velocidades relativamente bajas. La velocidad de rotación es excesiva, los prismas se sobrecalientan, produciéndose un rápido desgaste de las mismas. Este tipo de brocas solamente deberán usarse en formaciones blandas como: arcilla, pizarra blanda y dura; caliza blanda y semidura, yeso, arena, sal, tierra helada y hielo. También son apropiados para perforar en terrenos de recubrimiento y para limpieza de sondeos. Los testigos obtenidos mediante su uso son normalmente de baja calidad. Esto se debe a que los prismas presionan los detritus y otros materiales contra el testigo; además la forma de la corona produce una alta vibración durante la perforación. Brocas de Carburo de Tungsteno Triturado: El frente de corte consta de plaquitas de carburo de tungsteno triturado (tamaño granular de 2 – 5 mm) soldados al cuerpo de la roca. El tipo de broca determina el tamaño granular del carburo del tungsteno. Durante la perforación tienen más aristas cortantes en contacto con la roca que las brocas con prismas. Esto reduce la vibración, produciendo un testigo de mejor calidad y permite utilizar la broca a mayores velocidades de rotación que las brocas de prismas. La velocidad de rotación más conveniente lo determina el tipo de roca que se perfora y otros factores propios de la perforación, por lo que su velocidad periférica puede variar entre 0.5 – 2 m/s (Velocidad periférica recomendada, aproximadamente 1 m/s). Este tipo de brocas son apropiadas para rocas de dureza algo mayor que las brocas con prismas (rocas semiduras abrasivas, como arenisca semidura, pizarra dura o rocas sedimentarias) También son apropiadas para limpieza de sondeos; por ejemplo, para extraer cuerpos extraños, coronas quemadas, etc. Otra ventaja de este tipo de corona cuando se emplea aire comprimido como medio de barrido, es el diseño de las aristas cortantes, que proporciona una refrigeración más efectiva y dispersión del calor.

Brocas con Diamantes: Diamantes: Están compuestos por carbones cristalinos y tienen dos importantes propiedades físicas, por lo que son el elemento de corte más apropiado para montar en las brocas de perforación. Estas propiedades físicas son: Es el material más duro y resistente al desgaste. Su capacidad de conducción del calor a temperatura térmica del diamante, dependiendo del tipo, es entre 2 y 7 veces superior a la de la plata o el cobre. Esta característica es especialmente valiosa cuando se monta el diamante como elemento de corte de la corona, ya que el calor producido durante la perforación es eficazmente disipado. El diamante, sin embargo, es frágil y puede romperse fácilmente si es sometido a golpes. Es además relativamente sensible a altas temperaturas en que empieza a transformarse en grafito y más frágil aún, cuando se sobrecalienta. **Tamaño del Diamante:** Generalmente la medición del diamante se hace mediante dos métodos: malla o quilate. El número de malla indica la cantidad de mallas por pulgada de un tamiz. Por ejemplo: 20 – 30 de malla quiere decir, que los diamantes pueden pasar a través de un tamiz con 20 mallas por pulgada, pero no a través de un tamiz con 30 mallas por pulgada. Quilate es un peso: 1 quilate = 0.200 gramos. Por ejemplo: 1/20, 1/50, designan 20 o 50 piedras por quilate (P.P.Q.) **Brocas con Diamantes Insertados:** Actualmente en la mayoría de las brocas insertadas se usa diamantes naturales. Los diamantes son insertados en la matriz de la parte frontal de la broca dejando el diamante expuesto de un octavo a un tercio. Se permite mayor exposición del diamante para formaciones de roca blanda a semiblanda y menor exposición para formaciones duras, fracturadas y abrasivas. Los diamantes son montados en tal forma que la matriz quede cubierta uniformemente. Un montaje incorrecto puede ocasionar el desgaste de la matriz circundante y la consiguiente pérdida de los diamantes, estos pierden su capacidad de corte principalmente por

haberse pulido, fracturado o quemado. La matriz que sujeta los diamantes en una posición de corte está compuesta de un material duro y resistente al desgaste. Este material normalmente consistente en carburo de tungsteno o cimentado, y uno o más componentes blandos son fundidos con un material de soldadura blanda. La dureza y la resistencia al desgaste de la matriz puede variar para adecuarse a las características de la roca. Durante la perforación, la resistencia al desgaste es más importante que la dureza. No hay una deformación generalmente aceptada para la resistencia al desgaste, por lo que algunas veces la resistencia al desgaste es definida incorrectamente como dureza.

La Influencia de la Calidad del Diamante, en el Rendimiento: El usuario de las brocas insertadas está interesado principalmente en el costo del diamante por metro perforado. El alto precio pagado por diamantes de la alta calidad es a menudo compensado por una mayor duración de la broca. El uso de diamantes de calidad excesivamente baja, en general, aumenta el costo por metro perforado, siendo el avance bajo. Si la formación de la roca es muy fracturada o dura, y daña la corona o reduce drásticamente su duración; la mejor solución es cambiar a una broca impregnada.

Influencia del Tamaño del Diamante en el Rendimiento: Como corona se puede decir que cuanto más blanda sea la formación, mayor será el tamaño del diamante utilizado; mejor dicho 20 P.P.Q. o aún mayor en caliza blanda. Cuando más dura sea la formación, se usará un diamante más pequeño y de mejor calidad, por ejemplo, en granito se utilizará diamantes de calidad de 90 P.P.Q. En formaciones blandas, los diamantes grandes penetran con mayor profundidad en la roca, resultando un avance más efectivo que con diamantes pequeños. Por el contrario, en formaciones duras, los diamantes pequeños no pueden profundizar tanto en la roca. Si se usan diamantes excesivamente grandes para formaciones duras, la fuerza ejercida sobre

cada diamante se hace demasiado elevada dando lugar a la fractura. Influencia de la Matriz en el Rendimiento: La matriz es el soporte metálico donde se encuentra embebidos los diamantes a través de todo su volumen, sirviendo de soporte a éstos, mientras mantienen capacidad cortante. La composición de la matriz es quizás el factor más importante en el rendimiento de la broca. El diseño o formulación de la matriz tiene como objetivo que exista una relación directa entre el desgaste del metal de la matriz con la abrasividad de la roca; de manera que a medida que los diamantes se vayan gastando, se expongan otros nuevos. (Brocas de tipo impregnado).

Forma Geométrica del Frente de la Broca: Existen diversos diseños de brocas, siendo las más comunes el semiplano o semiredondo, con nervios de refuerzo en los laterales. Las brocas de paredes gruesas tienen normalmente un perfil escalonado; cinco escalones son utilizados con bastante frecuencia para conseguir una mayor penetración y sondeos más rectos, especialmente en formaciones duras. Las coronas wireline son del tipo escalonado, en ciertas formaciones blandas existe el riesgo de que el agua de barrido pueda dañar el testigo. Para evitarlo se usa la broca de descarga frontal, donde el agua de barrido pasa a través del frente de la broca sin tocar el testigo. Diseño semiplano con descarga interna, para coronas de paredes muy delgadas. Diseño de los escalones con descarga interna, para coronas de paredes delgadas. Diseño de tres escalones con descarga interna, para brocas de paredes ligeramente más gruesas. Por ejemplo: brocas tipo AQ – BQ. Diseño de cuatro escalones con descarga interna, para brocas wireline de paredes más gruesas tipo NQ – HQ. Brocas con Diamantes Impregnados. Están hechos de la misma manera que un esmeril de diamante con miles de agudas partículas de diamantes ligados en la matriz de la cabeza de la broca. Con la elección correcta de la matriz y los parámetros de perforación (velocidad de rotación y fuerza de empuje)

la broca se autoafilado, consiguiéndose una penetración más o menos constante durante la vida útil de la broca. Utilizándose correctamente la broca, se obtiene el autoafilado, produciéndose desgaste simultaneo de matriz y diamantes, con lo que constantemente son expuestos nuevos diamantes en la superficie de corte. Para cada combinación de broca y formación de roca hay un campo de ajuste de la fuerza de empuje de perforación, que facilita el autoafilado sin causar excesivo desgaste. Este campo de ajuste se reduce cuando se aplican velocidades de rotación muy altas (2.200 rpm para un diámetro A o 46 mm) ya que una fuerza de empuje demasiado baja puede dar lugar a que los diamantes se pulan y si por el contrario es demasiado alta puede dar lugar a un sobrecalentamiento. Las características de una broca de impregnación dependen el tipo de diamante, de la matriz y del fundente entre los diamantes y la matriz. Una broca “dura” puede tener una matriz resistente al desgaste en combinación con diamantes duros, mientras que una broca blanda puede tener una matriz ligeramente menos resistente al desgaste. Las ventajas de utilizar una broca de impregnación son los siguientes: Se necesita menor cantidad de brocas, cuando se perfora en formaciones duras o fracturadas, que los de inserción. No se hace necesario recuperar las brocas, como en el caso de las insertadas (manejo más fácil). Igual régimen de penetración con la misma fuerza de avance, a lo largo de la vida útil de la broca. Este como norma, permite hacer sondajes más rectos en comparación con las brocas de diamantes insertados. Esto como norma, permite hacer perforaciones más rectas en comparación con las brocas de diamantes insertados. Como normas prácticas dadas por la experiencia en el uso de brocas, podemos dar las siguientes recomendaciones: A formación más dura, bronce más blando. A mayor velocidad de rotación, broca más blanda. Cuanto más difíciles sean las condiciones, como

formaciones fracturadas, abrasivas, maquinas muy potentes, vibraciones, etc. La broca debe ser más dura. Para obtener una duración y penetración mayor, se necesita una alta velocidad de rotación con brocas impregnadas, la velocidad periférica no deberá ser menor de 2 m/s (800 RPM para brocas de diámetro A de 46 mm). Una velocidad periférica de hasta 5 m/s (2000 RPM para brocas de diámetro A de 46 mm) puede usarse sin perjudicar la broca. Un problema frecuente cuando se realiza sondajes con velocidades de rotación altas es que todo el tren es sometido a grandes vibraciones, comunicando éstos a la unidad de fuerza dañando los engranajes del cabezal. Debido a que los tubos de perforación no son totalmente rectos y que al momento de darle rotación; el tren de perforación se “bate” de una forma que produce vibraciones en toda su longitud, originando un desgaste prematuro de la unidad de fuerza como también del mismo tren. Se debe tener cuidado al darle una velocidad de rotación alta.

Salidas de Agua: La mayoría de las brocas están previstas de salidas de agua transversales a su frente, ubicados de forma radial. Son canales que van desde la pared interior a la exterior de la corona de la broca y corresponden al diseño de descarga interna; es decir, que el agua de barrido del detritus pasa por la cara interna de la broca lavando el testigo. En formaciones de roca sana esto no tiene inconvenientes, pero si cuando se quiere recuperar muestras en roca alterada o suelo, por lo que se recurre para estos casos a las brocas de descarga lateral diseñadas para que el agua de barrido no llegue a tener contacto con el testigo. La broca de descarga frontal tiene sus salidas de agua compuestas por una serie de agujeros a través del frente de la corona y matriz. Estos agujeros son de forma redonda u ovalada, y están diseñados para investigar el contacto del agua de barrido con el testigo, con lo que se evita la erosión de la muestra cuando se perfora en formaciones blandas. El tipo de broca y su aplicación dependen

básicamente del número de perforaciones y el tipo de suelo. Las coronas o brocas son fabricadas con diámetros diferentes, que permiten la perforación de sondeos escalonados, con la finalidad de reducir la vibración de la tubería de perforación, y en rocas fracturadas, evitar el estrangulamiento de la línea de perforación por agotamiento del revestimiento, a causa del rozamiento con las paredes del sondeo. En el sistema estándar las últimas letras de la designación (G y M), indican el tipo de descarga del agua de circulación. La serie G corresponde a coronas con descarga lateral; el agua de circulación entra en contacto con la muestra por encima del frente de perforación, y se emplea donde el agua no erosiona ni altera las características de la muestra. La serie M corresponde a coronas de descarga frontal, de modo que la descarga del agua de circulación entra en contacto con la roca únicamente en el frente de perforación. Su empleo es recomendable en macizos fracturados y rocas blandas. Perforación con Brocas Bernaola, Castilla, & Herrera. (2013). (pág 32-33) Incluyen todas las formas de perforación rotativa mediante útiles, cuya estructura de corte está formada por elementos de carburo de tungsteno convenientemente dispuestos en la herramienta de perforación y en la cual ocupan unas posiciones fijas. Este útil, dependiendo de su forma y tipo de aplicación, recibe distintas denominaciones (trialeta, broca de tenedor, broca progresiva, etc.). La fragmentación de la roca en este tipo de perforación parece originarse principalmente como consecuencia de los esfuerzos de cizalladura generados. Consecuentemente, la velocidad de perforación varía de forma proporcional a la velocidad de giro. También es proporcional a la fuerza de empuje, pero siempre y cuando ésta no supere un cierto valor límite que haga a la broca hundirse tanto dentro de la formación que quede virtualmente atascada. En cualquier caso, cabe mencionar aquí que las velocidades de perforación obtenidas con este

sistema, en las contadas aplicaciones en que es viable, son muy superiores a las que se obtendrían con un sistema a percusión. La razón hay que buscarla en el hecho de que este tipo de perforación rotativa es un proceso de corte de la roca casi continuo, mientras que, en la perforación percusiva, la fragmentación de la roca ocupa en tiempo escasamente el 15% del ciclo del martillo. La principal limitación de este tipo de perforación radica en el fuerte incremento que experimentan tanto el par de giro como el desgaste del útil a medida que aumenta el diámetro de perforación o la dureza de la roca. Este sistema sirve por tanto para rocas blandas que puedan perforarse con empujes inferiores a las 2500 libras por pulgada de diámetro (500 N/mm aproximadamente) y cuyo contenido en sílice no supere el 8%. La velocidad de rotación estará limitada por el desgaste del útil de perforación que, a su vez, depende de la naturaleza de la roca y de la velocidad periférica. Así pues, velocidad de rotación y diámetro de barreno habrán de adecuarse entre sí para que, salvo en casos de rocas extremadamente blandas y nada abrasivas, la velocidad periférica del útil de corte no sea superior a 1 m/s. CONOS: Tienen los insertos de carburo de tungsteno prensados para cortar la roca. Tienen superficies maquinadas dentro del cono para los rodamientos. Tienen superficies externas. Se usan mayormente los rodillos y bolas en la configuración de los rodamientos. PATA: 2 o 3 patas son unidas y soldadas con conos puestos y se forma la rosca del hilo para conectar a las barras La pata tiene un muñón maquinado que sostiene el rodamiento del cono. Lleva las boquillas tipo Jets o orificio de circulación central que regulan el caudal y presión de los fluidos. RODAMIENTOS DE RODILLOS: Los rodamientos de rodillo son diseñados para tomar la mayor parte de las fuerzas radiales. INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO: Los conos tienen hileras en ellas. Cada hilera tiene orificios perforados

en los cuales se presan los insertos de carburo de tungsteno. La geometría de las hileras, el diámetro, número y forma de los insertos son en conjunto llamados estructura de corte. Diferentes tipos de rocas requieren diferentes estructuras de corte. Una broca con insertos largos, con mucho espacio entre ellos son usados para perforar roca suave. Una broca para formación suave está diseñada para perforar raspando y extruyendo a la vez. Una broca para formación dura típicamente tiene insertos chicos y esféricos, con poco espaciamento entre ellos. Está diseñado para extruir la roca (por compresión). **CARBURO DE TUNGSTENO:** Consiste en una mezcla de carburo de tungsteno y cobalto. El tungsteno provee al inserto la dureza requerida y resistencia al desgaste mientras que el cobalto provee de la resistencia al quiebre. Es producido por un proceso metalúrgico seco de polvo El polvo formado es compactado dentro una forma diseñada bajo presión y vacío. Entonces los insertos se sinterizan a altas temperaturas causando que los granos se amalgamen. Cuando los insertos son enfriados ellos se contraen a sus dimensiones finales. **CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CORTE DE LAS BROCAS:** Las estructuras de corte son diseñadas para: determinada resistencia a la compresibilidad, abrasividad, densidad, y homogeneidad de la roca. Brocas muy agresivas Para rocas suaves con una resistencia a la compresibilidad hasta de 100MPa (14 500psi). Brocas agresivas Para rocas suaves con una resistencia a la compresibilidad de 75 - 125MPa (10878 -18130psi). Brocas medias Para Formaciones de roca media con resistencia a la compresibilidad de 100 - 310 Mpa (14 500 – 44 962psi). Brocas duras Para roca dura con resistencia a la compresibilidad de 200 MPa (29 000psi) (minimum). **SELECCIÓN DE LA BROCA** Otro factor importante para considerar cuando se está seleccionando una broca para que logre mayor penetración, es el tamaño de la superficie de ataque del inserto,

mientras más grande sea este, deberá ser mayor la presión sobre la roca, para que la superficie de la roca fracture. Efectuando pruebas de perforación bajo condiciones controladas es la mejor manera de determinar el tipo correcto de broca para la aplicación. Es necesario recordar que las Formaciones de roca pueden variar grandemente, incluso a distancias cortas y esto necesita ser considerado durante las pruebas de perforación.

SELECCIÓN DE LAS BOQUILLAS En brocas de rodamientos abiertos, las boquillas son usadas para regular la distribución del aire comprimido entre los rodamientos y las boquillas. Es muy importante elegir el diámetro correcto de la boquilla para asegurar el correcto funcionamiento de la broca y compresor: Cuando las boquillas son muy grandes, más del caudal de aire pasa por las boquillas y menos por los rodamientos para la refrigeración. Permite que los detritus entren con mayor facilidad a los rodamientos, reduciendo la vida útil del mismo. En algunos compresores, la presión mínima de trabajo actuará para proteger el compresor, sacrificando la broca al restringirse el caudal del tanque-reservorio de aire comprimido. Las boquillas chicas generan mayor presión y aceleración de partículas lo que puede generar erosión en los conos y patas. La alta presión puede generar que el compresor frecuentemente se descarge o restrinja el volumen de aire recibido cerrando la válvula de acceso. Ambos casos resultan en una condición subestándar de barrido y consecuente la perforación será no óptima.

LÍNEA DE PERFORACIÓN: Las varillas de acero se fabrican con acoplamientos soldados por fricción. Los acoplamientos están templados para ofrecer mayor resistencia al desgaste y mayor fuerza en las conexiones roscadas. El cuerpo central es de pared delgada para reducir el peso y mejorar la capacidad de profundización.

VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y PULL DOWN: Crestas y/o rocas muy fracturadas - Perfore con menos

peso (WOB) y RPM. Esto reduce la rotura de insertos y las cargas de impacto dentro los cojinetes de rodillos de brocas con cojinetes de aire. Material Blando - Perfore con mayores RPM y menos peso sobre la broca (WOB). Material Duro - Perfore con menos RPM y más Peso sobre la Broca (WOB). Al Desgastarse la broca: Incremente el peso (WOB). Cuando la presión de aire se incrementa: Saque la broca del hoyo y examine, verifique si hay taponamientos y conos calientes. Lave si hay taponamiento. Inicio del pozo: Siempre reduzca el peso y RPM. Aire de la Broca: Debe Mantenerse hasta que la broca salga del hoyo. Aire de Barrido: No perfore a mayor velocidad de la que el aire pueda remover los cortes. Cuando la presión de aire se incrementa: Saque la broca del hoyo y examine, verifique si hay taponamientos y conos calientes. Lave si hay taponamiento. Inicio del pozo: Siempre reduzca el peso y RPM. Aire de la Broca: Debe Mantenerse hasta que la broca salga del hoyo. Aire de Barrido: No perfore a mayor velocidad de la que el aire pueda remover los cortes. Fases de trabajo de un tricono

Fase Abrasiva de la Fractura de la Roca: Como el peso sobre la broca no es suficiente para superar la resistencia de la superficie de la roca, los insertos desgastan la roca antes que cortarla. La acción de corte es muy parecida al que haría una hoja de un cuchillo en una piedra de afilar. El operador de la perforadora puede identificar fácilmente esta fase porque el polvo que sale del pozo es muy fino

Fase de Fatiga de la Fractura de la Roca: El peso sobre la broca se ha aumentado mientras se mantiene el mismo número de revoluciones por minuto (RPM), como en el ejemplo anterior. Como se puede ver, al aumentar el peso los insertos penetran ligeramente en la roca. Aunque los insertos penetran en la roca, la roca todavía no cede. Esta etapa se llama fase de fatiga. El operador de la perforadora reconoce esta fase porque el corte produce algunas astillas pequeñas junto con polvo fino. La roca está sometida a muchos ciclos,

y puede ceder en esta fase. A pesar de ello, la velocidad de penetración es lenta y el desgaste de la broca aumentará. Fase de astillamiento de la Fractura de la Roca En esta fase, mientras las revoluciones permanecen constantes, se aplica suficiente peso para superar la resistencia de la superficie. Como se ve en la figura, la matriz del cono no choca con la roca. Fractura de la roca / Fase de astillamiento En esta ilustración de la fase de astillamiento se aprecia que el nivel de peso genera descascaramiento o astillamiento. Las astillas (detritus) salen del pozo impulsadas por el caudal de aire, permitiendo que la estructura cortante avance sobre un fondo limpio del pozo. Cuando los parámetros de perforación logran que la broca opere en esta zona, la broca perfora con un máximo de eficiencia. El operador de la perforadora sabrá cuando ha llegado a la fase de astillamiento, esto ocurre cuando la perforación saca predominantemente astillas (detritus) y muy poco polvo. ¿MÁS ES MEJOR? Exceso de peso La adición de más peso sobre la broca después de la fase de astillamiento es perjudicial para la perforación eficiente y para la vida útil de la broca. Como se ve en la Figura, la matriz del cono choca con la roca y las astillas desprendidas quedan atrapadas entre la broca y el fondo del pozo, reduciendo la eficiencia de la broca y aumentando su desgaste.

Cómo obtener la máxima penetración Cuando la broca perfora en la fase de astillamiento, se pueden alcanzar velocidades más altas de penetración (perforación eficiente) aumentando las RPM mientras se mantiene constante el peso. El aumento de eficiencia depende de las características de la roca y la eficiencia de la perforadora y del operador. Como indica la curva en la Figura, si las RPM se aumentan por encima de un punto determinado se disminuye la eficacia. Este fenómeno se debe a que los Insertos no se mantienen el tiempo suficiente en el fondo del pozo para transferir con eficacia la energía a la roca. Especificaciones de los Equipos de Perforación •

Los equipos de perforación en sus especificaciones nos detallan: • Capacidad máxima de Pull Down (fuerza) • Presión del sistema hidráulico para el Pull Down Fuerza por área. • Al encontrar el área podemos establecer la aplicación de empuje de acuerdo al tipo de terreno, diámetro y tipo de broca utilizada en la perforación. TERRRENO SUAVE: $3000 \text{ lb} \times 10.625 = 31.875 \text{ lbs}$. TERRENO MEDIO: $5000 \text{ lb} \times 10.625 = 53.100 \text{ lbs}$. TERRENO DURO: $7000 \text{ lb} \times 10.625 = 74.350 \text{ lbs}$. VELOCIDAD DE PERFORACIÓN: La velocidad de instantánea en la perforación del taladro es el tiempo que demoramos al perforar desde el inicio hasta el fin del taladro. La velocidad operativa en la perforación del taladro es el tiempo que demora al perforar desde inicio hasta el final del taladro más el tiempo de traslado. El tiempo de traslado afecta en un porcentaje considerable en la velocidad operativa de perforación. TDC (Costo Total de Perforación): Método de evaluación de costos totales de perforación. Se basa en la productividad de la perforación y no en la vida de la broca. Filosofía basada en que el costo de la productividad de perforación maneja la economía de la mina.

Formulación del problema

¿En qué medida se reducirán los costos operativos al aumentar la velocidad de rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Reducir los costos operativos al aumentar la velocidad de rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar el Pull Down ideal de perforación para terrenos duros, fracturados y abrasivos. Determinar la velocidad de rotación (RPM) ideal para la perforación de terrenos duros fracturados y abrasivos.

1.3. Hipótesis

Señalar las respuestas a priori de los objetivos de la investigación. Recuerda que las hipótesis aplican para trabajos de corte cuantitativo de estrategia manipulativa o asociativa.

1.3.1. Hipótesis general

Al aumentar la velocidad de rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos, se reducirán los costos operativos de minería.

1.3.2. Hipótesis específicas

Al aumentar la velocidad de rotación se determinará EL PULL DOWN ideal de perforación. Al aumentar la velocidad de perforación se determinará la rotación ideal para el terreno de estudio

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, tipo experimental con diseño cuasi experimental porque se van a comparar datos de rendimiento antes y después de aplicar el aumento de velocidad en terrenos duros y abrasivos.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: Todas las zonas donde se realiza perforación en minera. Muestra: Una zona donde se realiza perforación en la malla de voladura.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La recolección de información se hará directamente en el área de perforación. La técnica de recolección de datos es el análisis documental y la observación. Con el análisis documental se recolectó de los reportes de los operadores de perforación y su respectivo supervisor.

2.4. Procedimiento

Describir los pasos en el desarrollo de la investigación. En el caso de estudios en ingeniería este apartado recibirá la numeración 2.3

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a pruebas realizadas en la perforadora PV 25 y 26., con la broca de 10 5/8”.

La perforación se realizó en una zona dura, fracturada y abrasiva (Cerro Cristina Chaquicocha).

1. Calculo del Pull Down en la perforación para la broca de 10 5/8”

DATOS:

Broca 10 5/8 = 10.625 plg

T. Suave 1000lb – 3000lb

T. Medio 3000lb – 5000lb

T. Duro 5000lb- 7000lb

CALCULO DEL PULL DOWN:

Terreno suave: 3000 lb x 10.625 = 31,875 lbs

Terreno medio: 5000 lb x 10.625 = 53.100 lbs

Terreno duro: 7000 lb x 10.625 = 74,350 lbs.

Los parámetros aplicados durante la perforación en la barra fueron los siguientes:

75.000 libras de pull down, 80 - 100 RPM. (Sabido que por teoría de perforación en este tipo de terreno el pull down a utilizar es entre 60 – 80 RPM).

2. Calculo de la velocidad de penetración en función a la velocidad instantánea y operativa.

Tabla 1

PRODUCTIVIDAD DE LAS BROCAS ATLAS COPCO E 71 10 5/8”

Operador	Fecha	Velocidad Instantánea	Velocidad operativa
Dolores Alvarado	15/03/2018 turno A	31,75	28,43
Gallardo Atalaya	15/03/2018 turno B	31,59	27,91
Dolores Alvarado	16/03/2018 turno A	33,03	29,58
Gallardo Atalaya	16/03/2018 turno B	26,81	23,6
Promedio		30,795	27,38

Datos de cada operador de los turnos A y B, con sus respectivas velocidades; en el desgaste de la broca E 71806607 – 926.4 Metros PV 26.

VELOCIDAD INSTANTANEA:

$$V.I = X \text{ mts} \left(\frac{1 h}{\frac{Y}{60}} \right)$$

Ecuación N° 1

Datos:

- **X:** Profundidad del banco (10 metros)
- **Y:** Tiempo promedio de perforación del banco (19 min)

Entonces:

$$V.I = 10 \text{ mts} \left(\frac{1 h}{\frac{19}{60}} \right) = 31.75 \text{ m/h}$$

Operador	Fecha	Velocidad Instantánea	Velocidad operativa
Dolores Alvarado	15/03/2018 turno A	31,75	28,43

VELOCIDAD OPERATIVA:

$$V.O = X \text{ mts} \left(\frac{1 h}{\frac{Y + 2}{60}} \right)$$

Ecuación N°2

Datos:

- **X:** profundidad del banco (10 metros).
- **Y:** tiempo promedio de perforación del banco (19 min)
- **2:** tiempo de traslado de la perforadora de taladro a taladro (2 min)

Entonces:

$$V.O = 10 \text{ mts} \left(\frac{1 h}{\frac{21}{60}} \right) = \mathbf{28.43 \text{ m/min}}$$

Operador	Fecha	Velocidad Instantánea	Velocidad operativa
Dolores Alvarado	15/03/2018 turno A	31,75	28,43

La velocidad de penetración viene a ser el promedio de los datos de la velocidad operativa, es decir la velocidad de penetración para esta guardia en la Tabla N°1 es 27.38 m/h.

3. Calculo del TDC

$$TDC = \frac{\text{Costo de la Broca}}{\text{Metros Perforados}} + \frac{\text{Costo de la Perforadora}}{\text{Velocidad de Penetracion}}$$

Ecuación N°3

DATOS SIN EL AUMENTO DE RPM:

Según la teoría de perforación para terrenos duros se aplica un parámetro de 60 – 80 RPM, obtenemos:

- ✓ Costo de la Broca = 4000 \$.
- ✓ Metros Perforados = 926.4 m.
- ✓ Costo de la Perforadora /hora = 150 \$/hora.
- ✓ Velocidad de Penetración = 17.28m/h.
- ✓ $TDC = \frac{4000 \$}{926.4m} + \frac{150\$/h}{17.38m/h}$

$$TDC = 13 \$/m$$

DATOS CON EL AUMENTO DE RPM:

Al aumentar la velocidad de rotación en la perforación, aplicando un parámetro de 80 – 100 RPM, obtenemos:

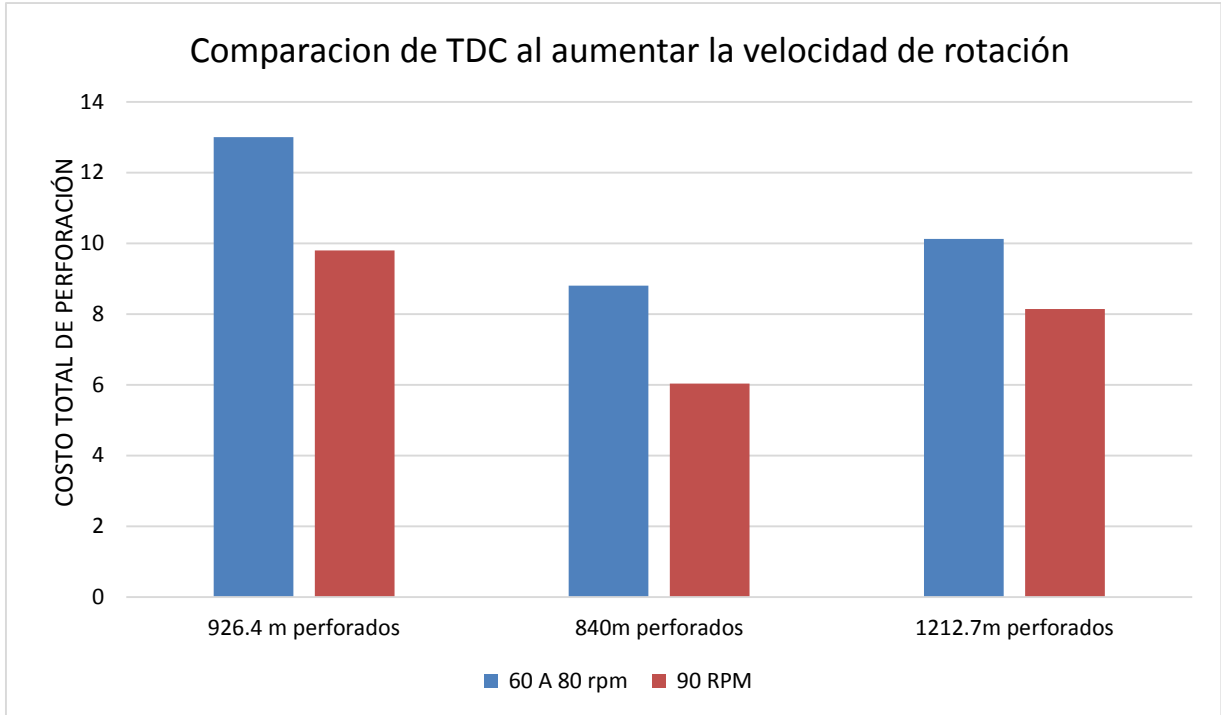
- ✓ Costo de la Broca = 4000 \$.
- ✓ Metros Perforados = 926.4 m.
- ✓ Costo de la Perforadora /hora = 150 \$/hora.
- ✓ Velocidad de Penetración = 27.28 m/h.
- ✓ $TDC = \frac{4000 \$}{926.4m} + \frac{150\$/h}{27.38m/h}$

$$TDC = 9.8 \$/m$$

Al aumentar la velocidad de rotación obtenemos un mejor resultado en el costo total de la perforación TDC, según los resultados obtenidos tenemos un ahorro de 3.2 dólares por metro.

Tabla N° 2

Comparación del TDC al aumentar la velocidad de rotación.



En esta tabla de comparación podemos observar claramente la reducción del costo total de perforación con el aumento de la velocidad de rotación.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

La teoría de perforación nos dice que en función al grado de dureza del terreno se deben aplicar las siguientes RPM. Terreno suave: 100 RPM – 120 RPM Terreno medio: 80 RPM – 100 RPM Terreno duro: 60 RPM – 80 RPM. En la presente investigación se demostró que, al utilizar un parámetro más alto de RPM en el terreno duro, obtendremos más velocidad de penetración y mejores resultados en los costos totales de perforación.

4.2 Conclusiones

Con 75.000 libras de pull down (broca 10 5/8”) y una rotación de 90 rpm; se obtiene una presión promedio de 3.000 psi en el sistema de rotación. Esto significa que si se quiere reducir las RPM de la barra a menos de 90 rpm (en un parámetro de 80 – 100 rpm); la presión de rotación aumenta, paralizando la rotación del cabezal y el proceso de perforación. En este tipo de terreno la rotación no puede ser menor a 90 rpm ya que no obtendremos mejoras en los costos y a la par el desgaste de brocas será el mismo que al utilizar los parámetros considerados según teoría.

REFERENCIAS

- ✦ Uribarri Urbina, W. (2013). “Perforación Mecanizada, periodo 2013”, tesis para optar el título de Ingeniero de Minas.
- ✦ Garay Gómez, H.Z. (2014) “Análisis de Vías de agua de Brocas de Perforación Diamantina, periodo 2014”, tesis para optar el título de Ingeniero de Minas.
- ✦ López Rodríguez, R. J. (2012) Estudio de desempeño y rendimiento de brocas de perforación en el campo Shushufindi para optimizar tiempos de perforación mediante la aplicación de la base de datos Phoenix de Halliburton, periodo 2012”, tesis para optar el título de Ingeniero de Minas.
- ✦ González Páez, C.V. (2014) “Rendimiento, desgaste y abrasividad en excavación mecanizada de túneles en terrenos heterogéneos” (Tesis doctoral), UPC, Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, España.
- ✦ Abanto Cruz, J.O. & Vásquez Valverde, J. (2016) “Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm, rimadoras de 102mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la empresa CONMICIV S.A.C. en CMH S.A.” (Tesis de pregrado), UNT Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- ✦ Fabara Parreño, J.P. (2013). “Optimización de la hidráulica para brocas de perforación en los campos Drago y Auca de EP Petroecuador” Quito.
- ✦ Del Caprio Gallegos, L.E. (2005). “Optimización de la vida útil de las herramientas de perforación de rocas para percusión” (Tesis de Pregrado), UNI Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- ✦ Empresa Varel International, (2017) “Manual del Curso: Buenos Hábitos en la Perforación, periodo 2017”, tesis para optar el título de Ingeniero de Minas.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. BROCAS

Figura 1: Broca con Diamantes Insertados



Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

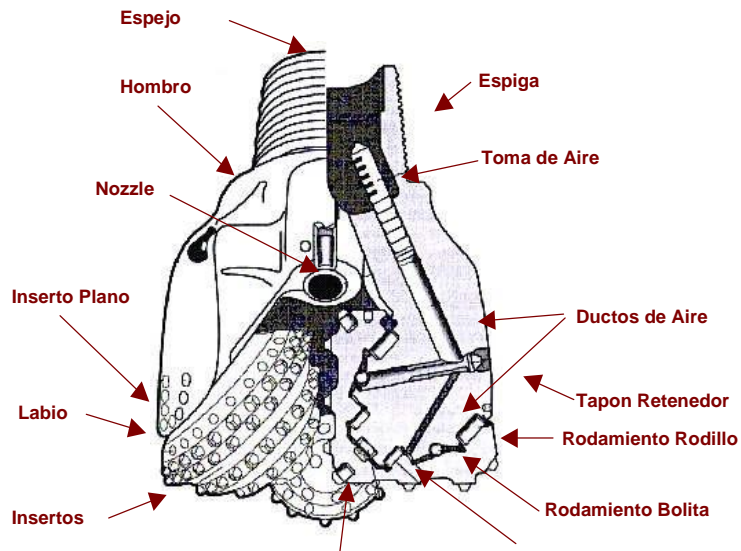
Figura 2: Brocas con Diamantes Impregnados



Fuente: Chumpitáz Cari. (2007)

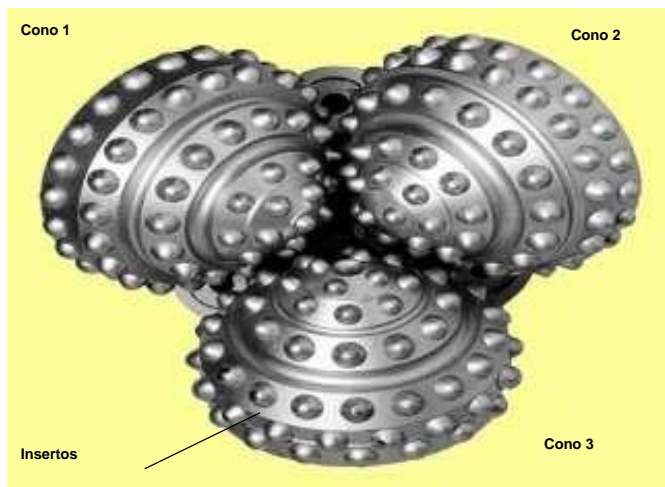
ANEXO n.º 2. NOMENCLATURA DE LA BROCA TRICONICA

Figura 3: Broca Tricónica



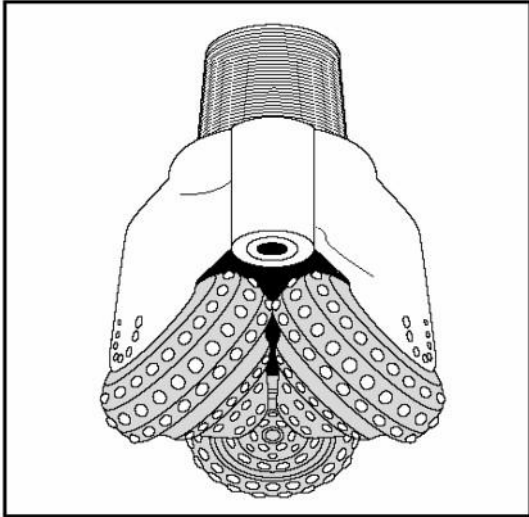
Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

Figura 4: Tapon de Empuje Rodamiento Nariz



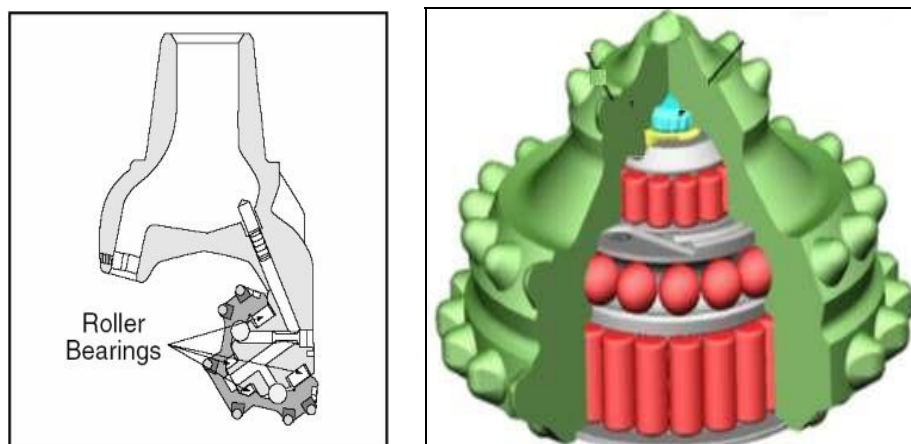
Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

Figura 5: Conos



Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

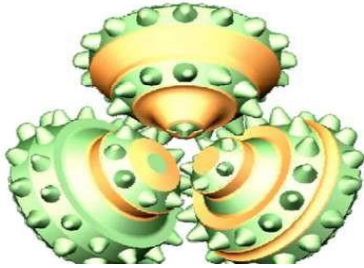
Figura 6: Rodamiento de Rodillos



Fuente: Chumpitáz Cari. (2007)

Figura 7: Tipo de Broca Depende al Terreno

BROCA PARA FORMACIÓN SUAVE

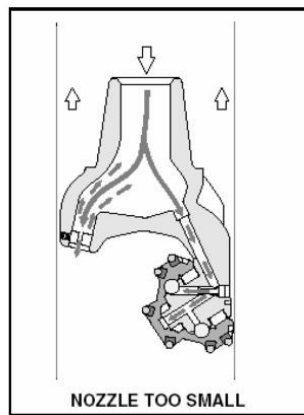
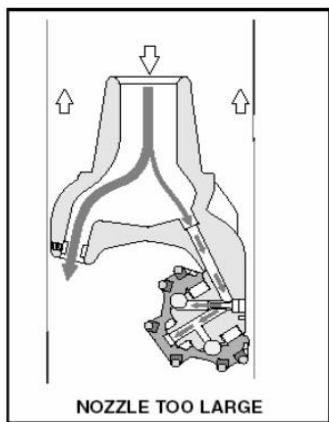


BROCA PARA FORMACIÓN DURA



Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

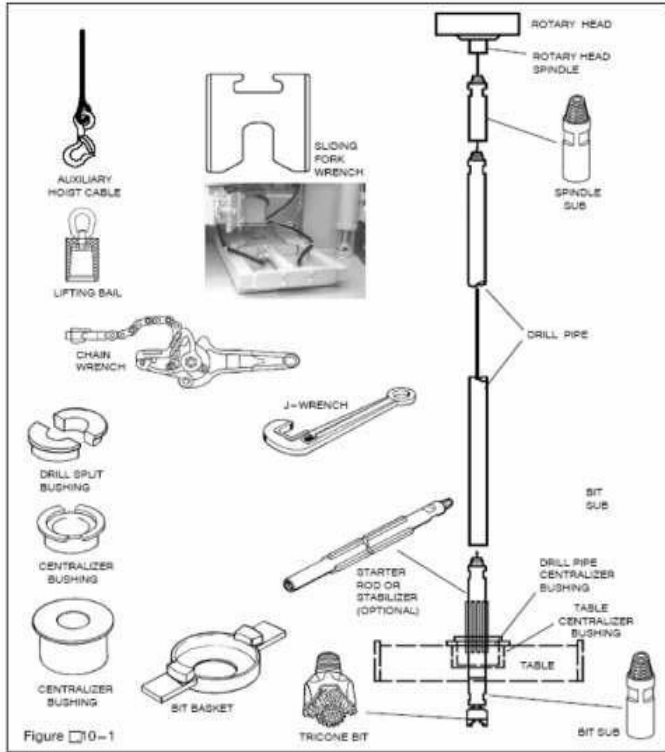
Figura 8: Selección de Boquillas



Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

ANEXO n.º 2. PERFORACION

Figura 9: Línea de Perforación



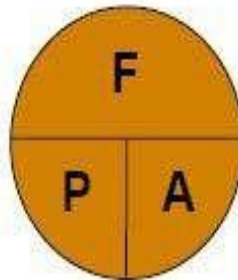
Fuente: Chumpitáz Cari. (2007).

Figura 10: Ley de Pascal Aplicada en la Perforacion

Fuerza = Presión x Área

Presión = Fuerza / Área

Área = Fuerza / Presión



Fuente: Ley de pascal.

Tabla N° 3

Especificaciones de perforación

Especificación de perforadora			
3,500	psi	Presion hidraulica de 75,000 Libras (capacidad de pulldow)	
21.42857		Pulgadas cuadradas	
Aplicación de peso sobre la broca de acuerdo al incremento de la presion hidraulica			
1000	psi		21429 Libras
2000	psi		42857 Libras
3000	psi		64286 Libras
3500	psi		75000 Libras

Fuente: Empresa Varel Internacional, (2017) “Manual del Curso: Buenos Hábitos en la Perforación, periodo 2017

Tabla N° 4

Velocidad de Perforación

Metros	tiempo de perforación	tiempo de traslado	Velocidad instantánea m/h	Velocidad operativa m/h
12	10	2	72	60
12	10	3	72	55,38
12	10	3,5	72	53,33
12	15	2	48	42,35
12	15	3	48	40,00
12	15	3,5	48	38,92
12	49	2	14,69	14,12
12	49	3	14,69	13,85
12	49	3,5	14,69	13,71

Fuente: Empresa Varel Internacional, (2017) “Manual del Curso: Buenos Hábitos en la Perforación, periodo 2017

ANEXO n.º 3. MATERIAL ADICIONAL DE LA INVESTIGACION

Figura 11: Perforadoras Utilizadas en la investigación



Fuente: Material Fotográfico de la Investigación.

Figura 12: Desgaste de la Broca E 71 806607 – 926.4m, utilizada en la Investigación.



Exceso desgaste en un faldón



**Insertos diametrales
quebrados**



Desgaste de narices (coring)



Fuente: Material Fotográfico de la Investigación

Tabla N° 5

Causas de los Desgastes

Desgaste de faldones	Quiebre de insertos	Desgaste de narices (coring)
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Exceso de r.p.m.</u> • Condición de relleno • Terreno fracturado • Exceso de agua • Verticalidad de columna • Insuficiencia de aire • Modelo de broca inadecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de pozo acelerado • <u>Exceso de r.p.m.</u> • <u>Exceso de Pull Down</u> • Exceso de vibraciones • Modelo de broca inadecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Condición de relleno • Exceso de agua • Insuficiencia de aire • <u>Exceso de Pull Down.</u> • Modelo de broca inadecuado

Fuente: Material de la Investigación.