



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“IMPLEMENTACIÓN DE MARTILLOS Y BROCAS ROCK 66
PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE TALADROS Y
REDUCIR COSTOS DE PERFORACIÓN EN UNA EMPRESA
MINERA DE LA MEDIANA MINERÍA EN CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Willian Noel Portal Carrasco

Bach. Rossmel Lozano Tirado

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza para seguir adelante por mis ideales en el transcurso de mi vida, y realizar mis objetivos y metas trazadas.

A mi familia, por brindarme su apoyo en cada paso y decisión profesional y personal, sobre todo por su motivación constante para seguir adelante y ser mejor persona cada día.

Willian Portal

Este proyecto de tesis lo dedico a Dios a mis padres y a mi hijo porque ellos son el motor y la fuerza para seguir adelante y darme la oportunidad de ser alguien. A todas aquellas personas y amigos que me apoyaron incondicionalmente.

Rossmel Lozano

AGRADECIMIENTO

A la Universidad privada del norte - Cajamarca, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que tanto me enorgullece, asimismo agradecer a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes contribuyeron en mi formación profesional.

Willian Portal

Agradezco a mi alma mater, Universidad Privada del Norte Cajamarca, en especial a la Facultad de Ingeniería de Minas; a mis docentes, por todas sus enseñanzas y el apoyo brindado para abrirme paso hacia el desarrollo profesional. Quiero brindar mi más sincero agradecimiento a Dios por la oportunidad de realizar este proyecto de tesis, a mis padres, hermanos y a mi hijo por el apoyo desinteresado que me han mostrado en todo momento.

Rossmel Lozano

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos	12
1.4. Hipótesis.....	12
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	14
2.1. Tipo de investigación	14
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	15
2.4. Procedimiento.....	19
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
3.1. Análisis comparativo técnico de los aceros:	25
3.2. Resultados del rendimiento, velocidades y costo de los aceros QL6:.....	26
3.3. Resultados del rendimiento, velocidades y costo de los aceros ROCK 66:.....	28
3.4. Análisis comparativo de los resultados de los aceros QL6 y ROCK 66	30
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS	38
ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción geológica del yacimiento.	20
Tabla 2: Resumen de resistencia de la roca en el tajo.	21
Tabla 3: Datos RMR y GSI.	22
Tabla 4: Comparación técnica de los Martillos QL6 vs ROCK 66.....	25
Tabla 5: Comparación técnica de los aceros QL6 Vs Rock 66.....	26
Tabla 6: Análisis comparativo QL6 Vs Rock66.....	30
Tabla 7: Análisis costo, Velocidad y rendimiento.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Zonificación de la brecha aflorando dacita sulfurada	15
Ilustración 2: Zonificación del QSD de alta silificación.	16
Ilustración 3: Zonificación de litologías presentes en el tajo.	17
Ilustración 4: Plantilla de perforación y voladura.	18
Ilustración 5: Equipos de perforación DM45-01, DM45-02, DM45-03	23
Ilustración 6: Velocidad promedio de los meses de Mayo, Junio y julio en el QSD de alta Silificación y Brecha Polimíctica.	27
Ilustración 7: Velocidades obtenidas con los aceros ROCK 66 en el QSD de alta silificación.	28
Ilustración 8: Velocidades obtenidas con los aceros ROCK 66 en la Brecha Polimíctica. .	29
Ilustración 9: Análisis comparativo aceros QL6 Vs Rock 66	31

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Costo total de perforación.....	27
---	----

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó la implementación de martillos y brocas Rock 66, debido a que en el tajo se presentó una zona con presencia de roca QSD (arenisca cuarzosa) y abrasiva, lo cual redujo el avance del proceso de perforación que se venía realizando con martillos y brocas QL6.

Al implementar los martillos y brocas Rock 66, se incrementó la producción de taladros de 1291 a 1489, por lo que se obtuvo un aumento de 198 taladros en 17 días de operación; además, se logró reducir los costos en \$1914.03 que a su vez descontando el aumento en el precio de las brocas y martillos antes mencionadas que es de \$152.14, se tuvo una reducción total neta de \$1761.89 lo cual indica que la implementación es rentable para la empresa y contribuyó al avance en el proceso de perforación.

La investigación también ayudó a mejorar la velocidad de perforación, con los aceros QL6 era de 43.2 (m/h) en promedio y con los aceros Rock 66 en roca QSD fue de 52.34 (m/h) alcanzando un máximo de 57.79 (m/h); en brecha la velocidad promedio fue de 53.87 (m/h) alcanzando un máximo de 61.66 (m/h).

Palabras clave: Aceros Rock66, aceros QL6, roca QSD, martillos, brocas, taladros, velocidad de perforación, costos de perforación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La empresa minera en la cual se desarrolló este trabajo de investigación presentó problemas en uno de sus tajos al iniciar el proceso de perforación, esto debido a la geología presente en un 80% en el lado centro y este del tajo es roca QSD (roca resistente a muy resistente) de alta Silificación y muy fracturada. Esto es un problema para el rendimiento de velocidad de perforación. Actualmente en la zona de dacita oxidada y sulfuro por el avance de minado al oeste del tajo hay un afloramiento de una brecha polimictica (roca resistente, muy abrasiva y muy fragmentada).

El proceso de perforación es realizado por 3 perforadoras de la serie DM45 rotativa con martillo en el fondo Single Pass. Las cuales no tienen un buen rendimiento en las zonas mencionadas anteriormente, ya que su límite técnico de velocidad es de 38.98 m/h por los aceros (martillos y brocas DTH QL6) que se usan. Lo cual está generando demoras en la entrega de los proyectos para iniciar con la carga de explosivo a los taladros, afectando el costo de la perforación para la empresa.

Gamarra (2011) nos indica en su trabajo de investigación que, los costos de perforación en mina se calcula con los metros perforados, que realizan una columna de perforación, por el cual el costo de perforación está en relación a 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.

En la reducción de costos de perforación es importante analizar todos los factores presentes en el proceso, Abanto (2016), plantea optimizar el mantenimiento de brocas

de 45mm. Para su estudio uso datos de consumo de brocas 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 sandvik 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 sandvik (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). Con ello se consiguió aumentar el rendimiento de broca de 45mm sandvik 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 (de 200m/broca). Además, 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.

Jáuregui (2009), nos dice que los beneficios que se obtienen con la implementación y el control continuo de los estándares adecuados de trabajo, beneficios reflejados en una reducción de los costos directos operativos y en general de todos los costos de las diversas áreas que integran una mina, acotándose como una de las recomendaciones la vital importancia que representa la capacitación continua al personal en las técnicas de perforación y voladura y sobretodo el rol que juegan estas como el núcleo de todo el sistema, del mismo modo la importancia de la motivación y retroalimentación al personal que ejecutan este núcleo sobre los avances que se obtienen y lo importante de su desempeño. En su presente trabajo la reducción del costo de perforación es 0.37 \$/TM; es decir una reducción del costo de 333 000 \$ al año, por razones análogas a la

voladura en que se optimizó la eficiencia en el avance por disparo en labores de producción y desarrollo. Además, 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%.

Sánchez y Llaique (2015), realizaron un trabajo de investigación que tuvo como objetivo principal determinar el Costo Total de Perforación (TDC), que permita la optimización de esta operación unitaria. 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 tónicas 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. 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.

Según los análisis que se realicen a los equipos y materiales que participan en los procesos de perforación, se pueden implementar medidas que permitan mejorar la producción y reducir los costos para la empresa.

1.2. Formulación del problema

¿Se logrará incrementar la producción de taladros y reducir costos de perforación implementando martillos y brocas Rock 66 en una empresa minera de la mediana minería en Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Incrementar la producción de taladros y reducir costos de perforación implementando martillos y taladros Rock 66.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comparar y describir las mejoras técnicas de los aceros de perforación Rock 66 respecto a los DTH QL6.
- Realizar un análisis comparativo del uso de los martillos y brocas de aceros DTH QL6 y Rock 66, verificando las mejoras de velocidad de perforación.
- Demostrar la mejora en el rendimiento de metros perforados con los martillos y brocas Rock 66.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Usando la nueva tecnología de los martillos y brocas Rock 66 se logrará incrementar la producción de taladros y reducir los costos en la perforación.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las especificaciones técnicas de los aceros Rock 66 muestran mejoras que ayudan a optimizar la velocidad de perforación.
- Al realizar el análisis comparativo del uso de martillos y brocas DTH QL6 (antes) vs Rock 66 (ahora) se verificará la mejora en la velocidad de perforación.
- El rendimiento de los nuevos aceros Rock 66 logrará obtener mayor cantidad de metros perforados en comparación con los aceros utilizados inicialmente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación de tipo Experimental – Aplicada con diseño cuasi-experimental, ya que se realiza un análisis comparativo del uso de 2 tipos de aceros de broca y martillos para ver cual tiene mejor rendimiento en roca abrasiva, por lo cual se llevan a cabo estudios de un antes y después de implementar martillos y brocas con el acero rock 66 identificando las diferencias en su avance, rendimiento y costo.

Vargas (2009), nos indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver. Este tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

Según Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86).

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

- **Población:**

Las 3 perforadoras DM45, que utilizan los martillos y brocas QL6 desde el inicio de operaciones hasta finalizar el periodo 2019.

- **Muestra:**

La perforadora DM45-01, que utilizó los martillos y brocas QL6 y Rock 66 en un periodo de 17 días (meses de mayo, junio, julio) y 17 días (meses de agosto, septiembre) respectivamente.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas que se aplicaron en este trabajo de investigación fueron 4:

- ✓ **Observación directa:**

Se pudo notar mediante la observación directa problemas con los aceros QL6 al momento de realizar la perforación en una zona del tajo que presentaba roca abrasiva, lo cual generaba poco avance en el proceso y baja producción de taladros.



Ilustración 1: Zonificación de la brecha aflorando dacita sulfurada

Fuente: Elaboración propia

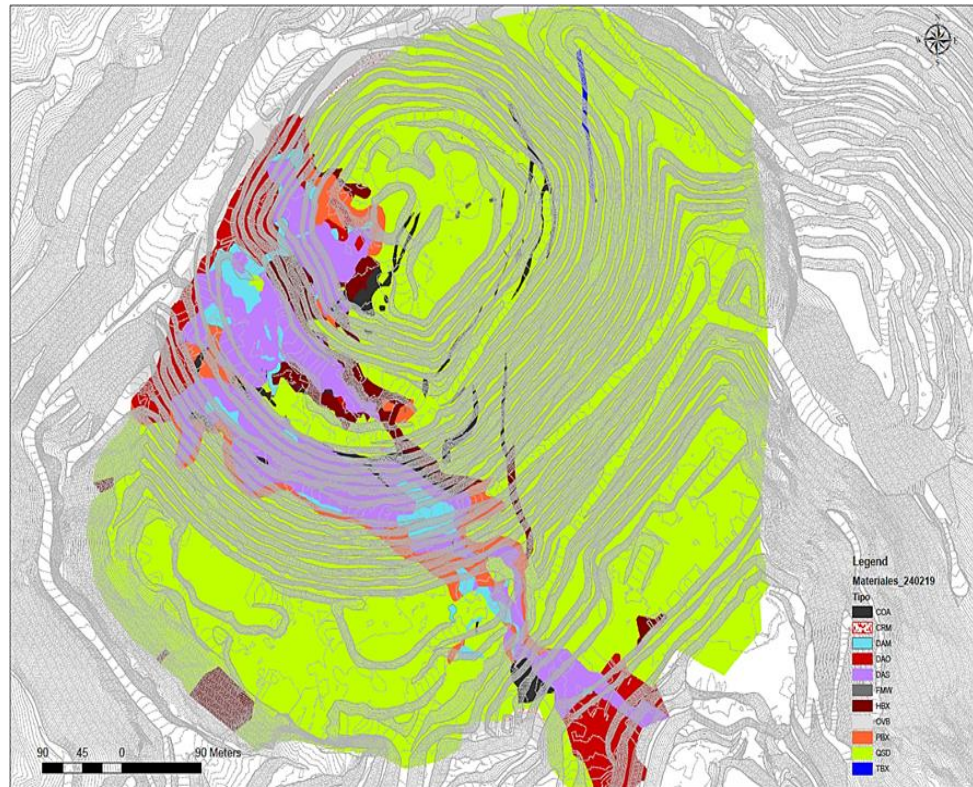


Ilustración 2: Zonificación del QSD de alta silificación.

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Análisis documental:**

Se realizó la búsqueda de información referencial de algunos trabajos de investigación que analizaban este tipo de problemas en otras minas, para lo cual se recurrió a los repositorios y bibliotecas virtuales. Así mismo, se recolectó información del área de geología para identificar las características particulares que presentaba la zona con presencia de roca abrasiva.



Material	Descripción
COA	Carbón
CRM	Coluvial Mineralizado
DAM	Dacita Mixta
DAO	Dacita Oxidada
DAS	Dacita Sulfurada
FMW	Relleno (labor minera)
HBX	Brecha Hidrotermal
OVB	Relleno (Over Burden)
PBX	Brecha Polimíctica
QSD	Arenisca Cuarzosa
TBX	Brecha Tectónica

Ilustración 3: Zonificación de litologías presentes en el tajo.

Fuente: Área de geología.

Se observa como zona predominante QSD (arenisca cuarzosa), sin embargo, el intrusivo Dacita, emplaza en y crea discontinuidades (fracturas, fallas, cambios litológicos, etc.) y además de contar con un afloramiento de Brecha Polimíctica

en la dacita Sulfurada, con materiales de relleno tipo coluviales y socavones subterráneos.

✓ **Trabajo de Campo:**

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de documentación mediante registros físicos y virtuales. Los perforistas tienen un formato físico o virtual del cual tienen que llenar para obtener los índices de perforación (Utilización, Disponibilidad mecánica, metros perforados, velocidad de perforación), estos son ingresados al sistema KPI, el cual arroja los resultados de estos indicadores, con estos datos se llena el DASBOARD que maneja el área de Perforación y Voladura.

Se recopiló dicha información de los meses de mayo, junio y julio para realizar el comparativo con los días de prueba de los aceros ROCK 66. Nos centraremos en los metros perforados y horas operativas para determinar las velocidades.

Lo cual se realiza con el siguiente cálculo del sistema:

	FECHA					
	TURNO					
	EQUIPO					
	HOROMETROINICIAL					
	HOROMETROFINAL					
	ATUDANTE					
	OPERADOR					
PROYECTO	N° TALADRO	LONGITUD	BROCA	MARTILLO	BARRA	G.COMBUSTIBLE

Ilustración 4: Plantilla de perforación y voladura.

Fuente: Área de perforación y voladura.

✓ **Análisis estadístico:**

Luego de recolectar toda la información de campo, se realizó el análisis estadístico mediante gráficos y cuadros de forma digital con el programa Excel, también se realizaron los análisis comparativos de costos mediante cálculos con ayuda de las fórmulas de perforación.

2.4. Procedimiento

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es experimental, por lo cual se realizaron mediciones de un antes y después, viendo la relación de Causa-Efecto. De esta manera se podrá determinar si al implementar martillos y brocas Rock 66 se lograra incrementar la producción de taladros y reducir los costos para la empresa minera.

2.4.1. Gabinete:

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales. Además, se reunió la información geológica y geomecánica del tajo para identificar las zonas con presencia de roca abrasiva.

Localmente en el distrito minero, se pueden describir las siguientes unidades que han sido diferenciadas según el origen, composición química y características texturales. Estas unidades tienen una denominación local para facilitar el modelamiento y su caracterización local. Estas se crean en los lugares donde se tienen proyectos de explotación minera avanzados o en explotación.

Tabla 1:

Descripción geológica del yacimiento.

ROCA	UND. MODELO	DESCRIPCIÓN
AND	INT	Andesita Hipabisal
DAC		Dacita Hipabisal
DIO		Diorita
CSD	QSD	Arenisca Carbonosa
QSD		Arenisca Cuarzosa
SSD		Arenisca Limosa
CGS		Arenisca aglomerádica
GRW		Grawaca
STS	LUT	Limolita arenosa
SST		Limolita Carbonosa
SSH		Lutita arenosa
CSH		Lutita Carbonosa
BWK	HBX	Box Works
CBX		Crackle Brecha
HBX		Brecha hidrotermal
FBX	FBX	Brecha freática
PBX	PBX	Brecha Polimítica
TBX	TBX	Brecha tectónica
FAZ		Zona de falla
GGE		Panizo (Gouge)
SLS	SLS	Calizas – Lutitas
COA	COA	Carbón
CRM	CRM	Coluvial rojizo
FMW	FMW	Relleno labor minera

Fuente: Área de geología.

Las resistencias de la roca intacta se obtuvieron de los ensayos de UCS y de carga puntual (PLT). Durante la caracterización de la resistencia de la roca intacta, se consideró los resultados más confiables y objetivos referenciados a los ensayos de UCS.

Los valores de UCS más bajos (menos de 25 MPa) se encuentran la zona norte del Dominio Estructural Oeste - Zona 1, la cual parece atravesar, en gran medida, la roca dacita. El resto de la roca es resistente, con valores de UCS que fluctúan entre 25 MPa y 200 MPa. La roca sedimentaria arenisca parece ser más resistente que la rocadacita. La Tabla 2 resume los valores de UCS promedio según su litología.

Tabla 2:

Resumen de resistencia de la roca en el tajo.

LITOLOGÍA	σ_c (MPa)	GRADO DE RESISTENCIA	DUREZA
Areniscas	70	R4.0	Roca resistente Roca
Dacitas	35	R3.0	moderadamente resistente
Lutita- Limonita	5	R1.0	Roca muy blanda Roca
Brechas	30	R3.0	moderadamente resistente

Fuente: Área Geotécnica de mina.

Donde el símbolo σ_c significa resistencia a la compresión no confinada.

La calidad del macizo rocoso ha sido desarrollada utilizando el esquema de clasificación del macizo rocoso (RMR) (Bieniawski, 1989) y la recomendación de Hoek (2006).

Tabla 3:

Datos RMR y GSI.

LITOLOGÍA	RMR	GSI	CALIDAD DE ROCA
Areniscas	20 – 30	15-25	Mala
Dacitas	45	40	Media
Lutita-Limonita	20	15	Muy mala
Brechas	40	35	Mala

Fuente: Área Geotécnica de mina.

El grado de fracturamiento fue evaluado a través de la evaluación de los mapeos geomecánicos y de la revisión de información. El grado de fracturamiento de los tramos presentan más de 30 fracturas por metro, se considera que el RQD = 0, siendo según clasificación MUY POBRE.

De acuerdo a la revisión de loguemos geotécnicos, revisión de fotografías de cajas de testigos de perforación y a lo observado durante las visitas de campo se ha podido identificar zonas de fracturamiento diferenciado en la arenisca, mayormente en las zonas donde se presenta brechada, haciendo que su RQD sea hasta de 0%.

2.4.2. Campo:

Se realizó el reconocimiento del tajo, los equipos de perforación y la toma de datos con respecto a los parámetros de las perforadoras, para lo cual utilizamos la plantilla de perforación mencionada anteriormente (ilustración 4).

El tajo en donde se realizaron la toma de datos, tiene una altura de banco de 8m, una sobre perforación de 0.5 m, y un diámetro de perforación de 6 ¾ “.

La perforación este cargo de 3 perforadoras de serie DM45 de Atlas Copco. Están diferenciadas con un código numérico de la siguiente manera: DM45-01, DM45-02, DM45-03. Las pruebas realizadas en esta investigación fueron tomadas en la perforadora DM45-01.



Ilustración 5: Equipos de perforación DM45-01, DM45-02, DM45-03

Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Gabinete:

Luego de recolectar la información geológica y geomecánica del tajo y de tomar los datos en campo, se procedió a realizar los análisis comparativos por medio de gráficos y tablas de forma digital, también se calcularon algunos datos de costo por medio de fórmulas de manera que se entienda de mejor forma los resultados obtenidos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Análisis comparativo técnico de los aceros:

A continuación, se presentan las diferencias técnicas de los aceros QL6 y ROCK66.

Tabla 4:

Comparación técnica de los Martillos QL6 vs ROCK 66

PARÁMETROS	DTH QL6 (OPERANDO)	ROCK66 (PRUEBA)
Diámetro (pulgadas)	6 ¾"	6 ¾"
Consumo de aceite (litros/h)	1.3	0.8
RPM	22	30
Pull-Down (PSI)	200	200
HoldBack (PSI)	400	400
Presión de Aire (psi)	290	350
Golpes por minuto (BPM)	1500	2000
Frecuencia de impacto (HZ)	25	50
Velocidad de impacto (m/s)	10	10
Energía del pistón.(J)	775	1015
Potencia (KW)	26	34
Impacto kg.m/s	1015000	1015000
Peso (Kg)	92	72
Longitud (mm)	1183	896
Diámetro (mm)	146	148

Fuente: Manual de Neuman.

Las mejoras técnicas del ROCK 66 frente al QL6 son:

- Menor consumo de aceite
- Mayor revolución por minuto (RPM)

- Mayor presión de aire
- Mayor cantidad de golpes por minuto (BPM)
- Mayor frecuencia de impacto.
- Mayor energía del pistón.
- Mayor Potencia.

La importancia del diseño y flexibilidad de instalación, también es un punto importante al momento de seleccionar nuestros aceros.

Las mejoras que presentan los aceros Rock 66 en comparación con los QL6 son las siguientes:

Tabla 5:

Comparación técnica de los aceros QL6 Vs Rock 66

ACERO	INDICADOR					
	RPM	PSI (PRESION DE AIRE)	BPM (GOLPES/ MIN)	HZ (FREC. DE IMPACTO)	J (ENERGIA DEL PISTON)	KW (POTENCIA)
QL6	22	290	1500	25	775	26
ROCK 66	30	350	2000	50	1015	34

Fuente: Datos de campo de la perforadora.

3.2. Rendimiento, velocidades y costo de los aceros QL6:

A continuación, mostramos las velocidades promedio de perforación recopiladas de la base de datos DASHBOARD, de la zona de estudio del tajo, de los meses de Mayo, Junio y Julio.

Promedio de velocidades mes de Mayo: **44.0 m/h**

Promedio de velocidades mes de Junio: **43.8 m/h**

Promedio de velocidades mes de Julio: **41.7 m/h**

Sacando promedio de estos 3 meses tenemos:

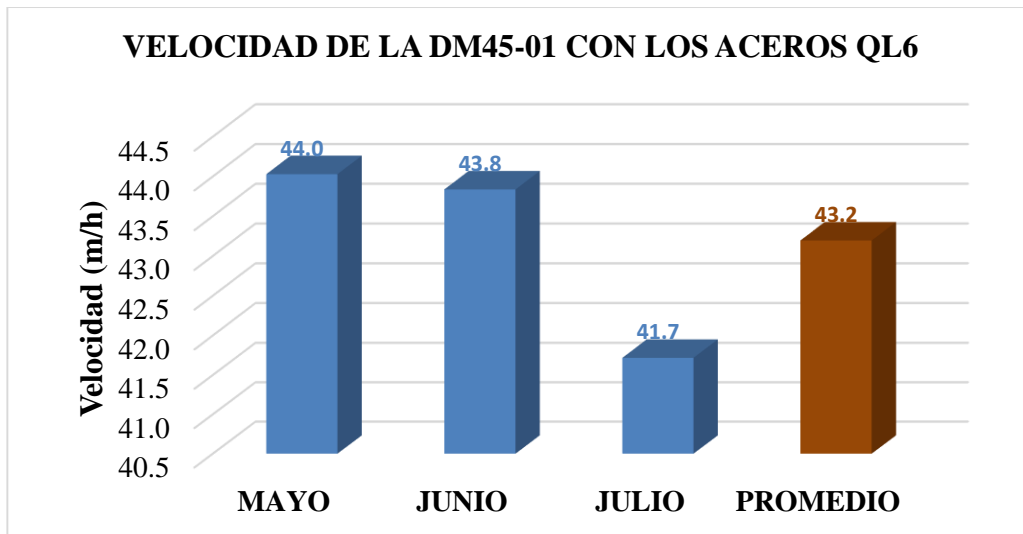


Ilustración 6: Velocidad promedio de los meses de Mayo, Junio y julio en el QSD de alta Silificación y Brecha Polimíctica.

Fuente: Datos de campo.

Realizando un análisis de costos con las velocidades y rendimientos promedio de los martillos QL6 obtenemos:

Datos:

- Precio del Martillo (\$): **3,883.34**
- Precio de la broca (\$): **645.55**
- Costo de la perforadora (\$/h): **157.29**
- Rendimiento del martillo (m): **9,356**
- Rendimiento de la Broca (m): **860**
- Velocidad de perforación (m/h): **43.2**

Los precios fueron extraídos del programa Sofya que utiliza la mina para llevar los costos por área.

El costo total de perforación se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$TDC = \frac{B (\$)}{RB (m)} + \frac{M (\$)}{RM (m)} + \frac{D (\frac{\$}{h})}{VP (\frac{m}{h})}$$

Ecuación 1: Costo total de perforación

$$TDC = \frac{645.55 \$}{860 m} + \frac{3,883.34 \$}{9,356 m} + \frac{157.29 \frac{\$}{h}}{43.2 \frac{m}{h}}$$

$$TDC = 4.81 \$/m$$

3.3. Rendimiento, velocidades y costo de los aceros ROCK 66:

Como se mencionó en la justificación de esta investigación, estos aceros se probaron en la perforadora DM45-01 desde el 21 de agosto hasta el 5 de septiembre, en el cual el martillo de prueba llegó a los 11,636 metros, en ambos terrenos (QSD y Brecha).

3.3.1. Análisis en el QSD de alta silificación:

Se analizaron estadísticamente las velocidades obteniendo:

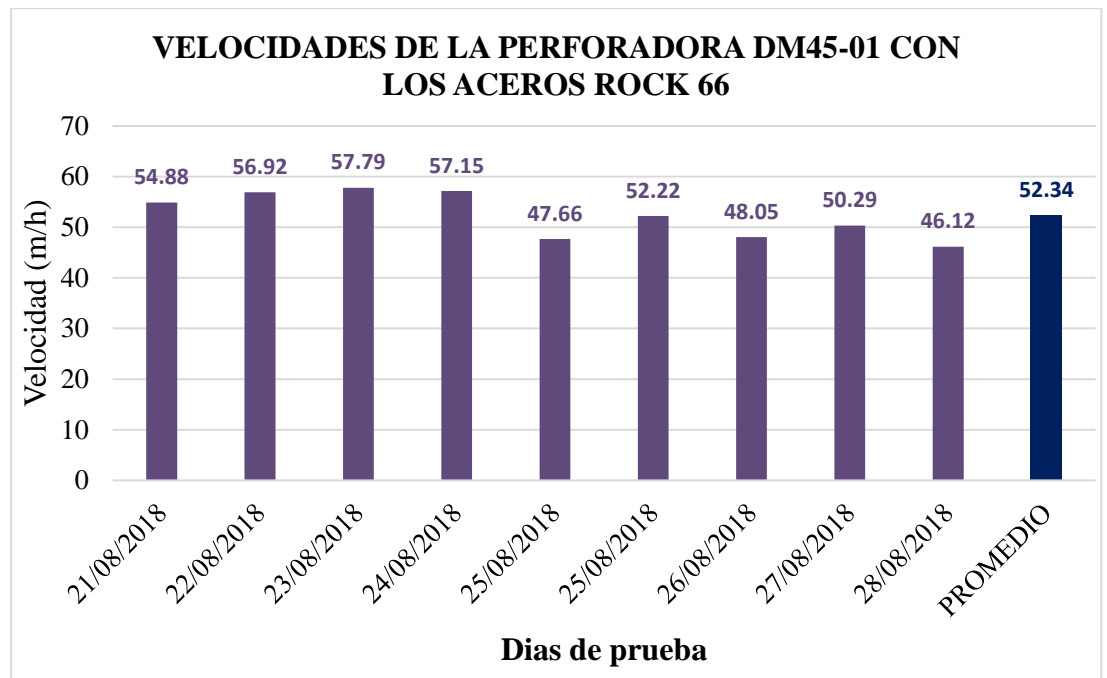


Ilustración 7: Velocidades obtenidas con los aceros ROCK 66 en el QSD de alta silificación.

Fuente: Datos de campo.

Se obtiene una velocidad promedio de 52.34 m/h y un límite técnico de hasta 57.79 m/h, siendo la velocidad mínima 46.12 m/h.

3.3.2. Análisis en la brecha Polimíctica:

Analizando estadísticamente las velocidades obtenemos:

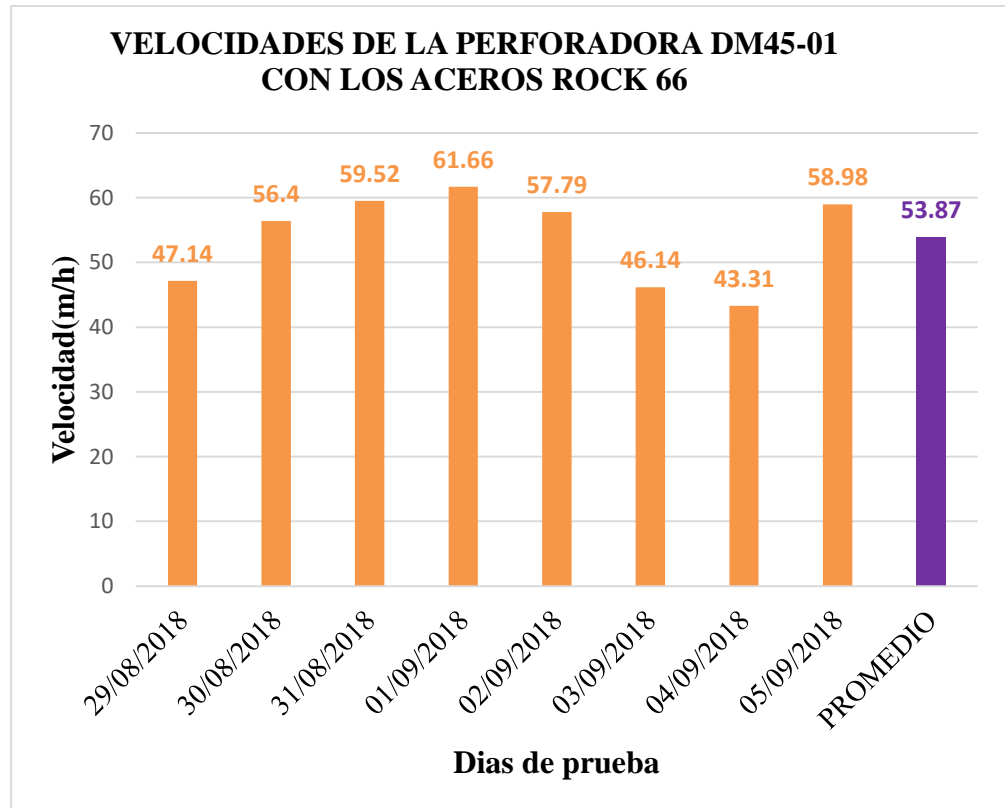


Ilustración 8: Velocidades obtenidas con los aceros ROCK 66 en la Brecha Polimíctica.

Fuente: Datos de campo.

Obteniendo una velocidad promedio de 53.87 m/h y un límite técnico de hasta 61.66 m/h, con una velocidad mínima de 43.31 m/h.

Realizando un análisis de costos con las velocidades y rendimiento de los martillos y brocas ROCK 66 obtenemos:

Datos:

- Precio del Martillo (\$): 4029.19
- Precio de la broca (\$): 651.84
- Costo de la perforadora (\$/h): 157.29
- Rendimiento del martillo (m): 13,401

- Rendimiento de la Broca (m): 875
- Velocidad de perforación promedio en QSD y Brecha (m/h): 53.12

$$TDC = \frac{651.84 \$}{875 m} + \frac{4029.19 \$}{13401 m} + \frac{157.29 \frac{\$}{h}}{53.12 \frac{m}{h}}$$

$$TDC = 4.01 \$/m$$

3.4. Análisis comparativo de los resultados de los aceros QL6 y ROCK 66

Luego de calcular los resultados obtenidos con los datos de los dos tipos de aceros se realizó un análisis comparativo de ambos.

Tabla 6:

Análisis comparativo QL6 Vs Rock66

EQUIPO	ACERO	N° TALADROS	MTS PER	HRS OPE	MTS HRA (PLAN)	MTS HRA	COSTO(\$)
DM45-01	DTH QL6	1291	11570.10	264.5	666.7	43.2	55652.04
DM45-01	ROCK 66	1489	13401.00	252.2	680	53.12	53738.01

Fuente: Datos de campo

Se puede observar que al implementar el uso de los aceros Rock 66 presentan un mejor avance y producción de taladros ya que aumentaron en 198, esto debido a que ha aumentado la velocidad de perforación considerablemente.

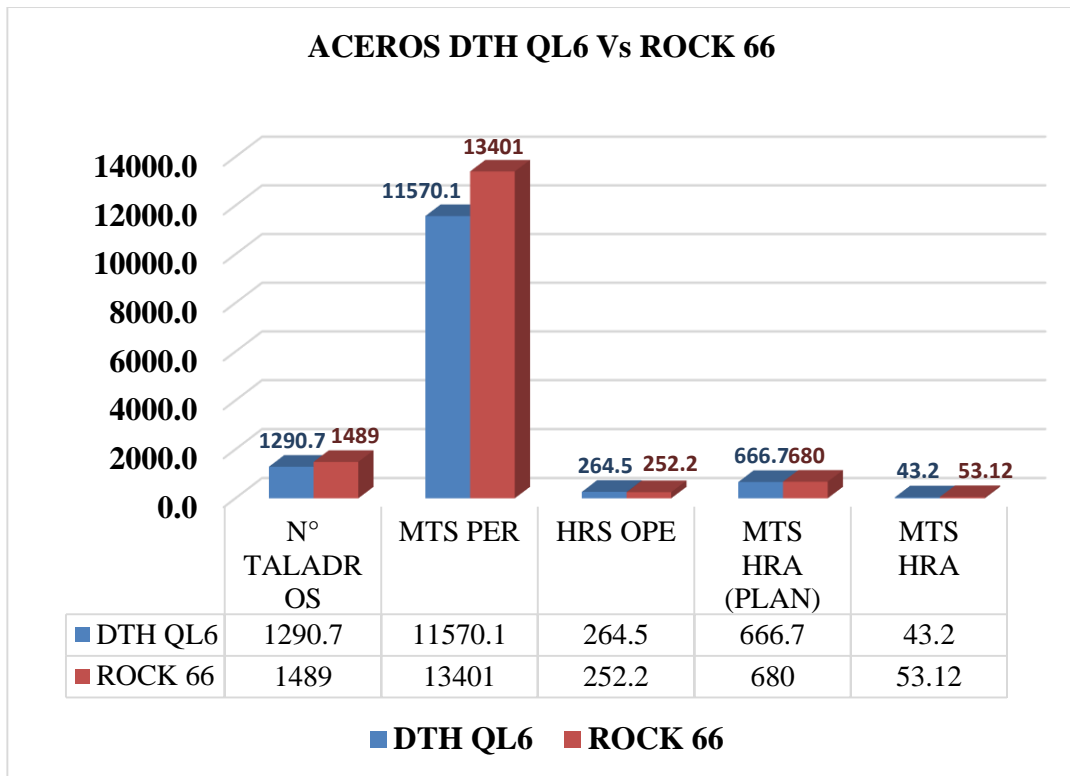


Ilustración 9: Análisis comparativo aceros QL6 Vs Rock 66

Fuente: Datos de campo.

A continuación, se presenta el resumen de costos por adquisición de martillos y brocas, velocidad y rendimiento de los dos tipos de aceros.

Tabla 7:

Análisis costo, Velocidad y rendimiento

	COSTO, VELOCIDAD Y RENDIMIENTO ACERO	
	QL6	ROCK 66
Precio del Martillo (\$)	3,883.34	4029.19
Precio de la broca (\$)	645.55	651.84
Costo de la perforadora (\$/h):	157.29	157.29
Rendimiento del martillo (m):	9,356	13,401
Rendimiento de la Broca (m):	860	875
Velocidad de perforación (m/h):	43.2	53.12

Fuente: Área de perforación.

Se puede notar que los aceros Rock 66 tienen un costo mayor en relación con los QL6, pero el rendimiento y producción de taladros que genera recompensa esa diferencia entre los costos, además que permite entregar a tiempo los proyectos para el minado.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Debido a las mejoras técnicas que presenta el Martillo Rock 66 como su mayor presión de aire, golpes por minuto, frecuencia de impacto, mayor energía del pistón y potencia, aumentó la velocidad de perforación promedio a 53.12 m/h, un máximo de 57.79 m/h en QSD y con un mínimo de 43.31 m/h en Brecha, el cual es aún una velocidad por encima del target de 40 m/h establecido en mina.

Los resultados anteriores avalan lo indicado por Sánchez y Llaique (2015), quienes realizaron un trabajo de investigación que tuvo como objetivo principal determinar el Costo Total de Perforación (TDC), que permita la optimización de esta operación unitaria. Las pruebas de campo se realizaron en diferentes tajos de la mina. 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.

Para poder obtener resultados que ayuden a la óptima producción de taladros es necesario realizar pruebas que permitan determinar el modelo, material y marca adecuada para trabajar en el tipo de roca que presente el yacimiento.

La mejora de la broca Rock 66 respecto a la QL6 es de ya no tener un solo orificio de barrido, sino cuatro orificios, lo cuales ayudan a mejorar la velocidad de penetración y disminuyen el desgaste del martillo con un menor riesgo de atasco de la barra, evitando pérdidas económicas.

Por el buen barrido de los recortes de la roca de la broca Rock 66 el martillo tiene menor desgaste y por ende mayor rendimiento. El rendimiento de la broca Rock 66 se asemeja a la QL6 en promedio. Pero en conjunto el martillo y broca Rock 66 ayudan a mejorar la velocidad de perforación.

Por el aumento considerable de la velocidad de perforación y el rendimiento en los martillos, el costo de perforación mejoró de 4.81 \$/m a 4.01 \$/m. En función de los 17 días que se realizaron las pruebas de campo obtuvimos un costo por metro perforado utilizando QL6 y Rock 66 de \$55652.04 y \$53738.01 respectivamente, el total de costo reducido fue de \$1914.03, lo cual compensa la diferencia del precio de los martillos y las brocas Rock 66 en comparación con las QL6 que es de \$152.14. Por lo tanto, se tendría una reducción total del costo neto de \$1761.89 lo cual es rentable para la empresa minera, pese al mayor costo del martillo y broca Rock 66.

Abanto (2016), en su trabajo de investigación plantea optimizar el mantenimiento de brocas de 45mm. Para su estudio uso datos de consumo de brocas de los meses de junio y julio sin optimizar el uso (antes) y los meses de agosto, setiembre y octubre optimizando el uso (después). Con ello se consiguió aumentar el rendimiento de

broca de 45mm Sandvik 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 (de 200m/broca). Además, 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.

Lo que indica la investigación presentada anteriormente dista del trabajo mencionado, ya que no se ha dado ningún mantenimiento, modificación o arreglo especial a los aceros QL6, sino solo reemplazarlos por la nueva tecnología ROCK 66 del mismo proveedor. Sin embargo, la metodología es similar, porque compara velocidades promedio de los meses de mayo, junio y julio con el uso de los aceros QL6 y el periodo de prueba desde el 21 de agosto al 5 de septiembre con los aceros ROCK 66.

4.2 Conclusiones

- Al implementar los martillos y brocas Rock 66 se aumentó la producción de taladros de 1291 a 1489, por lo que se obtuvo el incremento de 198 taladros en 17 días de operación, además, se logró reducir los costos en \$1914.03 que a su vez descontando el aumento en el precio de las brocas y martillos antes mencionadas (\$152.14) se tuvo una reducción total neta de \$1761.89 lo cual es rentable para la empresa y contribuyo al avance en el proceso de perforación.
- Al realizar la comparación técnica entre los aceros QL6 y Rock 66 se logró identificar mejoras en los siguientes indicadores: RPM, PSI (presión de aire), BPM (golpes por minuto), HZ (frecuencia de impacto), J (energía del pistón), KW (potencia).
- Luego del análisis comparativo entre los datos de campo de ambos aceros se identificó mejoras en la velocidad de perforación, con los aceros QL6 era de 43.2 (m/h) en promedio y con los aceros Rock 66 en roca QSD fue de 52.34 (m/h) alcanzando un máximo de 57.79 (m/h), en brecha la velocidad promedio fue de 53.87 (m/h) alcanzando un máximo de 61.66 (m/h).
- Los martillos ROCK 66 solo se deben usar en terrenos muy abrasivos y duros, ya que se realizaron pruebas en la zona de sulfuro y dacita oxidada (roca blanda no muy abrasiva) y, a pesar que, si existen buenas velocidades en zonas con presencia de este tipo de rocas, este martillo, por su alta frecuencia de impacto y presión de aire, se “Ahogaba”, es decir, se producía un atraco de la barra, llegando a perder toda la columna de perforación (barra, conectores, Chuck, martillo y broca).

- En relación al rendimiento técnico de los dos tipos de aceros analizados en este trabajo de investigación se comprobó que los martillos Rock 66 son 43.23% más durables que los aceros QL6, por lo cual generaron una mayor cantidad de metros perforados de 11570 m a 13401m, los martillos y brocas Rock 66 aumentaron en 1831 metros en solo 17 días.

REFERENCIAS

- Abanto, J; Vásquez, 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 pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Ayala, J. s.f. *Manual de Ingeniería Geológica*. 1 ed. Murcia. ESP. Instituto Geo Minero de España. 626 p.
- Bernaola, J; Castilla, J; Herrera, J. 2013. *Perforación y Voladura de rocas en Minería*. 1 ed. Madrid. España. Universidad Politécnica de Madrid. 255 p.
- Jáuregui, O. (2009). *Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura*. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Llaique, A; Sánchez, W. (2015). *Determinación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca – Perú, 2015*. (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Llamoca, R. (2016). *Reducción del costo de perforación DTH por selección de la columna de perforación y cuidado de aceros*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>

Pernia, J; Ortiz, F; López, C; López, E; s.f. *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. 1 ed. Madrid. España. Instituto geológico y Minero de España. 439 p

RK Pipe and Supply LLC. 2019. Brocas de Perforación, recuperado de: <http://www.steeldrillpipe.com/es/equipo/brocas-de-perforacion/>

Rodríguez, J. 2007. Caracterización de Macizos Rocosos. Madrid. España. 14 p. recuperado de: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>

Sánchez, N; Calleja, L; Rodríguez, A; Setien, A; De Argandoña, V. (2016). *Revisión crítica de los ensayos de abrasividad en las rocas y de la influencia de las características petrográficas*. Universidad de Oviedo. Oviedo, España.

Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Base de datos de la perforadora DM45-01 mes de mayo con aceros QL6.

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	MTS PER	HRS OPE	MTS HRA (PLAN)	MTS HRA
DM45HP-01	Mayo	01/05/2018	19	171	3.08	40	55.46
DM45HP-01	Mayo	02/05/2018	21	178	6.03	40	29.59
DM45HP-01	Mayo	03/05/2018	97	873	18.38	40	47.49
DM45HP-01	Mayo	04/05/2018	66	594	8.33	40	71.28
DM45HP-01	Mayo	05/05/2018	51	459	10.85	40	42.3
DM45HP-01	Mayo	06/05/2018	58	522	16.32	40	31.99
DM45HP-01	Mayo	07/05/2018	93	927	17.92	40	51.74
DM45HP-01	Mayo	08/05/2018	71	639	10.53	40	60.66
DM45HP-01	Mayo	09/05/2018	80	666	18	40	37
DM45HP-01	Mayo	10/05/2018	76	684	22.17	40	30.86
DM45HP-01	Mayo	11/05/2018	72	648	19.08	40	33.96
DM45HP-01	Mayo	12/05/2018	81	729	19.75	40	36.91
DM45HP-01	Mayo	13/05/2018	87	783	18.83	40	41.58
DM45HP-01	Mayo	14/05/2018	96	849	20.67	40	41.48
DM45HP-01	Mayo	15/05/2018	120	1080	19.25	40	56.1
DM45HP-01	Mayo	16/05/2018	86	774	19.58	40	39.52
DM45HP-01	Mayo	17/05/2018	80	720	17.75	40	40.56

Fuente: Datos de campo.

ANEXO N° 02: Base de datos de la perforadora DM45-01 mes de junio con aceros QL6.

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	MTS PER	HRS OPE	MTS HRA (PLAN)	MTS HRA
DM45HP-01	Junio	01/06/2018	51	459	18.5	40	24.81
DM45HP-01	Junio	02/06/2018	146	1299	16.33	40	79.53
DM45HP-01	Junio	03/06/2018	116	1044	17.58	40	59.37
DM45HP-01	Junio	04/06/2018	27	243	7	40	34.71
DM45HP-01	Junio	05/06/2018	84	756	19.32	40	39.14
DM45HP-01	Junio	06/06/2018	57	513	11.17	40	45.94
DM45HP-01	Junio	07/06/2018	118	1062	19.05	40	55.75
DM45HP-01	Junio	08/06/2018	81	714.6	17.6	40	40.6
DM45HP-01	Junio	09/06/2018	71	623.4	18.67	40	33.4
DM45HP-01	Junio	10/06/2018	27	243	9.75	40	24.92
DM45HP-01	Junio	11/06/2018	50	436.8	14.42	40	30.3
DM45HP-01	Junio	12/06/2018	92	828	14.83	40	55.82
DM45HP-01	Junio	13/06/2018	74	666	15.8	40	42.15
DM45HP-01	Junio	14/06/2018	108	972	14.33	40	67.81
DM45HP-01	Junio	15/06/2018	32	288	8.5	40	33.88
DM45HP-01	Junio	16/06/2018	62	558	17.83	40	31.29
DM45HP-01	Junio	17/06/2018	96	864	18.87	40	45.79

Fuente: Datos de campo.

ANEXO N° 03: Base de datos de la perforadora DM45-01 mes de julio con aceros QL6.

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	MTS PER	HRS OPE	MTS HRA (PLAN)	MTS HRA
DM45-01	Julio	01/07/2018	89	783	20.4	40	38.4
DM45-01	Julio	02/07/2018	102	888	19.8	40	44.8
DM45-01	Julio	03/07/2018	86	774	17.4	40	44.5
DM45-01	Julio	04/07/2018	78	662.4	13.9	40	47.5
DM45-01	Julio	05/07/2018	81	684	18.8	40	36.6
DM45-01	Julio	06/07/2018	75	655	19	40	34.5
DM45-01	Julio	07/07/2018	90	810	18.3	40	44.4
DM45-01	Julio	08/07/2018	99	891	16.6	40	53.7
DM45-01	Julio	09/07/2018	90	810	18.8	40	43.1
DM45-01	Julio	10/07/2018	117	1,053.00	17.9	40	58.8
DM45-01	Julio	11/07/2018	68	612	10.9	40	56
DM45-01	Julio	12/07/2018	58	522	15.9	40	32.8
DM45-01	Julio	13/07/2018	80	810	19.7	40	41.2
DM45-01	Julio	14/07/2018	106	954	17.4	40	54.9
DM45-01	Julio	15/07/2018	80	706.5	15.7	40	45.1
DM45-01	Julio	16/07/2018	27	229.5	7	40	32.9
DM45-01	Julio	17/07/2018		-	-	40	-

Fuente: Datos de campo.

ANEXO N° 04: Base de datos de la perforadora DM45-01 mes de agosto - septiembre con aceros Rock 66.

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	MTS PER	HRS OPE	MTS HRA (PLAN)	MTS HRA
DM45-01	Agosto	21/08/2018	120	1089	19.74	40	54.88
DM45-01	Agosto	22/08/2018	64	585	10.38	40	56.92
DM45-01	Agosto	23/08/2018	131	1170	20.15	40	57.79
DM45-01	Agosto	24/08/2018	25	216	3.68	40	57.15
DM45-01	Agosto	25/08/2018	53	486	10.3	40	47.66
DM45-01	Agosto	25/08/2018	90	792	15.16	40	52.22
DM45-01	Agosto	26/08/2018	88	783	16.4	40	48.05
DM45-01	Agosto	27/08/2018	101	900	17.8	40	50.29
DM45-01	Agosto	28/08/2018	97	882	19.13	40	46.12
DM45-01	Agosto	29/08/2018	73	648	13.74	40	47.14
DM45-01	Agosto	30/08/2018	88	783	13.85	40	56.4
DM45-01	Agosto	31/08/2018	89	810	13.7	40	59.52
DM45-01	Setiembre	01/09/2018	111	1008	16.36	40	61.66
DM45-01	Setiembre	02/09/2018	111	1008	17.44	40	57.79
DM45-01	Setiembre	03/09/2018	77	684	14.72	40	46.14
DM45-01	Setiembre	04/09/2018	66	603	13.83	40	43.31
DM45-01	Setiembre	05/09/2018	105	954	16.28	40	58.98

Fuente: Datos de campo.

ANEXO N° 05: Ficha técnica de los aceros QL6.

ROCKMAX

6"

QL6A DTH HAMMER High Air Pressure without valve DTH Hammers

Item Description	Weight Kg	Part Number
		
Hammer	92.00	1409-QL6-00
1.- Top Sub	20.00	1409-QL6-01
2.- O Ring of Top Sub	0.015	1409-QL6-02
3- Check valve	0.70	1409-QL6-03
4.- Spring	0.10	1409-QL6-04
5.-Air Distributor	3.50	1409-QL6-05
6- Internal Cylinder	4.20	1409-QL6-06
7.- Piston	23.00	1409-QL6-07
8.- External Cylinder	30.00	1409-QL6-08
9.- Guided Sleeve	4.00	1409-QL6-09
10 - O Ring of stop ring	0.01	1409-QL6-10
11.- Stop Ring	0.60	1409-QL6-11
12 - Driver Chuck	5.50	1409-QL6-12
13.- Drill Bit	25.00	1409-QL6-13


According to you request, the top sub can be made into two spanners, and put protection buttons. And air controlling hole can be drilled on the check valve to provide more efficient cuttings discharge

Fuente: Manual Neuman.

ANEXO N° 06: Ficha técnica de los aceros Rock 66.

ROCKMAX

ROCK 66 DTH HAMMER High Air Pressure DTH Hammers



Item Description	Weight Kg	Part Number
1.- Top Sub	20.00	R66-01
2.- External Cylinder	25.00	R66-02
3.- O-Ring top sub	0.10	R66-03
4.- Seal for check valve	0.40	R66-04
5.- Check Valve	0.70	R66-05
6.- Spring for check valve	0.10	R66-06
7.- Valve body	0.70	R66-07
8.- Upper buffer	0.30	R66-08
9.- Control tube	1.20	R66-09
10.- Lower buffer	0.60	R66-10
11.- Retainer	0.20	R66-11
12.- O-ring	0.10	R66-12
13.- Circlip	0.10	R66-13
14.- Piston	17.40	R66-14
15.- Internal Cylinder	4.20	R66-15
16.- O-ring	0.10	R66-16
17.- Stop ring	0.60	R66-17
18.- Driver chuck	5.50	R66-18

According to you request, the top sub can be made into two spanners, and put protection buttons. And air controlling hole can be drilled on the check valve to provide more efficient cuttings discharge

Fuente: Manual Neuman.

ANEXO N° 07: Foto de brocas, martillos Rock 66 y perforadora DM45-01.



Foto 1: Broca ROCK 66 Domo 6 $\frac{3}{4}$ "con 3 orificios.



Foto 2: Martillo Rock 66.



Foto 3: Perforadora DM45-01.