

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PERFORACIÓN UTILIZANDO LOS
MARTILLOS Y BROCAS ROCK 66 DE NEUMAN EN MINERA LOS ANDES
PERÚ GOLD S.A.C - TAJO DIANA.**

TESIS PROFESIONAL

Para optar el Título profesional de

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach. Raúl Augusto Villar Zamora.

Asesor:

M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Cajamarca – Perú

2021

DEDICATORIA

A mi Madre, Hermanos y tío, Norma Zamora Vásquez, Lester Juan De Dios Villar Zamora, Rodrigo Contreras Zamora y Carlomagno Villar Cabeza, por haberme guiado por el camino del bien, inculcarme valores y el deseo de superación y realización personal.

Villar Zamora, Raúl A.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por brindarme la inspiración y sabiduría para realizar la presente tesis y en toda mi vida.

A mi alma mater La Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Cajamarca que, junto con mis docentes, me ayudaron a tener el conocimiento necesario para enfrentar los retos que hoy cumplo en mi centro de labores.

A mi familia, por ser mí soporte. A ellos se los debo todo y por ello día a día realizo mi máximo esfuerzo para seguir enorgulleciéndolos y cumpliendo mis metas.

A mi asesor de tesis, el Ms. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, que con su guía y apoyo constante hizo posible la presente investigación.

A la Unidad Minera El Toro de la empresa Los Andes Perú Gold S.A.C, actualmente Summa Gold Corporation y a la empresa NEUMAN, por brindarme el apoyo y confianza para poder utilizar sus datos e información para poder realizar esta investigación.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	3
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	4
2.1.3. Antecedentes locales	5
2.2. Bases teóricas	5
2.2.1. Especificaciones técnicas de la perforadora serie DM45.....	5
2.2.2. Perforación por percusión – rotación	7
2.2.3. Velocidad de penetración (ROP)	8
2.2.4. Velocidad de perforación.....	8
2.2.5. Parámetros de perforación	9
2.2.5.1. Velocidad de rotación (rpm)	9
2.2.5.2. Presión de rotación	9

	Pág.
2.2.5.3. Caudal de aire.....	9
2.2.5.4. Fuerza de empuje o Pulldown.	10
2.2.6. Costo total de perforación (CTP)	10
2.2.7. Propiedades físicas y geotécnicas de la roca	11
2.2.7.1. Abrasividad	11
2.2.7.2. Dureza	12
2.2.7.3. Resistencia y deformabilidad.....	13
2.2.7.4. Clasificación geomecánica RMR.....	15
2.2.8. Aceros de perforación	15
2.2.8.1. Martillo de fondo (DTH)	15
2.2.8.2. Broca para el sistema DTH.	17
2.2.9. Perforabilidad de la roca.....	18
2.2.10. Diámetro del taladro	18
2.3. Definición de términos básicos	19
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Ubicación.....	21
3.2. Accesibilidad.....	23
3.3. Generalidades del proyecto Minero El Toro	24
3.4. Litología	25
3.5. Geología del Tajo Diana en Minera El Toro	27
3.5.1. Geología regional	27

	Pág.
3.5.2. Geología local	27
3.5.3. Estratigrafía	28
3.5.4. Hidrogeología	28
3.5.5. Condiciones geotécnicas.....	28
3.5.5.1. Resistencia de la roca intacta.....	28
3.5.5.2. Clasificación del macizo rocoso RMR y GSI.....	29
3.5.5.3. Índice de calidad de la roca (RQD)	30
3.6. Análisis comparativo técnico de los martillos de perforación.....	30
3.7. Etapa de campo.....	31
3.7.1. Identificación de la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.	31
3.7.2. Seguimiento a las pruebas de los aceros	35
3.7.3. Recolección de datos.	35
3.8. Metodología de investigación.....	36
3.8.1. Población	38
3.8.2. Muestra	38
3.8.3. Unidad de análisis	38
3.8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.8.4.1. Equipos	39
3.8.4.2. Instrumentos	39
3.9. Análisis estadístico de los datos	40
3.9.1. Análisis estadístico y económico del martillo y broca QL6.	43

	Pág.
3.9.2. Análisis estadístico y económico del martillo y broca ROCK 66.	49
3.9.2.1. Análisis de velocidades de perforación en la arenisca cuarzosa.	54
3.9.2.2. Análisis de velocidades de perforación en la brecha polimíctica	54
3.9.2.3. Análisis del costo total de perforación para el modelo ROCK 66	55
3.9.3. Prueba de hipótesis.....	57
3.9.3.1. Método de comparación de dos medias.....	59
3.9.3.2. Prueba para la media frente a un valor.	63
3.9.3.3. Método de estadístico de prueba frente a valor crítico.	64
3.9.3.4. Prueba de Hipótesis por el método de Intervalo de confianza.	67
3.10. Presentación de resultados.....	70
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.1. Velocidad de perforación	71
4.2. Rendimiento de los aceros.....	71
4.3. Costo total de perforación	71
4.4. Discusión de resultados con los antecedentes teoricos	72
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1. Conclusiones	75
5.2. Recomendaciones	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Especificaciones técnicas de la perforadora EPIROC DM45.....	6
Tabla 2. Clasificación de la abrasividad de las rocas.	12
Tabla 3. Escala de dureza de Mohs	13
Tabla 4. Ensayo del índice de resistencia de la roca (ISRM, 1978).....	14
Tabla 5. Ruta de acceso a la U.M El Toro.....	23
Tabla 6. Unidades de Rocas Yacimiento el Toro.....	26
Tabla 7. Resistencias de la roca en el Tajo Diana.....	29
Tabla 8. Resumen de RMR y GSI	29
Tabla 9. Comparación técnica del Martillo QL6 vs ROCK 66.	30
Tabla 10. Criterios para la determinación del tipo de investigación.	37
Tabla 11. Determinación de las variables de la investigación.....	38
Tabla 12. Variables controlables.	41
Tabla 13. Identificación de demoras.....	41
Tabla 14. Variables controlables que influyen en la Velocidad de Perforación.	42
Tabla 15. Valores de los parámetros de perforación.	42
Tabla 16. Registro de velocidades de perforación con el martillo y broca QL6.....	44
Tabla 17. Distribución T de Student para el martillo y broca QL6.....	47
Tabla 18. Velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66. .	50
Tabla 19. Distribución T de Student para el martillo y broca ROCK 66.	52

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 20. Intervalos de confianza de Bonferroni.	58
Tabla 21. Distribución de T de Student para la prueba de Hipótesis.	62
Tabla 22. Distribución de T de Student.	66
Tabla 23. Distribución de T de Student para el Intervalo de confianza.	68
Tabla 24. Resultados de la investigación.	70
Tabla 25. Velocidades de perforación del mes de mayo.	81
Tabla 26. Velocidades de perforación del mes de junio.	84
Tabla 27. Velocidades de perforación del mes de julio.....	88
Tabla 28. Primera depuración de datos para el martillo y broca QL6	94
Tabla 29. Muestra de velocidades de perforación con el martillo y broca QL6.	98
Tabla 30. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.....	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Perforadora de la serie DM45 - 03 en el Tajo Diana.....	7
Figura 2. Funcionamiento del martillo en el fondo	16
Figura 3. Broca modelo ROCK 66.....	17
Figura 4. Proceso de fracturamiento de la roca.	18
Figura 5. Acceso a la U.M El Toro desde la plaza de armas de Huamachuco.	22
Figura 6. Accesibilidad a la U.M. El Toro desde la ciudad de Cajamarca.	24
Figura 7. Equipos de perforación en el Tajo Diana, zona de QSD.....	25
Figura 8. Afloramiento de brecha polimíctica en el Tajo Diana.	32
Figura 9. Áreas de perforación con QSD y brecha polimíctica en el Tajo Diana. ...	33
Figura 10. Plano litológico del Tajo Diana.	34
Figura 11. Velocidades de perforación con el martillo y broca QL6.	48
Figura 12. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.....	54
Figura 13. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.....	55
Figura 14. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.....	56
Figura 15. Prueba de igualdad de varianza con el método de Levene.	58
Figura 16. Histograma de los meses de mayo, junio y julio del 2018.	93
Figura 17. Análisis de normalidad para el martillo y broca QL6.	93
Figura 18. Histograma de frecuencia de velocidades de perforación	96
Figura 19. Segundo análisis de normalidad.	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 20. Histograma de la muestra representativa del martillo y broca QL6....	100
Figura 21. Tercer análisis de normalidad para la muestra de los aceros QL6. ...	100
Figura 22. Histograma de la muestra del martillo y broca ROCK66.....	103
Figura 23. Análisis de normalidad de los Aceros Rock 66 en el QSD.....	104
Figura 24. Análisis de normalidad de los Aceros Rock 66 en la brecha.	105
Figura 25. Diseño del martillo QL6.	106
Figura 26. Diseño del martillo ROCK 66.....	107
Figura 27. Análisis económico de perforación.....	108
Figura 28. Diagrama Ishikawa tipo flujo de proceso.	109
Figura 29. Diagrama Ishikawa tipo enumeración de causas.....	110
Figura 30. Formato digital del reporte de perforación.....	111
Figura 31. Formato físico de reporte de perforación.....	112
Figura 32. Perforadora de prueba DM45 - 01.....	113
Figura 33. DM45 - 01 usando el martillo y broca ROCK 66 en el QSD.....	113
Figura 34. Martillo Rock 66 luego de su uso.	114
Figura 35. Martillo Rock 66 PIN BOX para conectarse a la barra.....	114
Figura 36. Broca ROCK 66 Domo 6 ¾ “ de diámetro.	115
Figura 37. Broca ROCK 66 6 ¾ “con sistema de barrido externo de 4 orificios. .	115
Figura 38. Martillo, chuck y broca QL6.....	116

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 39. Martillo QL6.....	116
Figura 40. Sistema de barrido de broca QL6.....	117
Figura 41. Sistema de barrido de la broca QL6 sin orificios en los costados.	117
Figura 42. Sistema de barrido interno de la broca QL6.	118
Figura 43. Broca QL6 6 ¾ ", estructura de conexión.	118
Figura 44. Broca ROCK 66 vs QL6, sistema de barrido y diseño de insertos.....	119
Figura 45. DM45 - 01 perforando en zona de brecha polimíctica.	120
Figura 46. DM45 - 01 perforando en la arenisca cuarzosa de alta Silificación....	122
Figura 47. Vista panorámica del Tajo Diana en La Unidad Minera El Toro.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS

RMR	: Calificación del macizo rocoso.
QSD	: Arenisca cuarzosa.
ROP	: Velocidad de penetración.
Vp	: Velocidad de perforación.
MP	: Metros perforados.
HOP	: Horas operativas de perforación
RPM	: Revoluciones por minuto.
RB	: Rendimiento en metros perforados de la Broca.
RM	: Rendimiento en metros perforados del martillo.
U.T.M	: Universal Transversal Mercator.
S.A.C	: Sociedad Anónima Cerrada.
m	: Metro.
σ_c	: Resistencia a la compresión no confinada.
GSI	: Índice Geológico de Resistencia.
Psi	: Libras por pulgada cuadrada.
KW	: Kilowatt.
Hz	: Hertz.
BPM	: Golpes por minuto.
RQD	: Índice de calidad de la roca.

\bar{x}	: Media de la muestra con el martillo y broca QL6
\bar{y}	: Media de la muestra con el martillo y broca ROCK 66
t_0	: Estadístico de prueba T de Student.
$t_{\alpha, v}$: Valor crítico de la tabla T de Student.
Li	: Límite inferior.
Ls	: Límite Superior.
S	: Desviación estándar.
$\bar{\mu}_x$: Media poblacional del martillo y broca QL6.
$\bar{\mu}_y$: Media poblacional del martillo y broca ROCK 66.
H_0	: Hipótesis Nula.
H_a	: Hipótesis alternativa.
S^2	: Varianza.
v	: Grados de libertad para la prueba de hipótesis.
gl	: Grados de libertad.
m s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar.
DTH	: Down the Hole, sistema de martillo en el fondo.
DM45	: Serie de perforadora roto-percutiva.
DM45 - 01	: Numeración que usa la U.M para nombrar a la perforadora.
QL6	: Modelo de martillo y broca de la empresa NEUMAN.
ROCK 66	: Modelo de martillo y broca de la empresa NEUMAN.
C.V	: Coeficiente de Variabilidad.

CTP : Costo total de perforación.

C.P : Centro Poblado.

ANOVA : Análisis de la varianza de la distribución Fisher.

RESUMEN

La Unidad Minera El Toro de la empresa Los Andes Perú Gold S.A.C, que actualmente es Summa Gold Corporation, se ubica políticamente en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad. La investigación surge por problemas en la velocidad de perforación debido a la presencia de arenisca cuarzosa (QSD) de alta silificación y al afloramiento de brecha polimíctica en la zona de sulfuros y dacita oxidada de la fase 5B y 6A del Tajo Diana en la Unidad Minera El Toro; causando el incumplimiento de la producción mensual. Por lo cual, el objetivo de esta investigación es mejorar la velocidad de perforación y; para ello, se conversó con la empresa NEUMAN, la cual es proveedor de aceros de perforación en la Unidad Minera El Toro, para la adquisición de una nueva tecnología, el martillo y broca modelo ROCK 66. La metodología usada en esta investigación constó en encontrar la causa del problema por lo cual no se estaba cumpliendo con la producción mensual, mediante gráficos de Ishikawa; se investigó antecedentes para dar solución a la baja velocidad de perforación y se identificó cambiar el martillo y broca modelo QL6 por una nueva tecnología el martillo y broca modelo ROCK 66. Para luego recolectar diariamente los resultados de las velocidades de perforación de la perforadora serie y numeración DM45-01, realizando el seguimiento respectivo al martillo y broca ROCK 66. Con esto se analizaron los datos de forma estadística en gráficos comparativos para determinar si existe aumento de la velocidad de perforación con el martillo y broca ROCK 66 respecto al martillo y broca QL6. Obteniendo como resultado una mejora en la velocidad de perforación con el martillo y broca ROCK 66, una mayor vida útil del martillo ROCK 66 y una reducción en el costo de perforación.

Palabras clave: Velocidad de perforación, martillo, broca, Tajo Diana y Unidad Minera El Toro.

ABSTRACT.

The El Toro Mining Unit of the company Los Andes Perú Gold S.A.C, which is currently Summa Gold Corporation, is politically located in the district of Huamachuco, province of Sánchez Carrión, department of La Libertad. The investigation arises due to problems in drilling speed due to the presence of high silica quartz sandstone (QSD) and the outcrop of a polymictic breccia in the sulphide and oxidized dacite zone of phase 5B and 6A of the Diana Pit in the Mining Unit The bull; causing the default of monthly production. Therefore, the objective of this research is to improve drilling speed and; To do this, they spoke with the company NEUMAN, which is a supplier of drilling steels at the El Toro Mining Unit, to acquire a new technology, the ROCK 66 hammer and drill bit. The methodology used in this research consisted in finding the cause of the problem for which the monthly production was not being met, using Ishikawa graphics; Background information was investigated to solve the low drilling speed and it was identified to change the QL6 hammer and drill bit for a new technology the ROCK 66 hammer and drill bit. To then collect the results of the drilling speeds of the drilling machine on a daily basis. series and numbering DM45-01, monitoring the ROCK 66 hammer and drill bit. With this, the data was statistically analyzed in comparative graphs to determine if there is an increase in drilling speed with the ROCK 66 hammer and drill compared to the hammer. and QL6 drill. Resulting in improved drilling speed with the ROCK 66 hammer and bit, longer ROCK 66 hammer life, and reduced drilling cost.

Keywords: Drilling speed, hammer, drill. Diana Pit and El Toro Mining Unit

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera El Toro de la empresa Los Andes Perú Gold S.A.C, que actualmente es Summa Gold Corporation, se ubica políticamente en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, a una altura de 3,580 m s.n.m; tiene un sólo tajo llamado Diana, éste presenta en su mayoría arenisca cuarzosa (QSD) de alta silificación muy fracturada, resistente y muy abrasiva.

Por otro lado, también se encontró, por el avance del minado en el oeste del tajo, en la zona de dacita oxidada y sulfuros, un afloramiento de brecha polimíctica muy fragmentada, moderadamente resistente y muy abrasiva; en consecuencia, las velocidades de perforación (menores a 40 m/h) no eran las adecuadas para entregar proyectos a tiempo. Esto sucedía en las tres (03) perforadoras DM45, las cuales usaban el martillo y broca modelo QL6 de la empresa proveedora de aceros NEUMAN. Las consecuencias eran un atraso en la producción mensual y pérdidas económicas a la empresa.

El problema es ¿Cuánto se podrá optimizar la velocidad de perforación con el martillo y broca modelo Rock 66 en los sectores de arenisca cuarzosa de alta silificación y brecha polimíctica?

La hipótesis que se plantea es: Usando el martillo y broca modelo ROCK 66 se optimizara las velocidades de perforación en los sectores de arenisca cuarzosa de alta silificación y brecha polimíctica para cumplir el plan mensual.

La justificación de la investigación busca determinar si existe optimización de la velocidad de perforación utilizando el martillo y broca modelo ROCK 66.

Los alcances de esta investigación se centran en las pruebas de campo en el Tajo Diana, con el martillo y broca modelo ROCK 66, en un periodo de 16 días que duró la vida útil del martillo, en los sectores donde existe brecha polimíctica y arenisca cuarzosa de alta silificación. La perforadora de prueba fue la DM45-

01, la cual trabajó en dichos sectores; luego se juntó la data de cada día de prueba y fueron registrados en el sistema CDC Gold que maneja la Unidad Minera El Toro.

Se muestra el análisis de datos de forma gráfica y con inferencias estadísticas comparativas de las velocidades de perforación de los meses de mayo, junio y julio del 2018, con el martillo y broca modelo QL6 y los días de prueba, desde el 21 de agosto hasta el 05 de septiembre del 2018, con el martillo y broca modelo Rock 66.

A partir de las velocidades de perforación, rendimientos en metros perforados y los precios del martillo y broca modelo QL6 y ROCK 66, se procedió a comparar el Costo Total de Perforación (CTP) de ambos aceros, a fin de determinar si existe una optimización en el costo de perforación.

El objetivo general es determinar si existe una optimización de la velocidad de perforación utilizando el martillo y broca modelo ROCK 66 en los sectores de arenisca cuarzosa de alta silificación y brecha polimíctica en el Tajo Diana de la U.M. El Toro; con los objetivos específicos siguientes:

Describir las mejoras técnicas del martillo y broca modelo Rock 66 respecto al martillo y broca modelo QL6.

Determinar si existe un aumento de rendimiento en metros perforados con el martillo y la broca modelo ROCK 66.

Determinar si el costo de perforación se optimiza utilizando el martillo y broca modelo ROCK 66.

El orden de los capítulos se describe de la siguiente manera: Capítulo II, conformada por: antecedentes teóricos, bases teóricas y definición de términos; relacionados con la investigación. Capítulo III, muestra la descripción del área de investigación y la metodología utilizada. Capítulo IV, presenta los resultados obtenidos y su discusión con los antecedentes teóricos. Capítulo V, muestra las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gonzales (2010) en su obra: Evaluación de los parámetros de perforación en barrenos y correlación con la geología del terreno (Tesis de pregrado) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Madrid; analiza las características de la maquinaria de perforación y los sistemas de medida continuos durante la perforación de barrenos, con el fin de estudiar la relación existente entre los parámetros de perforación y la geología del terreno. En su investigación, obtuvo resultados poco favorables, el sistema MWD (Measurements While Drilling, en español, Mediciones durante la perforación), que es un programa para analizar continuamente la perforación en tiempo real, que además de ser caro, depende de otros sistemas como: registros geofísicos, calibración del sistema y comparación de resultados; lo cual duplica el trabajo. Este sistema brinda una gran cantidad de información, casi instantánea, pero que solo aporta una idea para predecir las características del terreno, es por ello que, no se puede hacer una relación fiel a la realidad con este sistema.

Cortés (2011) en su obra: Optimización de la perforación, conceptualización y diseño de un simulador de perforación (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México; presenta la conceptualización y un algoritmo para el desarrollo de un simulador de perforación; el cual, ingresando como datos de entrada el récord de perforación de un pozo, nos daría como datos de salida, la predicción de la velocidad de penetración del pozo a perforar. De esta manera, poder seleccionar los parámetros operativos y condiciones que den como resultado, un menor costo; optimizando la operación. También señala que las operaciones de perforación están enfocadas en el ahorro de tiempo. Esto influye en el costo de los equipos por el tiempo de uso. De manera que, tanto las

compañías arrendadoras, como las prestadoras de servicios, buscan una disminución en sus costos de operación, para que, de esta manera, logren un incremento en sus ganancias.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Abanto (2016). En su obra: 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, Trujillo; plantea optimizar el mantenimiento de brocas de 45mm. Para su estudio, se usó datos de consumo de brocas, sin optimizar su rendimiento, de los meses de junio y julio (antes) y los meses de agosto, setiembre y octubre optimizando su rendimiento (después). En lo cual, antes la broca de 45mm y rimadora de Sandvick, venían presentando un rendimiento de 181m/broca, 10% debajo de su vida útil, y 172m/rimadora, 14% debajo de su vida útil, la vida útil establecida por la empresa proveedora Sandvick es de 200 m para esta mina. Generando un costo de perforación promedio de 162.5\$/m, siendo este mayor en 3.8\$/m, que el precio unitario de perforación (158.7\$/m). Por ello, se buscó una solución para aumentar el rendimiento de la broca de 45mm Sandvick, llegando a obtener en su investigación un rendimiento de 258 m/broca, alcanzando 29% más que su vida útil estándar (de 200m/broca). Además, se redujo el costo de perforación en 4%, equivalente a 6.4\$/m, de 162.5\$/m a 156.1 \$/m promedio, logrando un ahorro en tres meses de 6770.2\$; que fue el ahorro esperado.

Jáuregui (2009) en su obra: Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura (Tesis de pregrado). PUCP, Lima; resalta que, es de vital importancia la capacitación continua del personal en las técnicas de perforación y voladura. Del mismo modo, la importancia de la motivación y retroalimentación al personal. En su trabajo de investigación, la reducción del costo de perforación es de 0.37 \$/TM; es decir, una reducción del costo de 333 000 \$ al año, por razones análogas a la voladura, en la cual, 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 menor consumo de brocas, debido a un adecuado mantenimiento y afilado de estos aceros de perforación, esto incrementó la vida útil por broca, en un 20%.

2.1.3. Antecedentes locales

Sánchez y Llaique (2015) en su obra: Determinación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca – Perú, 2015 (Tesis de pregrado). UNP, Cajamarca; busca como objetivo principal, determinar el Costo Total de Perforación (CTP), 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 en esta investigación fueron: 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). La investigación analizó y evaluó una muestra de doce perforaciones aleatorias, con los diferentes modelos de brocas para determinar la reducción del costo total de perforación (CTP); 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 CTP en 21.42% en terrenos duros y 19.45% en terrenos de dureza medio - suave. Por lo tanto, estos modelos de brocas, han dado buenos resultados, sobre todo en terrenos duros.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Especificaciones técnicas de la perforadora serie DM45

En la página web de EPIROC (2018) se puede encontrar las siguientes características de la perforadora DM45:

El robusto bastidor principal de la DM45 y el diseño de la torre garantizan una

larga vida útil de las máquinas, incluso en algunas de las condiciones de minería más duras. El enrejado estructural de la torre de doble corte garantiza una estructura robusta, sin el peso añadido de diseños menos eficientes.

La espaciosa cabina FOPS (estructura de protección contra la caída de objetos) de una pieza con controles eléctricos, en lugar de hidráulicos, que son comunes con DM30 II y DML, facilitan el manejo de la DM45, especialmente para los perforistas que tienen experiencia en otras máquinas de la serie DM.

Para aplicaciones Single-Pass, la DM45 puede perforar barrenos limpios de 8.5 m de profundidad. Sus especificaciones se presentan a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la perforadora EPIROC DM45.

Especificaciones Técnicas	
Serie de la perforadora	DM
Método de perforación	Rotativa con martillo en el fondo
Diámetro del barreno	149 – 229 mm
Empuje Hidráulico	200 KN
Tracción Hidráulica	98 KN
Peso sobre la broca	20 400 kg
Profundidad en una pasada	8.5 m
Peso estimado	35 – 41 t

Fuente: EPIROC 2018.



Figura 1. Perforadora de la serie DM45 - 03 en el Tajo Diana.

Fuente: U.M El Toro 2018.

2.2.2. Perforación por percusión – rotación

Este sistema de perforación se realiza mediante golpes, que se transmiten a la broca, este impacta a la roca y al mismo tiempo debe girar. Tiene como misión hacer que ésta actúe sobre puntos distintos de la roca en el fondo del taladro. (Yanacocha, 2016).

Bernaola (2013), en su investigación menciona:

Que 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 dentro del taladro quedándose atascada (p.26).

2.2.3. Velocidad de penetración (ROP)

Minera Yanacocha (2016), menciona que la velocidad de penetración se entiende como la longitud de taladro perforado por una unidad de tiempo, por ejemplo, 3pies/min, 1m/min.

$$ROP = (61 - 28\text{Log}RC) \frac{E}{D} \times \frac{N}{300} \quad (2.1)$$

Donde:

ROP: Velocidad de penetración (Pies/h)

RC: Resistencia a la compresión (miles de libras por pulgada cuadrada, Mpsi).

E/D: Empuje unitario (miles de libras por pulgadas de diámetro).

N: Revoluciones por minuto (RPM).

2.2.4. Velocidad de perforación

Este término es usado para determinar el rendimiento de las perforadoras y se mide mediante los metros perforados, durante un tiempo determinado, es decir, metros por horas o metros por minutos (Veas 2011).

Para la determinación de la velocidad de perforación en la Unidad Minera El Toro se toma en consideración la siguiente fórmula:

$$Vp = \frac{MP (2 \text{ turnos})}{HOP (2 \text{ turnos})} \quad (2.2)$$

Donde:

MP: Metros perforados en el turno noche y turno día.

HOP: Horas operativas de perforación en el turno noche y turno día.

Minera Yanacocha (2016), menciona que la velocidad de perforación, depende de:

La dureza de la roca, el tipo de equipo de perforación, la aplicación de fuerza de empuje, la velocidad de rotación y percusión; diámetro de taladro, buen rendimiento de las brocas y martillos; del barrido o limpieza de los detritus, longitud del taladro, orientación o dirección de los taladros y del operador.

2.2.5. Parámetros de perforación

2.2.5.1. Velocidad de rotación (rpm)

En principio, conceptualmente, la velocidad de rotación es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión de la roca. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la velocidad de rotación también varía en función de la marcha en la que se esté trabajando (Análisis del proceso de perforación s.f, p. 48).

La velocidad de penetración aumenta con la velocidad de rotación, en una proporción menor que la unidad, hasta el límite impuesto por la evacuación de detritus (Jáuregui Aquino 2009).

Según la opinión de Rivera (s.f) la velocidad de penetración se incrementa al incrementar la velocidad de rotación (RPM), especialmente en terrenos suaves, debido a que el inserto pasa a la siguiente posición de corte más rápido (p.2).

2.2.5.2. Presión de rotación

La presión de rotación o torque indica la presión ejercida a la broca, provocada por la fuerza de empuje o Pulldown y la velocidad de rotación en el fondo del taladro, contra la presión ejercida por el terreno (Llaique, 2015).

2.2.5.3. Caudal de aire

Cuando la perforación se efectúa con menos aire que el necesario se producen los siguientes efectos negativos (Llaique, 2015):

Disminución de la velocidad de penetración, aumento del empuje necesario para perforar, incremento de las averías de la perforadora, debido al sobreesfuerzo, aumento del desgaste en el estabilizador, barra y broca.

2.2.5.4. Fuerza de empuje o Pulldown.

La fuerza de empuje, que es necesario aplicar, aumenta directamente con la dureza de la roca y debe alcanzar una magnitud suficiente para sobrepasar su resistencia a la compresión. Por otra parte, esta fuerza no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en la cabeza de perforación. En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la incrustación de la cabeza y consecuente destrucción, lo que significa el término de la vida útil de la herramienta (Análisis del proceso de perforación, s.f, p. 49).

2.2.6. Costo total de perforación (CTP)

Minera el Toro, en consideración con la marca Sandvik, calcula el CTP con la siguiente formula:

$$CTP = \frac{B (\$)}{RB (m)} + \frac{M (\$)}{RM (m)} + \frac{D (\frac{\$}{h})}{VP (\frac{m}{h})} \quad (2.3)$$

Donde:

B: Precio de la Broca.

RB: Rendimiento de la Broca.

M: Precio del Martillo (\$ incluido IGV).

RM: Rendimiento del martillo (m).

D: Costo Horario de la perforadora (\$/h).

VP: Velocidad de perforación (m/h).

El precio de la broca (B) es diferente para cada empresa minera, ya que se obtiene al ponderar el precio de lista ofrecido por el fabricante, por un factor que depende fundamentalmente de la situación geográfica de los proveedores, gravámenes e impuestos que debe tributar cada consumidor, según sea el tipo, marca y diámetro, Por lo anterior, el factor no es estándar para los fabricantes.

2.2.7. Propiedades físicas y geotécnicas de la roca

2.2.7.1. Abrasividad

Golovanevskiy y Bearman (citados en Sánchez, Calleja, Rodríguez, Setien y Argandoña, 2016) explican que:

La abrasividad es una propiedad que refleja el efecto abrasivo de las rocas y minerales al contacto con otros materiales y, por lo tanto, de gran importancia en la vida útil de los materiales y eficiencia en el procesado de minerales y equipos de trabajo (p.349).

La abrasión y dureza son utilizadas de forma errónea, al confundir sus definiciones, en lo que respecta a la trabajabilidad de la roca. La abrasividad no es una propiedad física como la dureza, esta solo es una característica del comportamiento de la roca, es decir, la abrasión depende de la dureza de la roca, pero no únicamente de esta (Sánchez et al. 2016, p. 349).

Plinninger et al.(citados en Sánchez et al. 2016) afirman que, el fenómeno producido en el desgaste por abrasión es función de la diferencia de dureza entre los cuerpos que interactúan, en este caso, la roca y una herramienta de corte metálica (p.349-350).

Tabla 2. Clasificación de la abrasividad de las rocas.

	CAI (dm)	LAC (g/t)	Ejemplo
No abrasiva	0 - 0.3	0 – 50	Material Orgánico
No muy abrasiva	0.3 - 0.5	0 – 100	Lutita, Marga
Ligeramente abrasiva	0.5 – 1	100 – 250	Pizarra, Caliza
Abrasividad media	1 – 2	250 – 500	Esquistos, areniscas
Muy Abrasiva	2 – 4	500 – 1250	Basalto, Cuarzoarenizca
Extremadamente Abrasiva	4 – 6	1250 -2000	Anfibolita, Cuarcita.

Fuente: Sánchez et al, 2016.

Esta clasificación es según los índices de abrasividad cai (dm) y lac (g/t) Käsling y Thuro.

La arenisca cuarzosa y brecha polimíctica, dentro de esta clasificación, están consideradas como rocas muy abrasivas.

2.2.7.2. Dureza

Según Moreno e Ibáñez (s.f) la dureza es una de las propiedades físicas que se utiliza para la identificación y reconocimiento de minerales. En sí, la dureza es la característica que mide la resistencia que ofrece una superficie lisa a la abrasión (p.3)

Para cuantificar la dureza se utiliza la escala de Mohs, se toma como referencia 10 minerales y sus durezas relativas, como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Escala de dureza de Mohs

Escala de Mhos	
Dureza	Mineral
10	Diamante
9	Corindón
8	Topacio
7	Cuarzo
6	Ortoclasa
5	Apatita
4	Fluorita
3	Calcita
2	Yeso
1	Talco

Fuente: Danna 2003.

2.2.7.3. Resistencia y deformabilidad

La resistencia determina la competencia de la roca matriz para mantener unidos sus componentes, y depende fundamentalmente de su composición mineral y del grado de alteración (Rodríguez 2007, p. 6)

La resistencia (compresión simple) y el comportamiento frente a la deformación (módulo de Young, coeficiente de Poisson) nos permiten caracterizar y clasificar la matriz rocosa (Rodríguez 2007, p. 6).

Tabla 4. Ensayo del índice de resistencia de la roca (ISRM, 1978).

Grado	Clasificación	Identificación	Rango Aprox. De resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25 – 1,0
R1	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente.	1,0 – 5,0
R2	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con la navaja se talla con dificultad.	5,0 – 25
R3	Roca moderadamente resistente	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse.	25 – 50
R4	Roca resistente	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	50 – 100
R5	Roca muy resistente	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente resistente	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Fuente: Rodríguez 2007.

2.2.7.4. Clasificación geomecánica RMR

Según Ayala (s.f) explica que el RMR:

Fue desarrollada en Sudáfrica, a partir de cuarenta y cinco túneles por Bieniawski en 1973, y posteriormente revisada por el mismo autor en 1976 y 1979. Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez, relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos (p. 9):

Resistencia Uniaxial de la matriz rocosa, grado de fracturamiento en términos del RQD, espaciados de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades condiciones Hidrogeológicas y orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

2.2.8. Aceros de perforación

2.2.8.1. Martillo de fondo (DTH)

Rivera en su investigación Percusión asistida en la perforación rotativa en minería a tajo abierto, explica que:

Este método de perforación se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón), el cual transmite la energía de impacto a la roca por medio de un elemento de corte (broca). La velocidad de penetración en la perforación DTH se incrementa directamente con el incremento de la presión de aire (p.1).

Otra explicación de este método se describe a continuación:

El martillo se sitúa en el fondo del taladro, golpeando así el pistón directamente sobre la broca (Bernaola et al, 2013)

Las características de trabajo que presentan los martillos en esta investigación, según Bernaola et al (2013), tienen el siguiente funcionamiento:

El martillo tiene forma cilíndrica y su mecanismo de percusión funciona de forma

similar a como se muestra en la figura 2. La posición “a” muestra el inicio de la carrera ascendente del pistón. El aire a presión abre la válvula anti retorno situada en la parte superior del martillo y entra en el tubo central distribuidor. De las tres oquedades de salida de éste, sólo la central se encuentra abierta, de forma que el aire llega a la parte inferior del pistón a través de uno de los conductos internos del mismo y lo impulsa hacia arriba. En la posición “b”, el pistón se encuentra en la parte superior y ahora es la oquedad inferior la única que se encuentra abierta. Así el aire llega a la parte superior del pistón a través del otro conducto y lo impulsa hacia abajo. Por último, la posición “c” ilustra el caso en que el martillo no está perforando, en cuyo caso la broca no apoya sobre el terreno y tanto ella como el pistón se encuentran en una posición más baja. En estas circunstancias el aire sale por la lumbrera superior y, por el interior del pistón, se comunica con los orificios de barrido de la broca, realizando un soplado del barreno sin accionar el mecanismo de percusión del martillo, evitando así la percusión en vacío. (p.14-15)

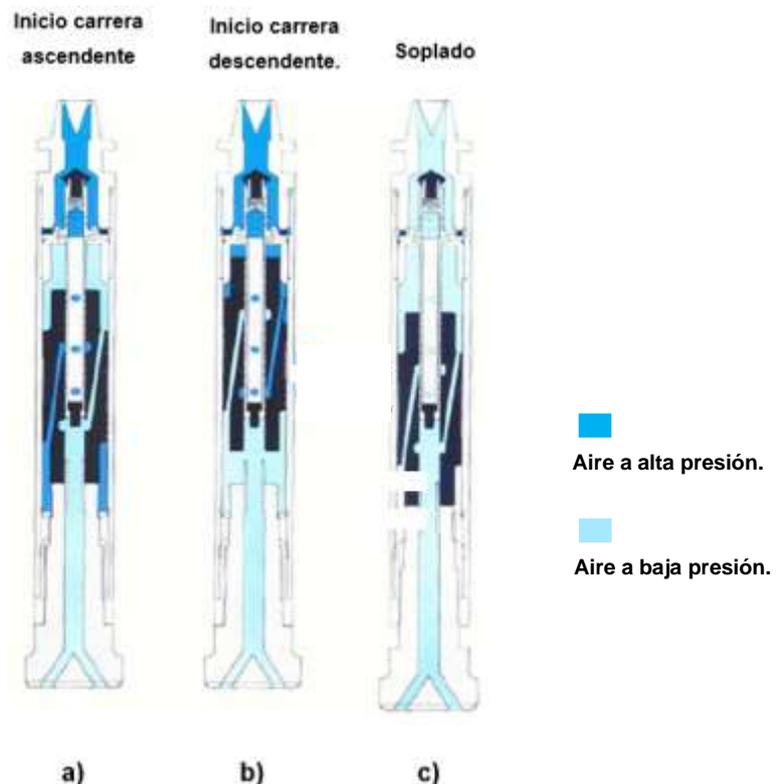


Figura 2. Funcionamiento del martillo en el fondo

Fuente: Bernaola et al. 2013.

2.2.8.2. Broca para el sistema DTH.

Una broca de perforación es un dispositivo conectado al extremo de la sarta de perforación que rompe, corta o aplasta las formaciones rocosas al perforar un pozo. La broca de perforación es hueca y posee boquillas para permitir la expulsión del fluido de perforación, o “fango”, a gran velocidad y a alta presión para ayudar a limpiar la broca y, en el caso de formaciones más suaves, ayuda a romper la roca. Esta broca no tiene partes móviles y funciona raspando la superficie de la roca con dientes en forma de disco, fabricados con un trozo de diamante sintético en un cilindro de carburo de tungsteno (RK Pipe and Supply, 2019)

El tipo de broca utilizada en esta investigación, es de tipo domo, es decir, los insertos son de forma semi circular. Se muestra a continuación sus características en la figura 3:



Figura 3. Broca modelo ROCK 66.

Fuente: U.M El Toro 2018.

El proceso de fracturamiento de la roca por perforación roto-percutiva, según Yanacocha (2016), se muestra en la figura 4:

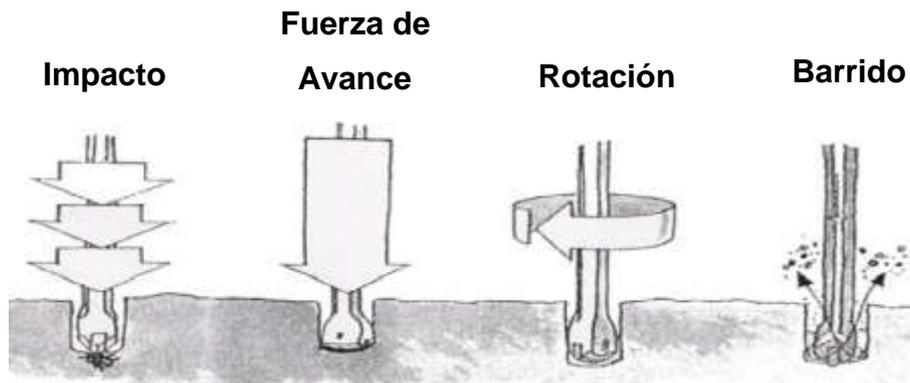


Figura 4. Proceso de fracturamiento de la roca.

Fuente: Yanacocha 2016.

2.2.9. Perforabilidad de la roca

Natividad (1995) en su tesis “Herramientas para perforación de rocas por percusión” dice que:

La resistencia compresiva es una medida que indica la presión a que se puede someter en prueba una roca antes de que se quiebre. La perforabilidad de la roca es inversamente proporcional a su resistencia compresiva. La perforabilidad de las rocas depende, entre otras cosas, de la dureza de los minerales que la constituyen y del tamaño de los granos (p.2).

2.2.10. Diámetro del taladro

En la perforación de taladros para voladura son muchos los factores que influyen en la elección del diámetro, como ejemplo, la fragmentación que se desea obtener, el explosivo que será usado, las vibraciones que se permiten en el terreno. En minas a cielo abierto y en canteras, trabajar con taladros de gran diámetro permiten menores costos de perforación y voladura por tonelada de material extraído (Natividad, 1995).

2.3. Definición de términos básicos

Abrasión: Hecho y consecuencia de desgastar por medio de la fricción (Pérez y Merino 2012)

Avance de perforación: El objetivo del avance es mantener a la broca de perforación en contacto con la roca. Cuando se aumente la presión de percusión, también se debe aumentar la presión del avance (Espinoza 2011).

Brecha polimíctica: Una brecha polimíctica es una roca clástica sedimentaria, compuesta de clastos angulosos de diferente origen entremezclados en una matriz consolidada (Claudin s.f)

Barrido: El objetivo del barrido es eliminar los recortes de roca del barreno durante la perforación (Espinoza 2011).

Compresión: Es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo (Federación de enseñanza de CC. OO, 2011).

Detritus: Partículas o esquirlas de roca procedentes de la perforación de un barreno (Pernia et al, s.f).

Horas operativas: Tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente (U.M El Toro 2018).

Holdback: Parámetro para la retención de peso de la columna de perforación (U.M El Toro 2018).

Límite técnico: El límite técnico, se puede definir como el proceso para alcanzar el óptimo desempeño, revisando y aplicando las mejores prácticas de ingeniería a las operaciones (Martínez, Ibarra & Velázquez, s.f)

Percusión: Permite la penetración de la broca de perforación en la roca. La potencia de percusión transmitida por la sarta de perforación es una combinación de fuerza y frecuencia de impacto (Espinoza 2011).

Rendimiento: Eficiencia energética o trabajo útil que realiza un dispositivo,

máquina, herramienta, accesorio, etc.; en un intervalo de tiempo determinado (Instituto Nacional de Tecnologías educativas y de formación del profesorado, s.f).

Rotación: La función principal de la rotación en la perforación rotopercutiva es hacer girar la broca a una nueva posición después de cada impacto del pistón (Espinoza 2011).

Taladro: Hueco cilíndrico realizado en la roca para alojar explosivo (Pernia et al s.f)

Vida útil: Es la duración estimada de un objeto, normalmente se calcula en horas o años de duración, dependerá de la calidad y condiciones del nivel de mantenimiento, las condiciones climáticas y la intensidad de uso. (ALACERO s.f)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Ubicación

La Unidad Minera El Toro es propiedad de las empresas Corporación del Centro S.A.C. y los Andes Perú Gold S.A.C, hoy llamado Summa Gold Corporation; está ubicada en la franja central del Corredor Chimú, políticamente se ubica en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, Perú; a una altura de 3,580 m s.n.m, dentro de la hoja 16-G-Cajabamba. El mineral extraído es tratado mediante PADs de Lixiviación y su metal de recuperación es el oro (Au).

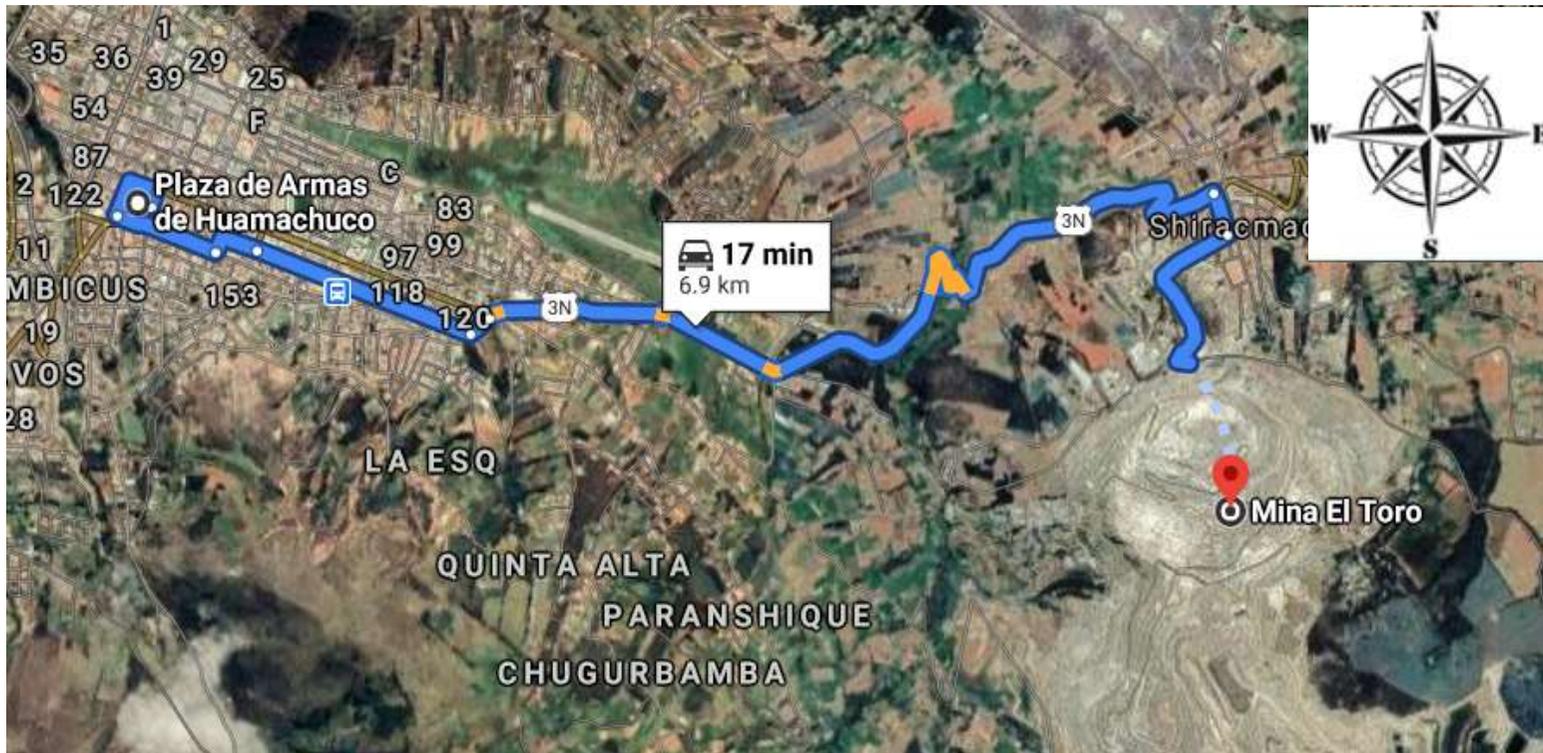


Figura 5. Acceso a la U.M El Toro desde la plaza de armas de Huamachuco.

Fuente: Google Earth 2019.

3.2. Accesibilidad

Para llegar a la U.M. El Toro, partimos en movilidad contratada (Combi, Coaster o Bus) desde Cajamarca a la provincia de San Marcos con Orientación SE, seguimos la misma orientación SE hasta llegar a la provincia de Cajabamba; de allí contratamos una movilidad particular (Mini van), que tomará la ruta de Cajabamba hacia el distrito de Huamachuco, con orientación al SE. A unos 15 minutos antes de llegar a la ciudad de Huamachuco, está el Centro poblado de Shiracmaca, allí es donde se debe descender del vehículo, para luego subir en camioneta en dirección SW hasta la garita de la Unidad Minera el Toro, se muestra en la tabla 5 la distancia y tiempo de cada trayectoria:

Tabla 5. Ruta de acceso a la U.M El Toro.

Tramo		Tipo de vía	Estado de vía	Transporte	Distancia (Km)	Tiempo (h:m)
De	A					
Cajamarca	San Marcos	Asfaltada	Buena	Combi	69.4	02:00
San Marcos	Cajabamba	Semi-Asfaltada	Regular	Combi	58.3	1:18
Cajabamba	Shiracmaca	Asfaltada	Regular	Minivan	5.00	1:29
Chiracmaca	Garita Shiracmaca	Trocha Carrozable	Mala	Camioneta	2.00	00:15

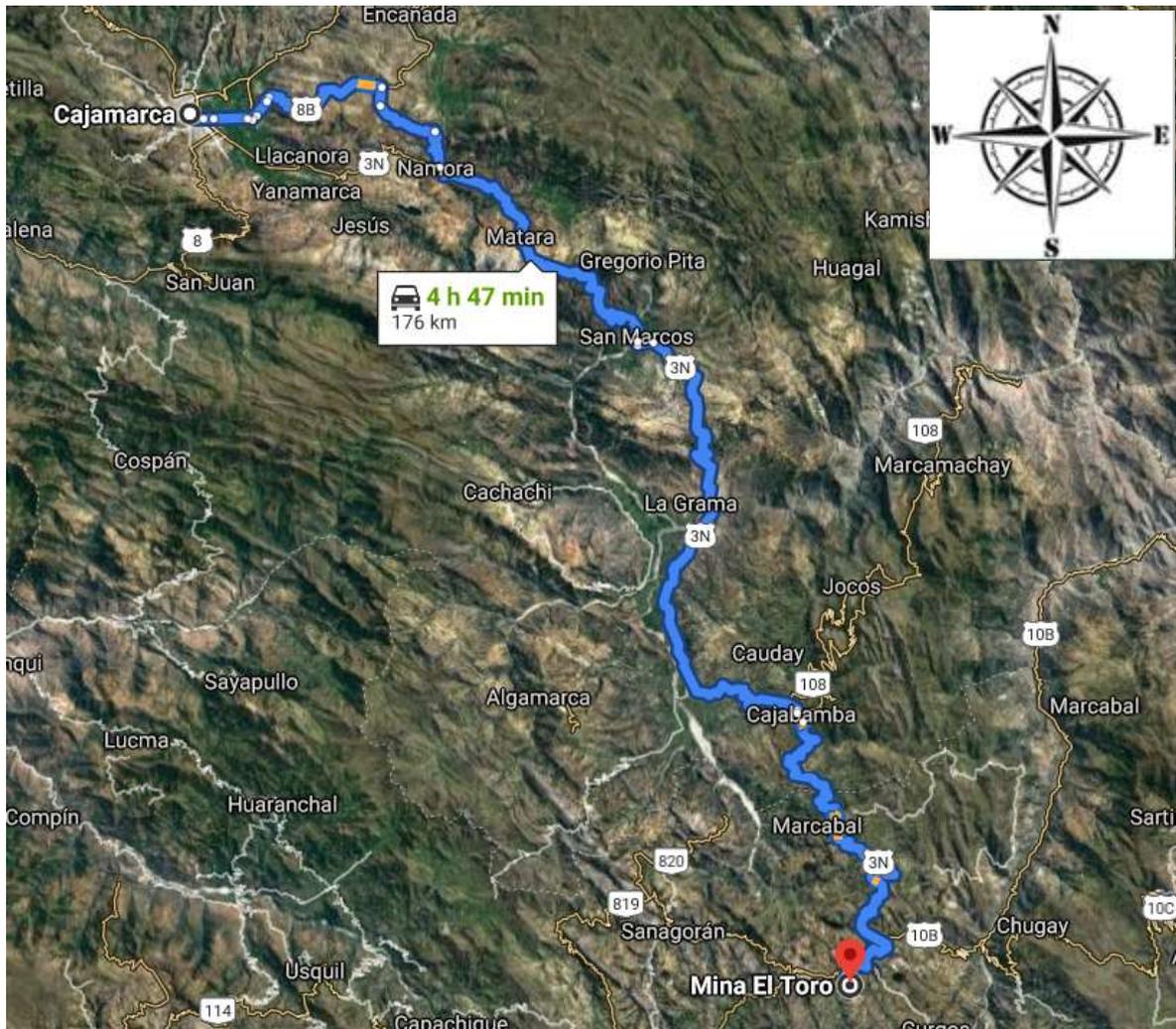


Figura 6. Accesibilidad a la U.M. El Toro desde la ciudad de Cajamarca.

Fuente: Google Earth 2019.

3.3. Generalidades del proyecto Minero El Toro

Los centros poblados y caseríos dentro del radio de influencia directa son: el Caserío de Coigobamba, C.P Menor de Shiracmaca, Caserío el Toro y el anexo de Santa Cruz.

La Unidad Minera el Toro cuenta con dos garitas de acceso: la primera por el C.P Menor de Shiracmaca y la segunda garita se encuentra por el anexo de Santa Cruz.

Esta Unidad Minera cuenta con un solo tajo, llamado Diana, tiene una altura de

banco de 8 m, una sobre perforación de 0.5 m y un diámetro de taladro de 6 ¾ “.

La perforación se realiza con tres perforadoras de serie DM45 de Atlas Copco; como se muestra en la figura 7; estas están diferenciadas por un código numérico de la siguiente manera: DM45-01, DM45-02 y DM45-03.

Las pruebas de los aceros ROCK 66 en esta investigación se realizaron en la perforadora DM45-01.



Figura 7. Equipos de perforación en el Tajo Diana, zona de QSD.

Fuente: U.M El Toro 2018.

3.4. Litología

Localmente en la U.M El Toro, se pueden describir las siguientes unidades que han sido diferenciadas según el origen, composición química y características texturales; el orden descrito a continuación es por edad, según los resultados de las muestras de las perforaciones.

Estas unidades tienen una denominación local para facilitar el modelamiento y su caracterización. En la Tabla 6 se muestra las abreviaturas para describir de forma clara cada tipo de roca (Ejemplo: AND INT, quiere decir, Andesita Hipabisal)

Tabla 6. Unidades de Rocas Yacimiento el Toro.

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 Polimíctica
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: U.M El Toro 2018.

3.5. Geología del Tajo Diana en Minera El Toro

Se describen a continuación los aspectos geológicos regionales y locales, estratigrafía, hidrogeología y condiciones geotécnicas de la zona de estudio. Esta información ha sido extraída del Informe Técnico del área de geotecnia de los Anddes Asociados SAC.

3.5.1. Geología regional

El área de estudio se localiza en la cordillera Occidental, con coordenadas geográficas de 7°49'32" latitud Sur y 78°00'34" longitud Oeste, a una altitud promedio de 3490 m s.n.m. Las unidades morfo-estructurales constituyen depresiones fuertemente disectadas, con valles fluviales de flancos suaves a encañonados, cerros de cimas angulosas y extensos conos aluviales (Peña & Belleza 2017).

La litología regional comprende secuencias de rocas sedimentarias pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga (Formaciones Farrat, Carhuaz, Santa y Chimú) del Cretácico Inferior, seguido de lutitas y calizas de las Formaciones Inca, Chulec y Pariatambo, del Cretácico Medio Superior. Suprayaciendo se tienen depósitos coluviales, aluviales y proluviales y suelos residuales. Las secuencias descritas han sido afectadas por intrusivos Paleógeno - Neógeno y andesíticos-dioríticos, relacionados probablemente a la mineralización del yacimiento donde la tectónica regional tiene un dominio de esfuerzos compresivos manifestándose en fallas y pliegues de orientación NO-SE de extensión kilométrica, que afectan al basamento del Jurásico - Cretácico (Peña & Belleza 2017).

3.5.2. Geología local

El proyecto se sitúa en el flanco sureste de la prolongación meridional del cerro El Toro, emplazado en un ambiente geológico de alternancia sedimentaria marino transgresivo a continental, cercano a la zona de transición (Peña & Belleza 2017).

3.5.3. Estratigrafía

El área del proyecto, se emplaza sobre las Formaciones Santa y Carhuaz, de secuencia sedimentaria, conformada por alternancia de areniscas cuarzosas, intercaladas con calizas y lutitas carbonosas, de color gris, grano fino, tabulares, de moderada a extremadamente fracturadas; sobre yaciendo se encuentran intercalaciones de areniscas cuarzosas y lutitas, de grano fino a medio y color gris plomizo (Peña & Belleza 2017).

3.5.4. Hidrogeología

La revisión de aspectos hidrogeológicos ha sido enfocada principalmente al componente de tajo abierto y a la interacción que puede presentarse con el flujo subterráneo en la zona de interés. La información hidrogeológica para fines de los análisis de estabilidad se ha basado en el informe de ACOMISA (2013). De acuerdo a este informe, se asume que el nivel freático se encuentra por debajo de la cota de fondo del tajo (3244 m s.n.m) y que ésta se encuentra a 3187 m s.n.m, por lo indicado, se asume, que no existe impacto alguno sobre los flujos subterráneos (Peña & Belleza 2017).

3.5.5. Condiciones geotécnicas.

3.5.5.1. Resistencia de la roca intacta

Las resistencias de la roca intacta se obtuvieron de los ensayos de Resistencia a la compresión uniaxial (RCS) y de carga puntual, desarrollados por Anddes. Durante la caracterización de la resistencia de la roca intacta, se consideró los resultados más confiables y objetivos referenciados a los ensayos de RCS.

Los valores de Resistencia a la Compresión Uniaxial 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 RCS que fluctúan entre 25 MPa y 200 MPa. La roca sedimentaria

arenisca es más resistente que la roca dacita. La Tabla 7 resume los valores de RCS promedio según su litología.

Tabla 7. Resistencias de la roca en el Tajo Diana.

Litología	σ_c (MPa)	Grado de Resistencia	Dureza
Areniscas	70	R4.0	Roca resistente
Dacitas	35	R3.0	Roca moderadamente resistente
Lutita-Limonita	5	R1.0	Roca muy blanda
Brechas	30	R3.0	Roca moderadamente resistente

Fuente: Peña & Belleza 2017

Siendo la arenisca cuarzosa una roca resistente y la brecha polimíctica moderadamente resistente.

3.5.5.2. Clasificación del macizo rocoso RMR y GSI.

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 8. Resumen de 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: Peña & Belleza 2017.

Siendo la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica una roca de calidad mala

3.5.5.3. Índice de calidad de la roca (RQD)

El grado de fracturamiento fue evaluado a través 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 clasificada como MUY POBRE.

De acuerdo a la revisión de logeo geotécnico, 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%. (Peña & Belleza 2017).

3.6. Análisis comparativo técnico de los martillos de perforación.

Las mejoras técnicas del martillo 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 y mayor potencia; se puede apreciar la mejora de cada parámetro en la tabla 9.

Tabla 9. Comparación técnica del Martillo 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

PARÁMETROS	DTH QL6 (OPERANDO)	ROCK66 (PRUEBA)
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: NEUMAN 2018.

La importancia del diseño y flexibilidad de instalación, también fue un punto importante al momento de seleccionar el tipo de martillo y broca de perforación, por ello, se puede revisar el anexo 04, donde se muestra el diseño técnico de ambos martillos.

3.7. Etapa de campo

3.7.1. Identificación de la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Con el fin de identificar la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica se presenta a continuación en la figura 8, 9 y 10, fotografías y el plano litológico del Tajo Diana.



Figura 8. Afloramiento de brecha polimíctica en el Tajo Diana.

Fuente: U.M El Toro 2018.



Figura 9. Áreas de perforación con QSD y brecha polimíctica en el Tajo Diana.

Fuente: U.M El Toro 2018.

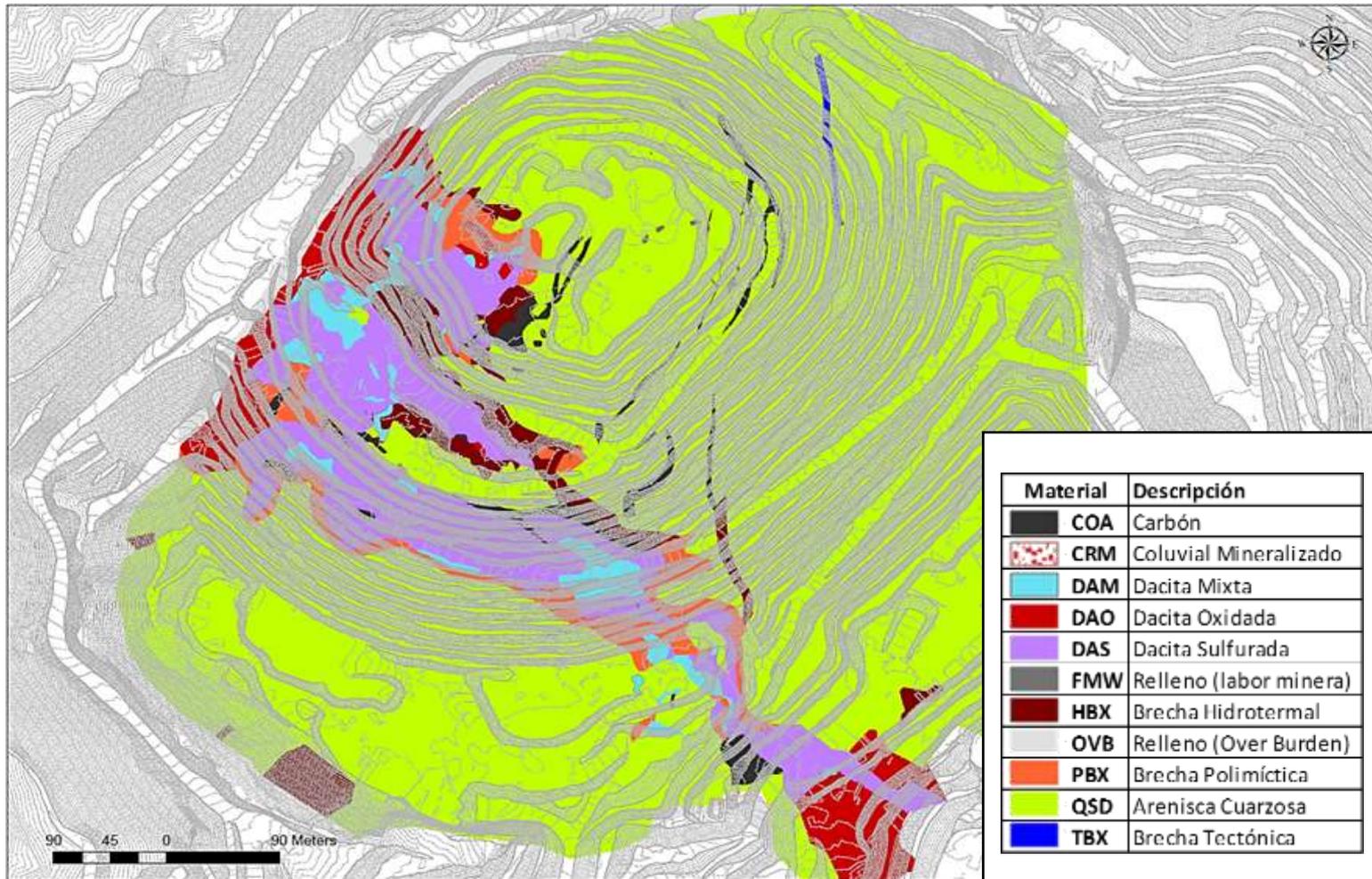


Figura 10. Plano litológico del Tajo Diana.

Fuente: Peña & Belleza 2017.

Se observa como roca predominante a la arenisca cuarzosa (QSD), además de contar con un afloramiento de brecha polimíctica en la dacita sulfurada.

3.7.2. Seguimiento a las pruebas de los aceros

Con el objetivo de obtener rendimientos confiables, se dio seguimiento a la perforación, además de seleccionar a los operadores y ayudantes más experimentados, los cuales, tendrán por misión la instalación adecuada de los aceros dentro de la columna de perforación. El operador tiene el respaldo de llevar a cabo la perforación sin ningún tipo de sabotaje al producto, con una supervisión continua.

Se instalo el martillo y broca ROCK 66 el día 20 de agosto turno día, para empezar a perforar con estos el turno noche del día 21 de agosto del 2018.

3.7.3. Recolección de datos.

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 de la empresa Corporación Del Centro (CDC), el cual arroja los resultados de estos indicadores, con estos datos se llena el DASBOARD que maneja el área de Perforación y Voladura de la U.M El Toro.

Se recopiló información de los meses de mayo, junio y julio del 2018 para realizar el comparativo con los días de prueba usando el martillo y broca ROCK 66. Cabe resaltar que el metraje ingresado por taladro es de 9 m y no 8.5 m, que es la suma de la altura de banco y la sobre perforación, por motivo que los taladros se derrumban y tienen un margen de tapado de 0.5 m, evitando así una re perforación.

La investigación se centra en los metros perforados y horas operativas para determinar las velocidades de perforación. Esto se realiza de la siguiente manera:

Se suman todos los metros perforados de ambos turnos (A y B) para el acumulativo del día, como se muestra en el anexo 07, en los formatos de reporte de perforación.

En hora inicial y hora final se acumulan los tiempos donde la perforadora está operativa y produciendo, estos tiempos se suman y se obtiene las horas operativas, como se muestra en el anexo 07, formatos de reporte de perforación.

Con los metros perforados y horas operativas, de ambos turnos, se realiza una división entre ellas para hallar la velocidad de perforación. Finalmente, se realiza un análisis comparativo – descriptivo de los datos recopilados y se verifica si existe una mejora en la velocidad de perforación.

3.8. Metodología de investigación.

El enfoque de la investigación es mixto porque representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos (cuanto se podrá aumentar la velocidad de perforación) y cualitativos (cual broca y martillo me darán ese aumento en la velocidad de perforación), así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza 2008).

El diseño de la investigación es no experimental porque no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos (Fernández y Baptista 2014).

El tipo de diseño de la investigación es Longitudinal porque en estos estudios se recaban datos en diferentes puntos del tiempo, como en la presente investigación que se recolectaron datos diariamente durante 16 días para realizar inferencias

estadísticas acerca de la evolución del problema de investigación, sus causas y sus efectos (Fernández y Baptista 2014).

La lógica de la investigación es inductiva porque va de lo particular a lo general, de los datos a las generalizaciones (Fernández y Baptista 2014).

La finalidad del análisis de datos es sistemático y estandarizado porque describe a las variables y explica sus cambios utilizando de forma intensiva a la estadística descriptiva e inferencial (Fernández y Baptista 2014).

La fuente de datos es primaria porque se utiliza una hoja de registro de perforación para realizar controles operacionales (Fernández y Baptista 2014).

El contexto de la investigación es el lugar y tiempo, así como accesos y permisos (Fernández y Baptista 2014), en este caso es en campo, en el Tajo Diana de la U.M El Toro, durante 16 días.

Tabla 10. Criterios para la determinación del tipo de investigación.

CRITERIO	INVESTIGACIÓN
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Mixto puro.
Diseño de la investigación	No experimental.
Tipo de diseño	Longitudinal
Lógica de la investigación	Inductiva.
Finalidad del análisis de datos	Sistemático y estandarizado.
Fuente de datos	Primarios
Contexto	Campo

La variable independiente viene a ser el tipo de martillo y broca de perforación que se use, porque al usar el modelo ROCK 66 o QL6, la variable dependiente,

es decir la velocidad de perforación, va a variar.

Tabla 11. Determinación de las variables de la investigación.

Variables	
Variable Independiente (Causa)	Variable Dependiente (Efecto)
Martillo y Broca de perforación	Velocidad de Perforación.

3.8.1. Población

Velocidades de perforación en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

3.8.2. Muestra

Velocidades de perforación obtenidas en los 16 días de prueba en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica para el martillo y broca ROCK 66 y los meses de mayo, junio y julio del 2018 para el martillo y broca QL6.

3.8.3. Unidad de análisis

El martillo y broca modelo ROCK 66.

3.8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Durante el desarrollo de la investigación fue necesario emplear algunos equipos e instrumentos para la recopilación de los metros perforados y horas operativas por jornada, para luego ser analizados, medidos y comparados en gabinete. Los equipos e instrumentos utilizados en la investigación se presentan a continuación:

3.8.4.1. Equipos

Cámara de celular móvil (Serie: RV8K7191KXJ), Se utilizó para obtener imágenes del tajo Diana y para identificar las litologías donde se realizaron las pruebas con los aceros ROCK 66.

Martillo ROCK 66 (Código: 171010080-02): Accesorio de perforación usado para mejorar la velocidad de perforación.

Broca ROCK 66: Accesorio de perforación que va al final de la sarta de perforación, usada para golpear y moler la roca.

Perforadora (Serie DM45): Equipo especial en el cual se realizaron las perforaciones para la prueba de los aceros ROCK 66.

Laptop (Serie BN7XZN1): Para realizar la etapa de gabinete, donde se analizaron y compararon los datos estadísticamente.

3.8.4.2. Instrumentos

Hoja con formato de perforación: Usadas por los perforistas para registrar los datos de los proyectos de perforación (tiempos operativos y no operativos, número de taladros perforados, número de proyecto, ubicación en el tajo, fecha, metros perforados).

Cuaderno de registro de perforación: Registra el rendimiento de los aceros en metros perforados, tanto para brocas, martillos y barras, con su respectivo código, para después analizar su vida útil.

Lapiceros: Usados para anotar el registro físico de los datos.

3.9. Análisis estadístico de los datos

Para la determinación de las causas de disconformidad en el proceso de ejecución de un proyecto de perforación, se realizó el método de estratificación por áreas de la unidad minera, para así identificar las actividades que le compete a cada una de ellas por responsabilidad. Después de ello, se realizó el diagrama de Ishikawa tipo de flujo de proceso, el cual en su línea principal del diagrama sigue la secuencia normal del proceso de producción, aquí los factores que pueden impactar la característica de calidad se agregan en el orden que les corresponde según el proceso; el diagrama se muestra en el anexo 06.

Para profundizar y encontrar el problema raíz, se realizó un diagrama de Ishikawa para el proceso de perforación por enumeración de causas, la idea de este método es ir directamente a las principales causas potenciales. La selección de estas causas se realiza mediante una sesión de lluvia de ideas, las cuales se muestran en este apartado, con el objetivo de atacar causas reales. El diagrama se muestra en el anexo 06.

Antes de mostrar el análisis estadístico, se dará a conocer cómo se llegó a la determinación del problema y que otras variables, que no se toman en cuenta, permanecen como constantes en la presente investigación, por no ser indispensables en la mejora de la velocidad de perforación.

Con el método de lluvia de ideas, se determinó las distintas razones por las cuales no se llega a cumplir los planes semanales y objetivos mensuales de producción. Se seleccionaron variables que se pueden controlar y que influyen en la demora de la ejecución de los proyectos de voladura. Estas variables se describen en la tabla 12. Cabe resaltar que los cuadros siguientes han sido realizados por el autor de la presente tesis, recolectando las ideas y sugerencias de los trabajadores de la U.M El Toro.

Tabla 12. Variables controlables.

Posibles Razones	Área (as) que compete (en).
Demora en la entrega del área de perforación	Operaciones Mina.
Habilitación de accesos al área de perforación.	Operaciones Mina.
Planificación de proyectos a volar fuera del plan.	Planeamiento.
Operadores de Perforadoras no capacitados.	Recursos humanos y Perforación y Voladura.
Perforadoras con poca Disponibilidad mecánica.	Mantenimiento y Perforación y Voladura.
Puntos topográficos de la malla de perforación borrados.	Planeamiento y Perforación y Voladura,
Velocidad de perforación deficiente.	Perforación y Voladura
Nivelación óptima del área de perforación	Operaciones Mina y Perforación y voladura.

Luego se identificó las razones por las cuales el área de Perforación y Voladura puede incidir en demoras en la ejecución de los proyectos de voladura. Esto se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Identificación de demoras.

Posibles Razones	Comentario
Operadores de Perforadoras no capacitados.	Por el momento no se puede contratar nuevo personal capacitado.
Perforadoras con poca Disponibilidad mecánica.	Se tiene que trabajar con las perforadoras que hay, no existe presupuesto para la adquisición de nuevas Perforadoras.
Puntos topográficos borrados.	La supervisión tiene que tener un control estricto y evitar este problema.
Velocidad de perforación deficiente	Se puede mejorar identificando la variable que tiene mayor relevancia en la deficiencia de la velocidad de perforación.

Para mejorar la velocidad de perforación se tienen las siguientes variables controlables en la tabla 14.

Tabla 14. Variables controlables que influyen en la Velocidad de Perforación.

Variables	Comentario
RPM	Varía según el tipo de roca y criterio del perforista.
Pull – Down	Varía según el tipo de roca y criterio del perforista.
Presión de aire	Varía según el tipo de roca y criterio del perforista.
HoldBack	Varía según el tipo de roca y criterio del perforista.
Aceros de perforación.	Si se mejora la tecnología de los aceros de perforación, se podría optimizar la velocidad de perforación.

Esta investigación, se centró en la variable independiente (el tipo de Martillo y Broca de perforación) y la variable dependiente (Velocidad de perforación).

Se muestra en la tabla 15, los valores de los parámetros de perforación en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica, con los dos tipos de aceros, para tener conocimiento de los rangos que se manejan en las zonas de QSD y brecha polimíctica:

Tabla 15. Valores de los parámetros de perforación.

Parámetros	QL6	ROCK 66
RPM	20 - 22	25 - 30
Pull – Down (PSI)	No se utiliza en estos terrenos (QSD y Brecha), es suficiente el peso del cabezal y la columna de perforación.	No se utiliza en estos terrenos (QSD y Brecha), es suficiente el peso del cabezal y la columna de perforación.

Parámetros	QL6	ROCK 66
Presión de aire (PSI)	250 - 290	310 -350
HoldBack (PSI)	250 - 400	250 - 400

Esta Información fue proporcionada por el perforista Wilson Alfaro Pizan y corroborada por el personal de perforación de la Unidad Minera El Toro.

Como se observa, los valores de los parámetros oscilan entre rangos específicos, verificando un aumento de las RPM y la presión de aire con el martillo y broca ROCK 66. Sin embargo, la investigación se centra en cómo se desenvuelven en conjunto la broca y el martillo ROCK 66, con todos sus beneficios, los cuales involucran varios parámetros y sistemas de mejora, para poder obtener una optimización considerable en la velocidad de perforación.

3.9.1. Análisis estadístico y económico del martillo y broca QL6.

A continuación, se muestran las velocidades de perforación recolectadas del DASHBOARD de la U.M El Toro en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica en el tajo Diana en los meses de mayo, junio y julio del 2018.

Para el análisis comparativo de las medias muestrales de ambos martillos y brocas se requirió depurar velocidades de perforación que no pertenezcan a las litologías de QSD y brecha polimíctica; para ello, se utilizaron métodos estadísticos de distribución de datos hasta llegar a conseguir una muestra representativa que de una mayor calidad de resultados. Se muestra a continuación las velocidades de perforación con el martillo y broca QL6 en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Tabla 16. Registro de velocidades de perforación con el martillo y broca QL6.

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Mayo	06/05/2018	58	522	16.32	40	31.99
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	16/05/2018	86	774	19.58	40	39.52
DM45HP-01	Mayo	23/05/2018	32	278	8.03	40	34.66
DM45HP-01	Mayo	27/05/2018	82	720	18.83	40	38.23
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	09/06/2018	71	623.4	18.67	40	33.4
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	22/06/2018	79	695.5	18.47	40	37.66
DM45HP-01	Junio	25/06/2018	75	655	20.08	40	32.61
DM45HP-01	Junio	28/06/2018	78	684.5	19.83	40	34.51
DM45HP-01	Junio	30/06/2018	67	603	18.58	40	32.45
DM45HP-01	Julio	01/07/2018	89	781	20.4	40	38.3
DM45HP-01	Julio	05/07/2018	81	684	18.7	40	36.6
DM45HP-01	Julio	06/07/2018	75	655	19	40	34.50
DM45HP-01	Julio	12/07/2018	58	522	15.9	40	32.8
DM45HP-01	Julio	16/07/2018	27	229.5	7	40	32.9
DM45HP-01	Julio	24/07/2018	92	792.2	20.3	40	39.1
DM45HP-01	Julio	27/07/2018	71	641.5	18.4	40	34.86
DM45HP-01	Julio	29/07/2018	56	489.2	12.97	40	37.73
DM45HP-01	Julio	31/07/2018	48	432	13.5	40	32

Fuente: U.M El Toro 2018.

La forma de depuración de los datos sesgados se realizó por un análisis de variación y un análisis de resultados de distribución multimodal (velocidades de perforación influenciadas por las diferentes condiciones de terreno) las cuales se explican en el anexo 02.

Se muestra a continuación los parámetros de estimación estadísticos que se han desarrollado para la muestra de velocidades de perforación representativas:

n: 26
V_{min}: 30.86 m/h
V_{máx}: 39.52 m/h
R: 8.66 m/h
 \bar{x} : 35.06 m/h
x: 34.59 m/h
S: 2.66 m/h
C.V: 8%
S²: 7.06 m²/h²

Un método estadístico para verificar la calidad de los datos, es mediante el intervalo de confianza para la media de las velocidades de perforación, es este caso para el martillo y broca QL6. (promedio de velocidades de perforación de la muestra).

Para ello, se selecciona una confianza de 95% (este valor se selecciona a criterio del investigador, por lo general se trabaja con 95% y 99%), esto representa que, 95% de las veces que se tome una nueva muestra para el estudio (se sabe que la media es una variable aleatoria que cambia de muestra a muestra) esta debe estar dentro del intervalo de confianza con un riesgo de 5% de que no esté allí, a esto se le llama grado de significancia o error tipo I (se asume un riesgo de 5% que la media no esté dentro de la muestra)

Se calcula el intervalo de confianza de la siguiente manera:

$$Li = \bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2};gt} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.1)$$

$$Ls = \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2};gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.2)$$

Siendo:

Li: Límite inferior.

Ls: Límite superior.

Se hallo $t_{\frac{0.05}{2};25}$, en la tabla 17, con $Gl = n - 1 = 26 - 1 = 25$

Tabla 17. Distribución T de Student para el martillo y broca QL6.

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

Fuente: Gutiérrez & De La Vara 2009

Se obtuvo un valor crítico para un error de estimación de 2.060

Con ello, se halló el intervalo de confianza:

$$1. Li = 35.06 - t_{0.05;25} \left(\frac{2.66}{\sqrt{26}} \right)$$

$$Li = 35.06 - 2.060\left(\frac{2.66}{\sqrt{26}}\right)$$

$$Li = 33.99 \text{ m/h}$$

$$2. Li = 35.06 + 2.060\left(\frac{2.66}{\sqrt{26}}\right)$$

$$Li = 36.14$$

El intervalo al 95% de confianza es: [33.99, 36.14] m/h.

Demostrando así que los datos no están errados o sesgados, porque la media muestral es de 35.06 m/h y está dentro del intervalo de confianza hallado.

Se presenta en la figura 11 las velocidades de perforación de la perforadora DM45 - 01 en los meses de mayo, junio y julio del año 2018 en la arenisca cuarzosa (QSD) de alta silificación y brecha polimíctica usando el martillo y broca QL6, dando una velocidad de perforación promedio de 35.06 m/h.

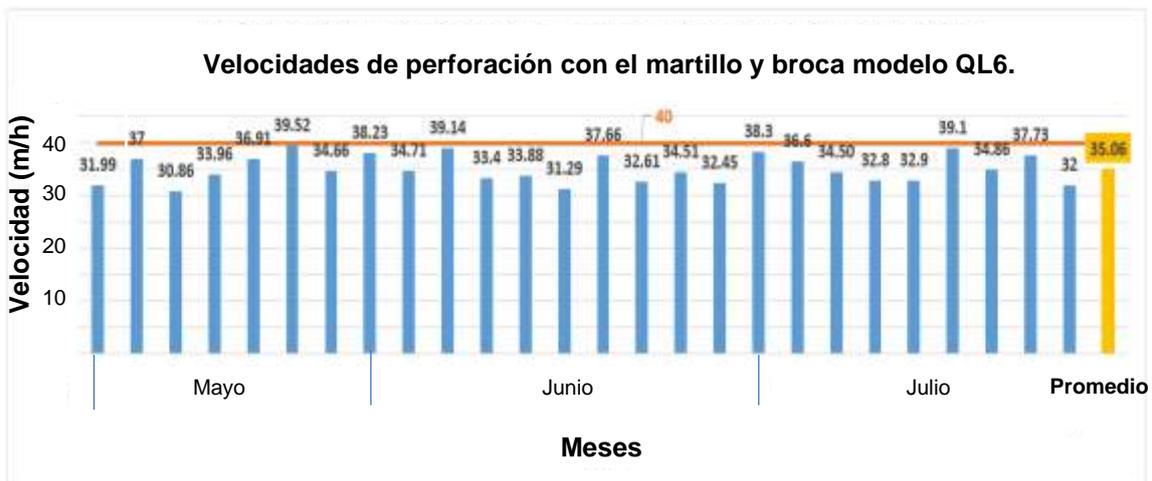


Figura 11. Velocidades de perforación con el martillo y broca QL6.

A continuación, se muestra el análisis de Costo Total de Perforación una vez conocido la velocidad de perforación promedio, el rendimiento en metros perforados y el precio del martillo y broca modelo QL6.

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 promedio (m/h)	: 35.06

Los precios fueron extraídos del programa Sofya que utiliza la U.M El Toro para gestionar los costos por área.

El rendimiento de metros perforados es el promedio de los 3 meses (mayo, junio y julio del 2018), este dato fue extraído de los informes mensuales del área de Perforación y Voladura.

Citando la ecuación (2.3) para encontrar el costo total de perforación se tiene:

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

$$CTP = \frac{645.55 \$}{860 m} + \frac{3,883.34 \$}{9,356 m} + \frac{157.29 \frac{\$}{h}}{35.06 \frac{m}{h}}$$

$$CTP (\text{martillo y broca QL6}) = 5.65 \$/m$$

3.9.2. Análisis estadístico y económico del martillo y broca 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 del año 2018, en lo cual, el martillo de prueba llegó a los 12,609 metros, en ambas litologías (QSD y brecha polimíctica), con código de martillo de la empresa NEUMAN: 171010080-02. Se presentan a continuación en la tabla 18 las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Tabla 18. Velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK

66.

Equipo	Mes	Fecha	Litología	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Agosto	21/08/2018	QSD	121	1089	19.84	40	54.89
DM45HP-01	Agosto	22/08/2018	QSD	65	585	10.28	40	56.91
DM45HP-01	Agosto	23/08/2018	QSD	130	1170	20.25	40	57.78
DM45HP-01	Agosto	24/08/2018	QSD	24	216	3.78	40	57.14
DM45HP-01	Agosto	25/08/2018	BRECHA	54	486	10.2	40	47.65
DM45HP-01	Agosto	26/08/2018	BRECHA	87	783	16.3	40	48.04
DM45HP-01	Agosto	27/08/2018	BRECHA	100	900	17.9	40	50.28
DM45HP-01	Agosto	28/08/2018	BRECHA	98	882	19.12	40	46.13
DM45HP-01	Agosto	29/08/2018	BRECHA	72	648	13.75	40	47.13
DM45HP-01	Agosto	30/08/2018	QSD	87	783	13.83	40	56.62
DM45HP-01	Agosto	31/08/2018	QSD	90	810	13.6	40	59.56
DM45HP-01	Setiembre	01/09/2018	QSD	112	1008	16.35	40	61.65
DM45HP-01	Setiembre	02/09/2018	QSD	112	1008	17.45	40	57.77
DM45HP-01	Setiembre	03/09/2018	BRECHA	76	684	14.82	40	46.15
DM45HP-01	Setiembre	04/09/2018	BRECHA	67	603	13.93	40	43.29
DM45HP-01	Setiembre	05/09/2018	QSD	106	954	16.18	40	58.96

Se muestra a continuación los parámetros de estimación estadísticos que se han desarrollado para la muestra de velocidades de perforación representativos:

n: 16

V_{\min} : 43.29 m/h

V_{\max} : 61.25 m/h

R: 18.36 m/h

(\bar{y}) : 53.12 m/h

y: 55.76 m/h

S: 5.95 m/h

C.V: 11.20%

S²: 35.42 m²/h²

Se utilizo el mismo método estadístico para verificar la calidad de los datos mediante el intervalo de confianza para las velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66; para comprobar que si existe una muestra representativa que conserva las características más importantes de la población. Se hallo el intervalo de confianza al 95%, por las razones ya expuestas, siendo:

$$Li = \bar{y} - t_{\frac{\alpha}{2};gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.3)$$

$$Ls = \bar{y} + t_{\frac{\alpha}{2};gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.4)$$

Se procedió hallar $t_{\frac{0.05}{2};15}$, en la tabla 19, con Gl = n – 1 = 16 – 1 = 15.

Tabla 19. Distribución T de Student para el martillo y broca ROCK 66.

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

Fuente: Gutiérrez & De La Vara 2009

Se obtuvo un valor crítico para el error de estimación de 2.131

Con esto se halló el intervalo de confianza:

$$1. Li = 53.12 - t_{\frac{0.05}{2};15} \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Li = 53.12 - 2.131 \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Li = 50.51 \text{ m/h}$$

$$2. Li = 53.12 - 2.131 \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Li = 55.73 \text{ m/h}$$

El intervalo al 95% de confianza es: [50.51, 55.73] m/h.

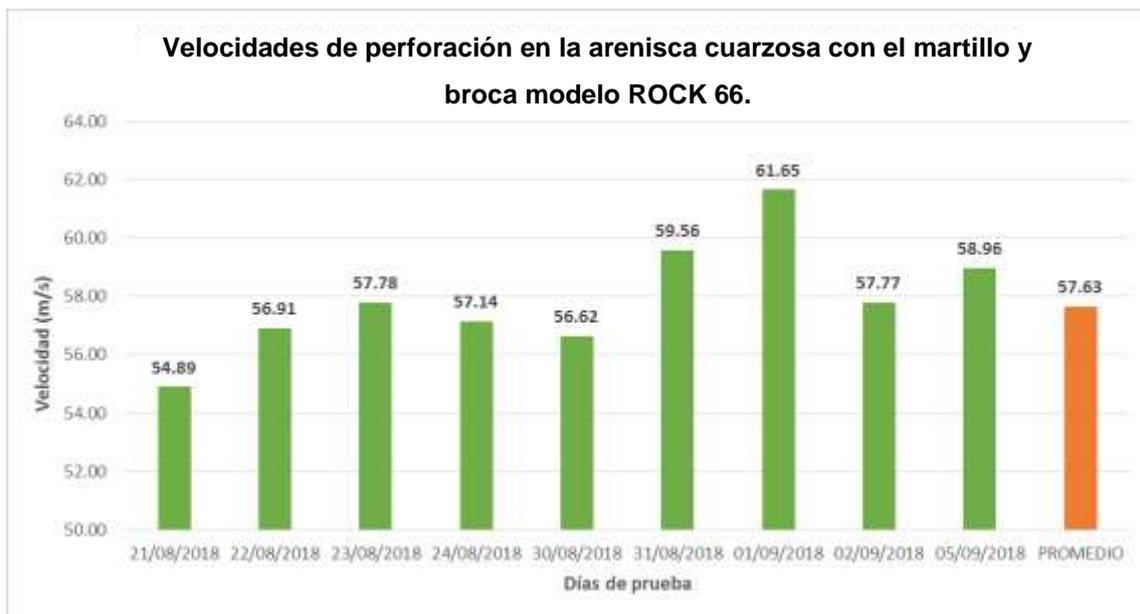
Demostrando así, que los datos no están errados o sesgados, porque la media muestral es de 53.12 m/h y está dentro del intervalo de confianza hallado.

Un dato importante es que las medidas de tendencia central (media, mediana y moda) son fundamentales para el trabajo estadístico. En esta investigación se trabajó con la media, ya que representa de forma más adecuada la tendencia central.

Se analizaron los valores de la mediana, que en ambas muestras tiene proximidad con la media, da como resultado que hay poca variabilidad en los datos con respecto a las medidas de tendencia central. Pero observando a la mediana en la muestra del martillo y broca ROCK 66 está fuera del intervalo de confianza; es por ello que no es un parámetro representativo en este estudio y es mejor trabajar con la media.

3.9.2.1. Análisis de velocidades de perforación en la arenisca cuarzosa.

Al analizar estadísticamente las velocidades de perforación en la arenisca cuarzosa de alta silificación con el martillo y broca ROCK 66 se obtuvo una media de 57.63 m/h, además un límite técnico de hasta 61.65 m/h, siendo la velocidad mínima 54.89 m/h; como se muestra en la figura 12 con su respectiva caracterización geomecánica:

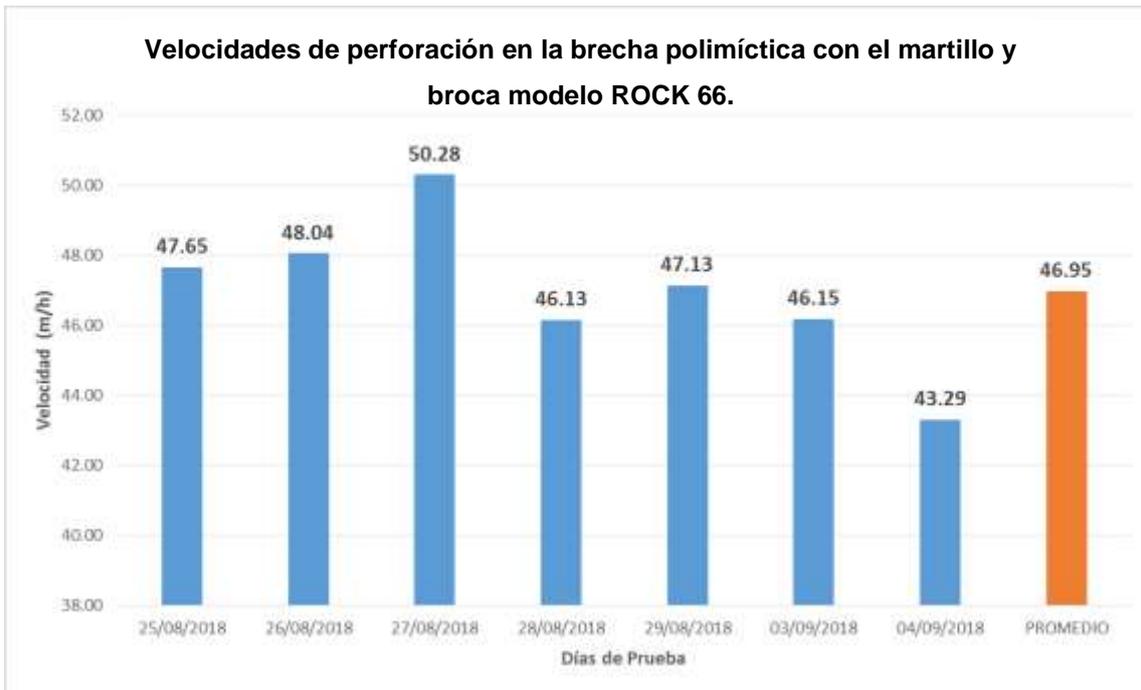


RESISTENCIA	RQD	RMR	ABRASIVIDAD
Resistente	Muy pobre	Mala	Muy Abrasiva

Figura 12. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.

3.9.2.2. Análisis de velocidades de perforación en la brecha polimíctica

Se analizó estadísticamente las velocidades de perforación en la brecha polimíctica con el martillo y broca ROCK 66 y se obtuvo un promedio de 46.95 m/h, además un límite técnico de hasta 50.28 m/h, con una velocidad mínima de 43.29 m/h; como se muestra en la figura 13 con su respectiva caracterización geomecánica:



RESISTENCIA	RQD	RMR	ABRASIVIDAD
Mod. Resistente	Muy pobre	Mala	Muy Abrasiva

Figura 13. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.

3.9.2.3. Análisis del costo total de perforación para el martillo y broca modelo ROCK 66

Una vez culminados los 16 días de prueba, se halló la velocidad de perforación promedio la cual resulto 53.12 m/h en la perforadora DM45 -01 en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica; estas velocidades están por encima de la velocidad del plan para cumplir a tiempo los proyectos, como se muestra en la figura 14:

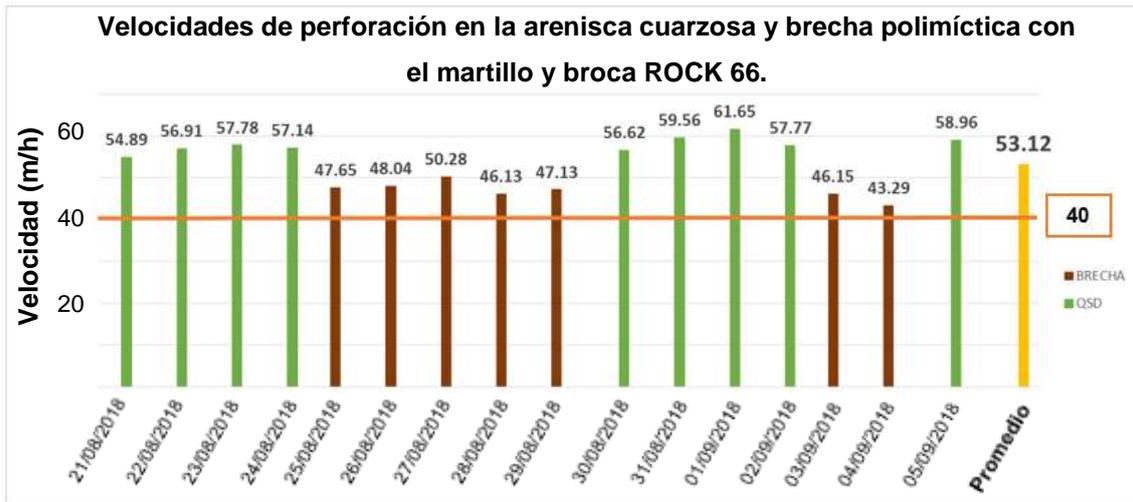


Figura 14. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.

Los precios fueron extraídos del programa Sofya que utiliza la U.M El Toro para gestionar los costos por área.

A continuación, se muestra el análisis de Costo Total de Perforación una vez conocido la velocidad de perforación promedio, el rendimiento en metros perforados y el precio del martillo y broca modelo ROCK 66.

Datos:

Precio del Martillo (\$)	: 4,029.19
Precio de la broca (\$)	: 651.84
Costo de la perforadora (\$/h)	: 157.29
Rendimiento del martillo (m)	: 12,609
Rendimiento de la Broca (m)	: 875
Velocidad de perforación promedio (m/h)	: 53.12

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

$$CTP = \frac{651.84 \$}{875 m} + \frac{4029.19 \$}{12609 m} + \frac{157.29 \frac{\$}{h}}{53.12 \frac{m}{h}}$$

$$CTP (\text{martillo y broca ROCK 66}) = 4.03 \$/m$$

3.9.3. Prueba de hipótesis

Para determinar la prueba de hipótesis en la investigación se tuvo que fijar el tipo de estudio que se está realizando; la cual es comparar dos poblaciones independientes, comparando tipos de materiales (dos tipos de martillo y broca de perforación).

Se realizó una comparación de medias, donde el estadístico de prueba fue la T de Student, además se tuvo que determinar si hay varianzas conocidas o desconocidas y si estas son iguales o no.

La población de velocidades de perforación con ambos martillos y brocas en la QSD y brecha polimíctica no tienen un estudio previo, es por ello que se desconoce las varianzas y no existe una caracterización de velocidades por zona litológica en el área de perforación y voladura (lo cual debería ser un proyecto de mejora).

Para determinar si se asumen varianzas iguales o no, se recurre a la prueba de Levene, la cual es una prueba de hipótesis por ANOVA. Esta nos indicó si existe un traslape entre los intervalos de confianza de cada población.

Presentamos a continuación el resultado del análisis para el martillo y broca QL6 y ROCK 66 mediante Intervalos de confianza de Bonferroni al 95%, para desviaciones estándar y pruebas para la varianza.

Hipótesis Nula: Todas las varianzas son iguales

Hipótesis Alterna: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$.

Tabla 20. Intervalos de confianza de Bonferroni.

Muestra	N	Desv.Est.	IC	Método	Valor p
QL6	26	2.65615	(2.20107, 3.50771)	Comparaciones múltiples	0.000
ROCK 66	16	5.95163	(4.80367, 8.57521)	Levene	0.001

Fuente: Minitab 2019.

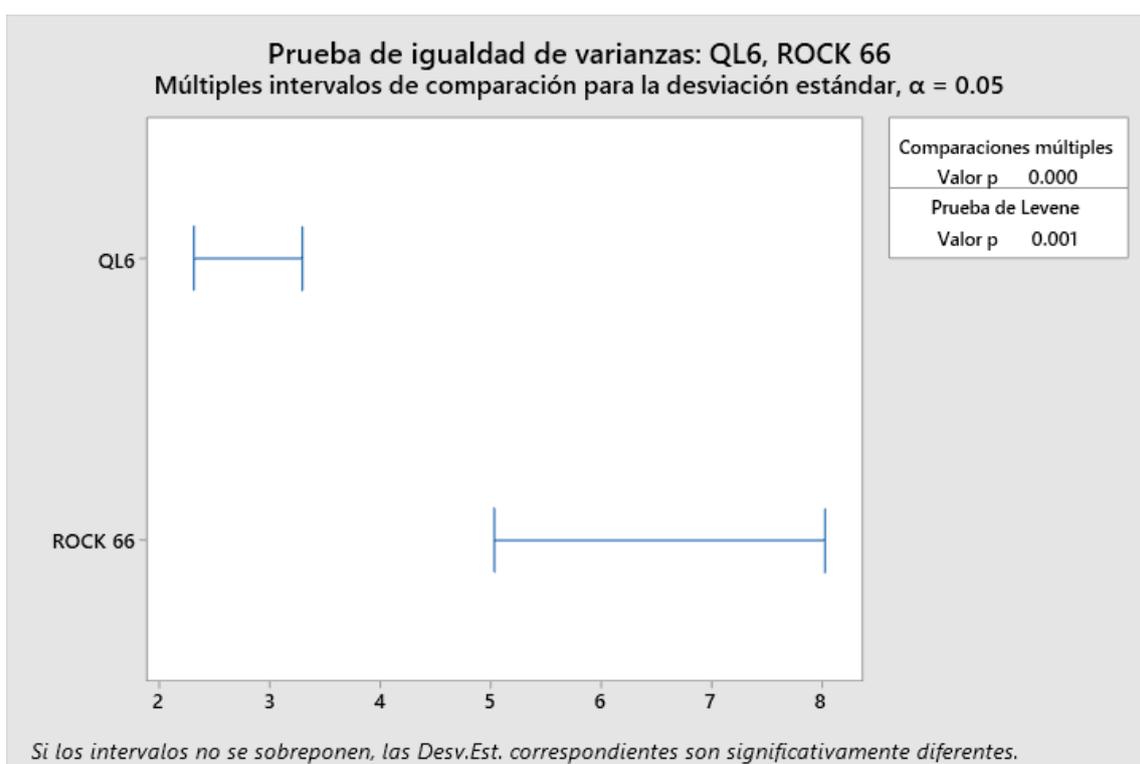


Figura 15. Prueba de igualdad de varianzas con el método de Levene.

Fuente: Minitab 2019.

El valor p es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, dando como conclusión que las varianzas no son iguales.

Como resultado del análisis de normalidad y varianzas se determina que la prueba de hipótesis recomendada para esta investigación es: Comparación de medias con varianzas desconocidas sin suponer igualdad.

3.9.3.1. Método de comparación de dos medias.

Como se determinó la variante de este método es de Varianzas desconocida sin suponer igualdad.

Se vio de forma descriptiva que la media de la muestra de velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66 es mayor que del martillo y broca QL6 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica. después se comprobó de forma inferencial que, a nivel de población la velocidad de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 es mayor que la velocidad de perforación con el martillo y broca modelo QL6; para ello se hizo uso de este método.

Sean dos poblaciones (Velocidades de perforación con los martillos y brocas QL6 y ROCK 66 en QSD de alta silificación y brecha polimíctica) con distribuciones normales y medias poblacionales μ_x y μ_y ; y varianzas θ_{2x} y θ_{2y} respectivamente. Para comparar los dos martillos y brocas de perforación se tuvo que realizar una inferencia estadística y para ello fue necesario probar la hipótesis de igualdad para los parámetros poblaciones.

Al analizar las dos muestras (< 30 datos) y al definir las variables, una como cualitativa (variable independiente: Tipo de martillo y broca de perforación) y la otra cuantitativa (variable dependiente: la velocidad de perforación), se ha determinado usar el estadístico de prueba T – Student para probar y validar los datos con la prueba de hipótesis ya seleccionada.

Este análisis demostró si existe relación entre la mejora de velocidad de perforación a nivel poblacional respecto al tipo de martillo y broca que se use. Evaluando el indicador de velocidad de perforación (m/h).

Planteamiento de las Hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): $\bar{\mu}_y - \bar{\mu}_x = 0$; La media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica es igual a la media poblacional de las velocidades

de perforación con el martillo y broca modelo QL6 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Hipótesis Alternativa (H_a): $\bar{\mu}_y - \bar{\mu}_x > 0$; La media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica es mayor que la media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo QL6 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Siendo:

$\bar{\mu}_y$: Media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

$\bar{\mu}_x$: Media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo QL6 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

El siguiente análisis matemático y estadístico se basa en rechazar la Hipótesis nula con $100(1 - \alpha)$ % de confianza y α como significancia dada a la prueba. Tener en cuenta que es un análisis unilateral por la derecha.

Para ello, se tiene que demostrar que:

$$|t_0| \geq t_{\alpha, v}$$

Se selecciona una confianza de 95% (este valor se selecciona a criterio del investigador, por lo general se trabaja con 95% y 99%), esto representa que el 95% de las veces que se compare las muestras mediante el estadístico de prueba (T_0) (se sabe que las medias son variables aleatorias que cambian de muestra a muestra) esta debe estar dentro del intervalo de los valores críticos $t_{\frac{\alpha}{2}, v}$ de la distribución T de Student, con un riesgo de 5% ($\alpha = 0.05$) de cometer el error tipo I (Probabilidad de rechazar H_0 cuando es verdadera)

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t_0 = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{\frac{S_x^2}{n_x} + \frac{S_y^2}{n_y}}} \quad (3.5)$$

$$t_0 = \frac{53.12 - 35.06}{\sqrt{\frac{7.06}{26} + \frac{35.42}{16}}}$$

Usando los datos previos se obtiene:

$$t_0 = 11.4559$$

Ahora, para determinar el grado de Libertad para utilizar la tabla 21 de distribución

T de Student se tiene:

$$v = \frac{\left(\frac{S_x^2}{n_x} + \frac{S_y^2}{n_y}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_x^2}{n_x}\right)^2}{n_x + 1} + \frac{\left(\frac{S_y^2}{n_y}\right)^2}{n_y + 1}} - 2 \quad (3.6)$$

$$v = \frac{\left(\frac{7.06}{26} + \frac{35.42}{16}\right)^2}{\frac{\left(\frac{7.06}{26}\right)^2}{26 + 1} + \frac{\left(\frac{35.42}{16}\right)^2}{16 + 1}} - 2$$

$$v = 19.23$$

Con estos datos se procede a encontrar $t_{\alpha,v}$:

$$t_{\alpha,v} = t_{0.05;19.23}$$

Se ubica en la tabla 21 el valor de $t_{0.05;19.23}$:

Tabla 21. Distribución de T de Student para la prueba de Hipótesis.

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

Fuente: Gutiérrez & De La Vara 2009

Interpolando se obtiene un valor crítico de 1.728

Por último, se compara el estadístico de prueba frente al valor crítico

$$|T_0| \geq t_{\alpha/2, v}$$

$$|11.456| \geq 1.728$$

Como menciona este método, la hipótesis nula (H_0), es la que se somete a comprobación y es a la que se acepta o rechaza como la conclusión final de un contraste.

La hipótesis alternativa (H_a) será la que se acepta si se rechaza H_0 y viceversa.

Por lo tanto, según los resultados se ha obtenido lo siguiente:

La hipótesis nula H_0 se rechaza.

Esto quiere decir que se rechaza la afirmación de que la velocidad de perforación con el martillo y broca modelo QL6 sea igual que la velocidad de perforación poblacional con el martillo y broca ROCK 66.

Por consiguiente, la hipótesis alternativa H_a se acepta.

Esto quiere decir, que la población de velocidades de perforación con los aceros ROCK 66 es mayor que la población de velocidades de perforación con los aceros QL6 en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Por lo tanto, se concluye que:

La velocidad de perforación se optimizó usando el martillo y broca modelo ROCK 66 en terrenos de arenisca cuarzosa de alta silificación y brecha polimíctica, validando la correlación de las variables, la calidad de los datos y la hipótesis planteada.

3.9.3.2. Prueba para la media frente a un valor.

Este método determino si existe un mayor promedio en la velocidad de perforación de los aceros ROCK 66 frente a la velocidad del plan.

Ya se vio que la velocidad de perforación del martillo y broca ROCK 66 es mayor que de la del martillo y broca QL6 y se concluyó que así será en la población de velocidades en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Ahora, para mejorar el proceso de calidad de perforación es necesario llegar y

sobrepasar la velocidad del plan de minado que es de 40 m/h.

¿Por qué es necesario tener velocidades de perforación mayores o iguales al plan de minado? ¿No es suficiente con llegar a dicha velocidad de perforación del plan? La respuesta es no, ya que esta es la mínima necesaria para cumplir con el plan semanal y se debe tener en cuenta que esta velocidad de perforación promedio se saca con el historial de velocidades de meses anteriores, velocidades que no cumplen con el objetivo.

Para ver si las velocidades de perforación poblacional con el martillo y broca modelo ROCK 66 son suficientemente altas como para poder inferir que es mayor que 40 m/h, se tienen que hacer las siguientes pruebas estadísticas.

3.9.3.3. Método de estadístico de prueba frente a valor crítico.

Como en el caso anterior, se plantean la hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): $\bar{\mu}_y = 40$ m/h; La media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica es igual a 40m/h.

Hipótesis Alternativa (H_a): $\bar{\mu}_y > 40$ m/h; La media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica es mayor a 40m/h.

Con un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$) y por lo tanto una confianza de 95% y con los datos previos:

n: 16

V_{\min} : 43.29 m/h

V_{\max} : 61.25 m/h

R: 18.36 m/h

\bar{x} : 53.12 m/h

x: 55.76 m/h

S: 5.95 m/h

C.V: 11.20%

S²: 35.42 m²/h²

Se obtuvo el estadístico de prueba t₀:

$$t_0 = \frac{\bar{y} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$t_0 = \frac{53.12 - 40}{\frac{5.95}{\sqrt{16}}}$$

$$t_0 = 8.82$$

Se halló el valor crítico de la distribución T de Student y se compara con el estadístico de prueba, previo a eso se tiene que calcular el valor crítico $t_{\alpha;gl}$. Para ello, se toma en consideración el grado de libertad, es decir:

$$gl = n - 1 = 16 - 1 = 15$$

Con el grado de libertad y la significancia ($\alpha = 0.05$), se ubica en la tabla 22 el valor crítico:

Tabla 22. Distribución de T de Student.

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

Fuente: Gutiérrez & De La Vara 2009.

Se obtuvo el punto crítico 1.753.

Se rechaza H_0 si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor que el valor crítico, es decir:

$$|t_0| > t_{\alpha,gl}$$

$$8.82 > 1.753$$

Por lo tanto, se rechaza que las velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66 son iguales a 40 m/h (o cercanas a dicha velocidad), además la evidencia señala que la velocidad de perforación será mayor que 40 m/h, lo cual ayudará a cumplir los planes semanales y mensuales de producción, llegando a los objetivos propuestos.

3.9.3.4. Prueba de Hipótesis por el método de Intervalo de confianza.

En este método se rechaza H_0 si el valor del parámetro declarado en la hipótesis nula se encuentra fuera del intervalo de confianza para el mismo parámetro. En este caso, se debe utilizar la hipótesis unilateral, por las características de la investigación y por las hipótesis que se plantea. Con esta condición el método dice que el intervalo al $100(1 - 2\alpha)$ % de confianza es con el que se debe trabajar, además de ello, se asume una significancia de 5%. Con esta significancia se obtiene una confianza de 90%, entonces:

Se plantea la hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): $\bar{\mu}_y = 40$ m/h; La Media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica es igual a 40m/h.

Hipótesis Alternativa (H_a): $\bar{\mu}_y > 40$ m/h; La Media poblacional de las velocidades de perforación con el martillo y broca modelo ROCK 66 en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica es mayor a 40m/h.

Se encontró el intervalo de confianza

$$Li = \bar{y} - t_{\alpha,gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

$$Ls = \bar{y} + t_{\alpha,gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

Previamente se halla $t_{0,05,15}$ en la tabla 23 el valor critico:

Tabla 23. Distribución de T de Student para el Intervalo de confianza.

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

Fuente: Gutiérrez & De La Vara 2009.

Se obtuvo el punto crítico 1.753.

Con esto se calcularon los límites

$$1. Li = 53.12 - t_{0.05,15} \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Li = 53.12 - 1.753 \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Li = 50.51 \text{ m/h}$$

$$2. Ls = 53.12 + t_{0.05,15} \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Ls = 53.12 + 1.753 \left(\frac{5.95}{\sqrt{16}} \right)$$

$$Ls = 55.73 \text{ m/h}$$

Con una confianza de 90%, la población de velocidades de perforación con el martillo y broca ROCKK 66 están en el intervalo de confianza de [50.51; 55.73]m/h.

El valor de 40 m/h en la hipótesis nula está a la izquierda y no pertenece al intervalo de confianza. Por lo tanto, se rechaza la H_0 y la evidencia señala que las velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66 será mayor de 40 m/h.

3.10. Presentación de resultados

Se presenta como resultado un aumento en la velocidad de perforación con el martillo y broca ROCK 66, un aumento de vida útil con el martillo ROCK 66, una vida útil similar en ambos modelos de brocas y una disminución del costo de perforación, como se muestra en la tabla 24:

Tabla 24. Resultados de la investigación.

INDICADORES	ACEROS QL6	ACEROS ROCK 66
Velocidad de Perforación (m/h)	35.06	53.12
Rendimiento del martillo (m)	9,356	12,609
Rendimiento de la Broca (m)	860.00	875.00
Costo total de perforación (\$/m)	5.65	4.03

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.1. Velocidad de perforación

Gracias a las mejoras técnicas del Martillo Rock 66 como son: su mayor presión de aire, golpes por minuto, frecuencia de impacto, mayor energía del pistón y potencia, se logró aumentar la velocidad de perforación promedio a 53.12 m/h, con un límite técnico máximo de 61.65 m/h en la arenisca cuarzosa y con un mínimo de 43.29 m/h en brecha polimíctica; se optimizó en un 51.51% la velocidad de perforación.

La mejora técnica de la broca Rock 66 respecto al modelo QL6, es tener cuatro orificios por donde se desprende la presión de aire a comparación de la QL6 que solo tiene uno de inyección y tres de escape; lo cual ayuda a mejorar el barrido y con ello, la velocidad de penetración, disminuyendo el desgaste del martillo con un menor riesgo de atascos en la sarta de perforación, evitando pérdidas económicas.

4.2. Rendimiento de los aceros

Por el buen barrido de detritus de la broca Rock 66, el martillo tiene menor desgaste, por ello, mayor vida útil.

El rendimiento en metros perforados 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.

4.3. Costo total de perforación

Por el aumento considerable de la velocidad de perforación y la vida útil del martillo ROCK 66, el costo de perforación mejoró de 5.65 \$/m a 4.03 \$/m, siendo un 28.67 % más rentable para la U.M El Toro, pese al mayor costo del martillo y broca Rock 66.

4.4. Discusión de resultados con los antecedentes teoricos

Gonzales (2010) en su obra: Evaluación de los parámetros de perforación en barrenos y correlación con la geología del terreno (Tesis de pregrado) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Madrid; utiliza un sistema llamado MWD (Measurements While Drilling, en español, Mediciones durante la perforación), para obtener datos en tiempo real de los diferentes parámetros de perforación, con ello, poder optimizar la velocidad de penetración con relación a la geología presente. Lo cual se ha visto en esta investigación, dado que en la perforación se puede identificar y conocer el tipo de geología presente previamente y durante la ejecución de un taladro, esto ayuda a disponer de los recursos necesarios para optimizar el proceso. Al utilizar una nueva tecnología se tiene que realizar muchas pruebas para identificar sus ventajas y deficiencias como: el mayor precio; el cual se debe justificar con los beneficios que pueda brindar a toda la operación. Vemos que el martillo y broca ROCK 66 a comparación de su sistema MWD, sí justifica su compra, por la mejora de la velocidad de perforación y costo menor de perforación.

Cortés (2011) en su obra: Optimización de la perforación, conceptualización y diseño de un simulador de perforación (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México; se centra en el ahorro de tiempo, es decir, en el menor uso de los equipos de perforación, por su gran costo de utilización. Su sistema identifica las diferentes variables y parámetros, prediciendo y seleccionando los parámetros operativos y condiciones que mejoren los costos. En esta investigación, no se analizó las diferentes variables que involucran a la velocidad de perforación (personal capacitado, perforadora en óptimas condiciones, terrenos difíciles y clima), sino la más relevante, que es la broca y martillo de perforación, ya que estos, junto con la barra de perforación, se involucran directamente en el avance de la velocidad de penetración en el terreno. Dando como resultado, la optimización de los costos de perforación.

Abanto (2016). En su obra: 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, Trujillo; muestra una metodología similar, él recolecta datos del consumo de brocas, sin optimizar su uso en los meses de junio y julio (un antes) y los meses de agosto, septiembre y octubre optimizando su uso (un después). En su investigación optaron por un mantenimiento especializado previo al uso de las brocas, un afilado que ayudaría a tener menos consumo de estas para disminuir el costo de perforación.

La presente investigación dista del trabajo mencionado, por lo que no se ha dado ningún mantenimiento, modificación o arreglo especial a los aceros QL6, sino que serán reemplazados por un martillo y broca con una nueva tecnología ROCK 66 del mismo proveedor de aceros de perforación de la U.M El Toro, la empresa NEUMAN.

Sin embargo, la metodología es similar, porque se compara las velocidades promedio de los meses de mayo, junio y julio del 2018, con el uso del martillo y broca QL6 y el periodo de prueba desde el 21 de agosto al 5 de septiembre con el martillo y broca ROCK 66.

Jáuregui (2009) en su obra: Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura (Tesis de pregrado). PUCP, Lima; da un enfoque a todas las áreas que integran la mina en su investigación, dando importancia a las capacitaciones que debe tener el personal para mejorar su productividad y así disminuir los costos en la unidad minera.

Dentro de su análisis menciona la optimización en el consumo de brocas, de la misma forma que dice Abanto (2016), la técnica para ello, es el mantenimiento por afilado con aguzadoras; esto mejoró la duración en un 25% más de su vida útil. Sin embargo, esta investigación no se enfoca principalmente en mejorar costos, sino en optimizar la velocidad de perforación, con la nueva tecnología del martillo y broca ROCK 66, pero si, se llegó a un pequeño análisis de costo de perforación, para argumentar la utilización de estos aceros, porque si el precio de compra de este martillo y broca ROCK 66, que es más alto que el del martillo y broca QL6, no dan una visión global de mejora en el costo total de perforación,

no valdría la pena comprarlos. Pero demostrando que la velocidad aumentó considerablemente en las litologías de prueba y el rendimiento en metros perforados del martillo ROCK 66 es mayor que el martillo QL6, el costo total de perforación disminuyó considerablemente.

Sánchez & Llaique (2015) en su obra: Determinación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca – Perú, 2015 (Tesis de pregrado). UNP, Cajamarca; se centra en mejorar el CTP, en tres tipos de terreno (duro, medio y suave) de su mina modelo, utilizando una nueva tecnología en brocas, las cuales, les rindió y mejoró su CTP, sobre todo en su terreno duro, el cual tenía mayores costos.

La presente investigación, tiene como objetivo principal aumentar la velocidad de perforación en las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica. Sánchez y Llaique (2015) también optan por una nueva tecnología en brocas tricónicas, una broca diferente para cada tipo de terreno. Nosotros nos centramos solo en dos tipos de terreno, con una nueva tecnología en martillos y brocas, realizando un estudio longitudinal - determinístico y con un análisis estadístico comparativo, que por lo realizado se obtuvieron resultados más objetivos y que mejoraron las operaciones en la U.M El Toro.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

- I. Se logró optimizar la velocidad de perforación en la zona de arenisca cuarzosa de alta Silificación y brecha polimíctica usando el martillo y broca modelo ROCK 66; obteniendo una velocidad de perforación promedio en la zona de estudio de 53.12 m/h con un intervalo de velocidades de [50.51, 55.73] m/h al 95% de confianza; logrando de esta manera un aumento considerable respecto a la velocidad de perforación promedio de 35.06 m/h con el martillo y broca modelo QL6 la cual tiene un intervalo de velocidades de [33.99, 36.14] m/h, en los meses de mayo, junio y julio; concluyendo con un aumento de 51.51 % en la velocidad de perforación.
- II. Las mejoras técnicas del martillo modelo ROCK 66 frente al modelo QL6 son: el menor consumo de aceite, mayor revolución por minuto, mayor presión de aire, mayor cantidad de golpes por minuto, mayor frecuencia de impacto, mayor energía del pistón y mayor potencia.
- III. Se obtuvo un 34.77 % más de metros perforados con el martillo ROCK 66 y un rendimiento en metros perforados similar en ambos modelos de brocas.
- IV. Se concluyó con una reducción económica de 1.62 \$/m con el martillo y broca modelo ROCK 66, siendo 28.67% la optimización en el costo de perforación.

5.2. Recomendaciones

A la gerencia de operaciones de la U.M El Toro adquirir el martillo y broca modelo ROCK 66 para una mayor velocidad de perforación y mejores rendimientos en metros perforados; con ello menores costos de perforación y tiempos adecuados para la entrega de proyectos.

Al área de perforación y voladura, utilizar el martillo modelo ROCK 66 solo en la arenisca cuarzosa de alta silificación y brecha polimíctica, por la siguiente razón: Se probó el martillo y broca ROCK 66 en la zona de sulfuro y dacita oxidada (roca blanda no muy abrasiva); pero por su alta frecuencia de impacto y presión de aire del martillo se produjo un atasco, llegando a perder toda la columna de perforación (barra, conectores, chuck, martillo y broca).

Al área de perforación y voladura de la U.M El Toro usar el martillo y broca modelo QL6 en zonas de sulfuros, dacitas oxidadas, arcillas y carbón, porque en estas zonas mantienen una buena velocidad de perforación y el martillo y broca Rock 66 solo en terrenos de QSD y brecha polimíctica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- I. 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 de pregrado. Trujillo. PER. Universidad Nacional de Trujillo. 94 p.
- II. Ayala, J. s.f. Manual de Ingeniería Geológica. 1 ed. Murcia. ESP. Instituto Geo Minero de España. 626 p.
- III. Bernaola, J; Castilla, J; Herrera, J. 2013. Perforación y Voladura de rocas en Minería. 1 ed. Madrid. ESP. Universidad Politécnica de Madrid. 255 p.
- IV. Cortés, A. 2011. Optimización de la perforación: Conceptualización y diseño de un simulador de perforación (Tesis de pregrado). Ciudad de México. MÉX. Universidad Nacional Autónoma de México.
- V. Federación de Enseñanza de CC.OO. 2011, Tipos de esfuerzos físicos. Andalucía. ESP. Revista digital para profesionales de la enseñanza.18 p. Consultado 09 jul. 2019 Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>.
- VI. Gonzales, D. 2010. Evaluación de los parámetros de perforación en barrenos y correlación con la geología del terreno (tesis de pregrado). Madrid. ESP. Escuela técnica superior de ingenieros de Minas y Energía. 100 p.
- VII. Gutiérrez, H. De La Vara, R. 2009 Control estadístico de Calidad y Seis Sigma. 2 ed. México D.F. MEX. INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 479 p.
- VIII. 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). Lima. PER. Pontificia Universidad Católica del Perú. 97 p.

- IX. 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). Cajamarca. PER. Universidad Privada del Norte. 214 p.
- X. Llamoca, R. 2016. Reducción del costo de perforación DTH por selección de la columna de perforación y cuidado de aceros (tesis de pregrado). Lima. PER. Universidad Nacional de Ingeniería. 103 p.
- XI. López, C. 1995. Herramientas para perforación de rocas por Percusión. Lima. PER. Universidad Nacional de Ingeniería. 140 p.
- XII. Martínez, F; Ibarra, D; Velázquez, C. s.f. Límite técnico de la perforación de pozos horizontales en la cuenca de Chicontepec. Ciudad de México. MEX. Weatherford. Consultado 25 jul. 2019. Disponible en: http://oilproduction.net/files/limite_tecnico_en%20la%20perforacion%20de%20pozos_chicontepec.pdf
- XIII. Pérez, A. 2014. Módulo de Elasticidad. Castellón. ESP. Universidad Jaume I. Consultado 07 ago. 2019. Disponible en: http://www.mecapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm
- XIV. Pernia, J; Ortiz, F; López, C; López, E; s.f. Manual de Perforación y Voladura de Rocas. 1 ed. Madrid. ESP. Instituto geológico y Minero de España. 439 p.
- XV. Rivera, J. 2012. Percusión asistida en la perforación rotativa en minería a tajo abierto. Lima. PER. Instituto de ingenieros de Minas del Perú. 5 p.
- XVI. RK Pipe and Supply LLC. 2019. Brocas de Perforación. Consultado 10 sep. 2019 Disponible en: <http://www.steeldrillpipe.com/es/equipo/brocas-de-perforacion/>
- XVII. Rodriguez, J. 2007. Caracterización de Macizos Rocosos. Madrid. ESP. 14 p. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>

- XVIII. Sánchez, N; Calleja, L; Rodriguez, 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. Oviedo. ESP. Universidad de Oviedo. 348 - 365 p.
- XIX. Veas, J. 2011. Perforación y tronadura. Consultado 12 jul. 2019. Disponible en: <http://perforacionytronadura.blogspot.com/2011/06/la-velocidad-de-perforacion.html>.

ANEXOS

01.	Velocidad de perforacion con el martillo y broca QL6.....	81
02.	Depuración de datos para seleccionar la muestra representativa....	92
03.	Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66.....	102
04.	Diseño técnico de los aceros.....	106
05.	Análisis económico.....	108
06.	Diagrama de Ishikawa.....	109
07.	Formatos de reporte de perforación	111
08.	Panel fotográfico	113
09.	Permiso de uso de datos de la U.M El Toro.....	123

01. Velocidad de perforacion con el martillo y broca QL6

Tabla 25. Velocidades de perforación del mes de mayo.

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Mayo	01/05/2018	19	171	3.08	40.00	55.46
DM45HP-02	Mayo	01/05/2018	41	363	13.33	40.00	27.26
DM45HP-03	Mayo	01/05/2018	18	153	7.1	40.00	21.55
DM45HP-01	Mayo	02/05/2018	21	178	6.03	40.00	29.59
DM45HP-02	Mayo	02/05/2018	17	144.5	4.33	40.00	33.35
DM45HP-03	Mayo	02/05/2018	16	139.2	6.28	40.00	22.15
DM45HP-01	Mayo	03/05/2018	97	873	18.38	40.00	47.49
DM45HP-02	Mayo	03/05/2018	49	416	20.38	40.00	20.43
DM45HP-03	Mayo	03/05/2018	62	527	19.08	40.00	27.62
DM45HP-01	Mayo	04/05/2018	66	594	8.33	40.00	71.28
DM45HP-02	Mayo	04/05/2018	106	935.5	19.7	40.00	47.49
DM45HP-03	Mayo	04/05/2018	66	577.5	17.63	40.00	32.75
DM45HP-01	Mayo	05/05/2018	51	459	10.85	40.00	42.3
DM45HP-02	Mayo	05/05/2018	137	1219.6	17.4	40.00	70.09
DM45HP-03	Mayo	05/05/2018	106	946.6	18.02	40.00	52.54
DM45HP-01	Mayo	06/05/2018	58	522	16.32	40.00	31.99
DM45HP-02	Mayo	06/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	06/05/2018	65	579.4	9.32	40.00	62.19
DM45HP-01	Mayo	07/05/2018	93	927	17.92	40.00	51.74
DM45HP-02	Mayo	07/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	07/05/2018	112	1030.9	15.8	40.00	65.25
DM45HP-01	Mayo	08/05/2018	71	639	10.53	40.00	60.66
DM45HP-02	Mayo	08/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	08/05/2018	129	1196.5	18.37	40.00	65.15
DM45HP-01	Mayo	09/05/2018	80	666	18	40.00	37

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-02	Mayo	09/05/2018	55	491	8.67	40.00	56.65
DM45HP-03	Mayo	09/05/2018	115	1004.5	16	40.00	62.78
DM45HP-01	Mayo	10/05/2018	76	684	22.17	40.00	30.86
DM45HP-02	Mayo	10/05/2018	114	991.5	20.85	40.00	47.55
DM45HP-03	Mayo	10/05/2018	47	400.5	10.02	40.00	39.98
DM45HP-01	Mayo	11/05/2018	72	648	19.08	40.00	33.96
DM45HP-02	Mayo	11/05/2018	94	808.4	20.25	40.00	39.92
DM45HP-03	Mayo	11/05/2018	99	857.8	17.87	40.00	48.01
DM45HP-01	Mayo	12/05/2018	81	729	19.75	40.00	36.91
DM45HP-02	Mayo	12/05/2018	33	287.1	8.37	40.00	34.31
DM45HP-03	Mayo	12/05/2018	65	570.2	18.55	40.00	30.74
DM45HP-01	Mayo	13/05/2018	87	783	18.83	40.00	41.58
DM45HP-02	Mayo	13/05/2018	68	590	18.62	40.00	31.69
DM45HP-03	Mayo	13/05/2018	69	909	17.67	40.00	51.45
DM45HP-01	Mayo	14/05/2018	96	849	20.67	40.00	41.48
DM45HP-02	Mayo	14/05/2018	91	804	18.98	40.00	42.35
DM45HP-03	Mayo	14/05/2018	77	681.6	18.93	40.00	36
DM45HP-01	Mayo	15/05/2018	120	1080	19.25	40.00	56.1
DM45HP-02	Mayo	15/05/2018	121	1089	18.38	40.00	59.24
DM45HP-03	Mayo	15/05/2018	108	972	18.47	40.00	52.64
DM45HP-01	Mayo	16/05/2018	86	774	19.58	40.00	39.52
DM45HP-02	Mayo	16/05/2018	83	731	18.58	40.00	39.34
DM45HP-03	Mayo	16/05/2018	37	333	7.8	40.00	43.91
DM45HP-01	Mayo	17/05/2018	80	720	17.75	40.00	40.56
DM45HP-02	Mayo	17/05/2018	53	469.6	14.2	40.00	33.07
DM45HP-03	Mayo	17/05/2018	20	180	5.75	40.00	31.3
DM45HP-01	Mayo	18/05/2018	44	396	15.08	40.00	26.25
DM45HP-02	Mayo	18/05/2018	20	160	3.5	40.00	45.71

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-03	Mayo	18/05/2018	64	576	16.67	40.00	34.56
DM45HP-01	Mayo	19/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-02	Mayo	19/05/2018	93	837	21.17	40.00	39.54
DM45HP-03	Mayo	19/05/2018	89	801	17.8	40.00	45
DM45HP-01	Mayo	20/05/2018	37	333	4.25	40.00	78.35
DM45HP-02	Mayo	20/05/2018	39	331.5	11.67	40.00	28.41
DM45HP-03	Mayo	20/05/2018	78	624	13.5	40.00	46.22
DM45HP-01	Mayo	21/05/2018	4	36	1.77	40.00	20.38
DM45HP-02	Mayo	21/05/2018	63	504	17	40.00	29.65
DM45HP-03	Mayo	21/05/2018	42	336	8.42	40.00	39.92
DM45HP-01	Mayo	22/05/2018	35	304.5	7.07	40.00	43.09
DM45HP-02	Mayo	22/05/2018	50	429.6	14.67	40.00	29.29
DM45HP-03	Mayo	22/05/2018	30	270	7.17	40.00	37.67
DM45HP-01	Mayo	23/05/2018	32	278	8.03	40.00	34.66
DM45HP-02	Mayo	23/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	23/05/2018	44	396	9.5	40.00	41.68
DM45HP-01	Mayo	24/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-02	Mayo	24/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	24/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-01	Mayo	25/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-02	Mayo	25/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	25/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-01	Mayo	26/05/2018	8	68	2.75	40.00	24.73
DM45HP-02	Mayo	26/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	26/05/2018	3	27	1.42	40.00	19.06
DM45HP-01	Mayo	27/05/2018	82	720	18.83	40.00	38.23
DM45HP-02	Mayo	27/05/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-03	Mayo	27/05/2018	86	739.4	19.57	40.00	37.79

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Mayo	28/05/2018	72	648	15.02	40.00	43.15
DM45HP-02	Mayo	28/05/2018	94	846	19.27	40.00	43.91
DM45HP-03	Mayo	28/05/2018	77	672	17.83	40.00	37.71
DM45HP-01	Mayo	29/05/2018	88	792	18.12	40.00	43.72
DM45HP-02	Mayo	29/05/2018	83	747	19.12	40.00	39.08
DM45HP-03	Mayo	29/05/2018	81	729	18.77	40.00	38.85
DM45HP-01	Mayo	30/05/2018	43	387	9.5	40.00	40.74
DM45HP-02	Mayo	30/05/2018	78	702	18.38	40.00	38.19
DM45HP-03	Mayo	30/05/2018	85	753.3	20.52	40.00	36.72
DM45HP-01	Mayo	31/05/2018	82	738	17.58	40.00	41.97
DM45HP-02	Mayo	31/05/2018	81	729	19.07	40.00	38.23
DM45HP-03	Mayo	31/05/2018	36	324	9.45	40.00	34.29

Fuente: U.M El Toro 2018.

Tabla 26. Velocidades de perforación del mes de junio.

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Junio	01/06/2018	51	459	18.5	40.00	24.81
DM45HP-02	Junio	01/06/2018	52	468	18	40.00	26
DM45HP-03	Junio	01/06/2018	48	432	19.17	40.00	22.54
DM45HP-01	Junio	02/06/2018	146	1299	16.33	40.00	79.53
DM45HP-02	Junio	02/06/2018	64	567.3	18.67	40.00	30.39
DM45HP-03	Junio	02/06/2018	61	549	20.08	40.00	27.34
DM45HP-01	Junio	03/06/2018	116	1044	17.58	40.00	59.37
DM45HP-02	Junio	03/06/2018	98	854.5	19.9	40.00	42.94
DM45HP-03	Junio	03/06/2018	81	729	18.22	40.00	40.02

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Junio	04/06/2018	27	243	7	40.00	34.71
DM45HP-02	Junio	04/06/2018	84	730.5	20.65	40.00	35.38
DM45HP-03	Junio	04/06/2018	84	730.5	17.92	40.00	40.77
DM45HP-01	Junio	05/06/2018	84	756	19.32	40.00	39.14
DM45HP-02	Junio	05/06/2018	24	216	6.13	40.00	35.22
DM45HP-03	Junio	05/06/2018	72	635.6	17.83	40.00	35.64
DM45HP-01	Junio	06/06/2018	57	513	11.17	40.00	45.94
DM45HP-02	Junio	06/06/2018	103	927	15.83	40.00	58.55
DM45HP-03	Junio	06/06/2018	79	689	18.48	40.00	37.28
DM45HP-01	Junio	07/06/2018	118	1062	19.05	40.00	55.75
DM45HP-02	Junio	07/06/2018	120	1080	17.02	40.00	63.47
DM45HP-03	Junio	07/06/2018	94	902	17.87	40.00	50.48
DM45HP-01	Junio	08/06/2018	81	714.6	17.6	40.00	40.6
DM45HP-02	Junio	08/06/2018	82	738	18.93	40.00	38.98
DM45HP-03	Junio	08/06/2018	93	827	19.18	40.00	43.12
DM45HP-01	Junio	09/06/2018	71	623.4	18.67	40.00	33.4
DM45HP-02	Junio	09/06/2018	57	469	19.08	40.00	24.58
DM45HP-03	Junio	09/06/2018	76	646	19.92	40.00	32.44
DM45HP-01	Junio	10/06/2018	27	243	9.75	40.00	24.92
DM45HP-02	Junio	10/06/2018	74	629	19.75	40.00	31.85
DM45HP-03	Junio	10/06/2018	74	649	19.48	40.00	33.31
DM45HP-01	Junio	11/06/2018	50	436.8	14.42	40.00	30.3
DM45HP-02	Junio	11/06/2018	59	501.5	20.32	40.00	24.68
DM45HP-03	Junio	11/06/2018	68	595.5	20.7	40.00	28.77
DM45HP-01	Junio	12/06/2018	92	828	14.83	40.00	55.82
DM45HP-02	Junio	12/06/2018	46	391	15.88	40.00	24.62

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-03	Junio	12/06/2018	48	419.5	15.6	40.00	26.89
DM45HP-01	Junio	13/06/2018	74	666	15.8	40.00	42.15
DM45HP-02	Junio	13/06/2018	77	664.5	17.87	40.00	37.19
DM45HP-03	Junio	13/06/2018	58	504.5	13.93	40.00	36.21
DM45HP-01	Junio	14/06/2018	108	972	14.33	40.00	67.81
DM45HP-02	Junio	14/06/2018	61	532	13.12	40.00	40.56
DM45HP-03	Junio	14/06/2018	55	495	7.32	40.00	67.65
DM45HP-01	Junio	15/06/2018	32	288	8.5	40.00	33.88
DM45HP-02	Junio	15/06/2018	36	306	10.48	40.00	29.19
DM45HP-03	Junio	15/06/2018	0	0	0	40.00	0
DM45HP-01	Junio	16/06/2018	62	558	17.83	40.00	31.29
DM45HP-02	Junio	16/06/2018	69	608.5	16.28	40.00	37.37
DM45HP-03	Junio	16/06/2018	44	383.5	16.85	40.00	22.76
DM45HP-01	Junio	17/06/2018	96	864	18.87	40.00	45.79
DM45HP-02	Junio	17/06/2018	94	826.6	19.38	40.00	42.64
DM45HP-03	Junio	17/06/2018	66	578.4	18.15	40.00	31.87
DM45HP-01	Junio	18/06/2018	98	882	17.22	40.00	51.23
DM45HP-02	Junio	18/06/2018	78	702	13.98	40.00	50.2
DM45HP-03	Junio	18/06/2018	67	583.5	14.57	40.00	40.06
DM45HP-01	Junio	19/06/2018	108	972	20.23	40.00	48.04
DM45HP-02	Junio	19/06/2018	55	495	18.93	40.00	26.14
DM45HP-03	Junio	19/06/2018	58	513.8	17.33	40.00	29.64
DM45HP-01	Junio	20/06/2018	112	1008	20.48	40.00	49.21
DM45HP-02	Junio	20/06/2018	15	135	5.67	40.00	23.82
DM45HP-03	Junio	20/06/2018	66	594	18.87	40.00	31.48
DM45HP-01	Junio	21/06/2018	118	1062	19.33	40.00	54.93

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-02	Junio	21/06/2018	92	828	19.37	40.00	42.75
DM45HP-03	Junio	21/06/2018	93	830.6	19.43	40.00	42.74
DM45HP-01	Junio	22/06/2018	79	695.5	18.47	40.00	37.66
DM45HP-02	Junio	22/06/2018	48	413	19.13	40.00	21.59
DM45HP-03	Junio	22/06/2018	74	646	19.87	40.00	32.52
DM45HP-01	Junio	23/06/2018	62	527	19	40.00	27.74
DM45HP-02	Junio	23/06/2018	82	715.7	19.4	40.00	36.89
DM45HP-03	Junio	23/06/2018	38	323	17.37	40.00	18.6
DM45HP-01	Junio	24/06/2018	81	729	12.83	40.00	56.81
DM45HP-02	Junio	24/06/2018	117	1038.7	18.65	40.00	55.69
DM45HP-03	Junio	24/06/2018	68	595.5	17.87	40.00	33.33
DM45HP-01	Junio	25/06/2018	75	655	20.08	40.00	32.61
DM45HP-02	Junio	25/06/2018	63	550	19.5	40.00	28.21
DM45HP-03	Junio	25/06/2018	71	521	17.75	40.00	29.35
DM45HP-01	Junio	26/06/2018	85	765	16.12	40.00	47.47
DM45HP-02	Junio	26/06/2018	97	873	18.65	40.00	46.81
DM45HP-03	Junio	26/06/2018	74	629	16.58	40.00	37.93
DM45HP-01	Junio	27/06/2018	99	856.5	15.5	40.00	55.26
DM45HP-02	Junio	27/06/2018	100	900	19.37	40.00	46.47
DM45HP-03	Junio	27/06/2018	103	927	19.42	40.00	47.74
DM45HP-01	Junio	28/06/2018	78	684.5	19.83	40.00	34.51
DM45HP-02	Junio	28/06/2018	102	918	18.85	40.00	48.7
DM45HP-03	Junio	28/06/2018	96	826.5	19.08	40.00	43.31
DM45HP-01	Junio	29/06/2018	90	784.5	19.33	40.00	40.58
DM45HP-02	Junio	29/06/2018	77	693	20.75	40.00	33.4
DM45HP-03	Junio	29/06/2018	79	711	21.83	40.00	32.56

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Junio	30/06/2018	67	603	18.58	40.00	32.45
DM45HP-02	Junio	30/06/2018	53	477	13.07	40.00	36.51
DM45HP-03	Junio	30/06/2018	125	1086.5	19.97	40.00	54.42

Fuente: U.M El Toro 2018

Tabla 27. Velocidades de perforación del mes de julio.

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (PLAN)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Julio	01/07/2018	89.0	781.0	20.4	40.00	38.3
DM45HP-02	Julio	01/07/2018	72.0	615.0	10.3	40.00	59.7
DM45HP-03	Julio	01/07/2018	95.0	826.5	13.6	40.00	61.0
DM45HP-01	Julio	02/07/2018	102.0	889.0	19.8	40.00	44.8
DM45HP-02	Julio	02/07/2018	101.0	858.5	19.4	40.00	44.4
DM45HP-03	Julio	02/07/2018	122.0	1,069.5	17.7	40.00	60.4
DM45HP-01	Julio	03/07/2018	86.0	774.0	17.4	40.00	44.5
DM45HP-02	Julio	03/07/2018	77.0	693.0	19.3	40.00	36.0
DM45HP-03	Julio	03/07/2018	79.0	688.5	19.4	40.00	35.4
DM45HP-01	Julio	04/07/2018	78.0	660.4	13.9	40.00	47.5
DM45HP-02	Julio	04/07/2018	29.0	254.5	10.9	40.00	23.3
DM45HP-03	Julio	04/07/2018	91.0	795.5	18.7	40.00	42.5
DM45HP-01	Julio	05/07/2018	81.0	684.0	18.7	40.00	36.6
DM45HP-02	Julio	05/07/2018	73.0	732.5	19.9	40.00	36.8
DM45HP-03	Julio	05/07/2018	65.0	555.5	13.8	40.00	40.2
DM45HP-01	Julio	06/07/2018	75.0	655.0	19.0	40.00	34.5
DM45HP-02	Julio	06/07/2018	94.0	846.0	19.1	40.00	44.3
DM45HP-03	Julio	06/07/2018	56.0	504.0	17.4	40.00	29.0

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (PLAN)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Julio	07/07/2018	90.0	810.0	18.3	40.00	44.4
DM45HP-02	Julio	07/07/2018	67.0	603.0	18.0	40.00	33.5
DM45HP-03	Julio	07/07/2018	78.0	702.0	19.9	40.00	35.3
DM45HP-01	Julio	08/07/2018	99.0	891.0	16.6	40.00	53.7
DM45HP-02	Julio	08/07/2018	93.0	837.0	20.6	40.00	40.7
DM45HP-01	Julio	09/07/2018	90.0	810.0	18.8	40.00	43.1
DM45HP-02	Julio	09/07/2018	72.0	648.0	19.4	40.00	33.4
DM45HP-03	Julio	09/07/2018	80.0	720.0	19.1	40.00	37.7
DM45HP-01	Julio	10/07/2018	117.0	1,053.0	17.9	40.00	58.8
DM45HP-02	Julio	10/07/2018	111.0	999.0	18.8	40.00	53.2
DM45HP-03	Julio	10/07/2018	101.0	909.0	19.2	40.00	47.4
DM45HP-01	Julio	11/07/2018	68.0	612.0	10.9	40.00	56.0
DM45HP-02	Julio	11/07/2018	131.0	1,179.0	19.2	40.00	61.5
DM45HP-03	Julio	11/07/2018	83.0	747.0	19.7	40.00	37.9
DM45HP-01	Julio	12/07/2018	58.0	522.0	15.9	40.00	32.8
DM45HP-02	Julio	12/07/2018	119.0	1,036.0	20.9	40.00	49.5
DM45HP-03	Julio	12/07/2018	69.0	605.5	19.4	40.00	31.2
DM45HP-01	Julio	13/07/2018	80.0	810.0	19.7	40.00	41.2
DM45HP-02	Julio	13/07/2018	61.0	549.0	19.0	40.00	28.9
DM45HP-03	Julio	13/07/2018	82.0	717.0	19.2	40.00	37.4
DM45HP-01	Julio	14/07/2018	106.0	954.0	17.4	40.00	54.9
DM45HP-02	Julio	14/07/2018	85.0	765.0	14.3	40.00	53.6
DM45HP-03	Julio	14/07/2018	115.0	977.5	16.3	40.00	60.1
DM45HP-01	Julio	15/07/2018	80.0	706.5	15.7	40.00	45.1
DM45HP-02	Julio	15/07/2018	103.0	907.0	17.2	40.00	52.7
DM45HP-03	Julio	15/07/2018	83.0	729.0	14.0	40.00	52.1

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (PLAN)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Julio	16/07/2018	27.0	229.5	7.0	40.00	32.9
DM45HP-02	Julio	16/07/2018	92.0	782.0	19.2	40.00	40.7
DM45HP-03	Julio	16/07/2018	89.0	756.5	21.7	40.00	34.9
DM45HP-01	Julio	17/07/2018	-	-	-	40.00	-
DM45HP-02	Julio	17/07/2018	82.0	738.0	17.6	40.00	41.9
DM45HP-03	Julio	17/07/2018	103.0	927.0	18.7	40.00	49.6
DM45HP-01	Julio	18/07/2018	-	-	-	40.00	-
DM45HP-02	Julio	18/07/2018	90.0	810.0	18.6	40.00	43.5
DM45HP-03	Julio	18/07/2018	94.0	1,026.0	18.7	40.00	55.0
DM45HP-01	Julio	19/07/2018	-	-	-	40.00	-
DM45HP-02	Julio	19/07/2018	78.0	702.0	19.3	40.00	36.4
DM45HP-03	Julio	19/07/2018	93.0	837.0	18.3	40.00	45.8
DM45HP-01	Julio	20/07/2018	-	-	-	40.00	-
DM45HP-02	Julio	20/07/2018	118.0	1,062.0	20.5	40.00	51.9
DM45HP-03	Julio	20/07/2018	89.0	801.0	17.4	40.00	46.0
DM45HP-01	Julio	21/07/2018	-	-	-	40.00	-
DM45HP-02	Julio	21/07/2018	88.0	882.0	18.2	40.00	48.5
DM45HP-03	Julio	21/07/2018	73.0	657.0	18.5	40.00	35.6
DM45HP-01	Julio	22/07/2018	21.0	178.5	6.2	40.00	28.9
DM45HP-02	Julio	22/07/2018	58.0	522.0	20.3	40.00	25.8
DM45HP-03	Julio	22/07/2018	67.0	587.5	20.8	40.00	28.3
DM45HP-01	Julio	23/07/2018	53.0	454.9	16.6	40.00	27.5
DM45HP-02	Julio	23/07/2018	80.0	697.0	20.1	40.00	34.7
DM45HP-03	Julio	23/07/2018	73.0	641.0	21.0	40.00	30.5
DM45HP-01	Julio	24/07/2018	92.0	792.2	20.3	40.00	39.1
DM45HP-02	Julio	24/07/2018	43.0	387.0	8.4	40.00	46.0

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (PLAN)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-03	Julio	24/07/2018	101.0	885.5	20.1	40.00	44.0
DM45HP-01	Julio	25/07/2018	68.0	607.6	15.1	40.00	40.4
DM45HP-02	Julio	25/07/2018	68.0	599.5	11.2	40.00	53.4
DM45HP-03	Julio	25/07/2018	47.0	399.5	8.9	40.00	44.8
DM45HP-01	Julio	26/07/2018	51.0	459.0	18.3	40.00	25.1
DM45HP-02	Julio	26/07/2018	56.0	504.0	19.8	40.00	25.5
DM45HP-03	Julio	26/07/2018	58.0	506.5	16.2	40.00	31.2
DM45HP-01	Julio	27/07/2018	71	641.5	18.4	40.00	34.86
DM45HP-02	Julio	27/07/2018	43	387	16.25	40.00	23.82
DM45HP-03	Julio	27/07/2018	61	549	16.13	40.00	34.03
DM45HP-01	Julio	28/07/2018	57	492.3	18.72	40.00	26.3
DM45HP-02	Julio	28/07/2018	71	639	19.33	40.00	33.05
DM45HP-03	Julio	28/07/2018	127	1104.5	16.25	40.00	67.97
DM45HP-01	Julio	29/07/2018	56	489.2	12.97	40.00	37.73
DM45HP-02	Julio	29/07/2018	64	576	15.85	40.00	36.34
DM45HP-03	Julio	29/07/2018	71	624.5	14.97	40.00	41.73
DM45HP-01	Julio	30/07/2018	85	760	18.72	40.00	40.61
DM45HP-02	Julio	30/07/2018	93	805	17.75	40.00	45.35
DM45HP-03	Julio	30/07/2018	95	834	19.85	40.00	42.02
DM45HP-01	Julio	31/07/2018	48	432	13.5	40.00	32
DM45HP-02	Julio	31/07/2018	77	677	18.12	40.00	37.37
DM45HP-03	Julio	31/07/2018	135	1161.5	17.08	40.00	67.99

Fuente: U.M El Toro 2018.

02. Depuración de datos para seleccionar la muestra representativa

Para una mejor comparación se ha seleccionado las velocidades de perforación de la perforadora DM45-01 con el martillo y broca modelo QL6 en las mismas condiciones de trabajo, para no obtener sesgos que den conclusiones que pongan en ventaja o desventaja al martillo y broca ROCK 66. Como se vio en las tablas anteriores, los datos de la muestra extraída de los meses de mayo, junio y julio; representan las velocidades de perforación de todo el Tajo Diana, es decir todas las litologías presentes. Como ya se explicó, el mayor porcentaje presente en el tajo es arenisca cuarzosa. Es por ello, que vemos en el Figura 16 el sesgo hacia la derecha del histograma y en la figura 17 una distribución de los datos que no es normal, ya que el valor p es menor que 0.05; esto indica una situación especial a corregir; la razón de ello, son las velocidades de perforación en las zonas de rocas suaves que llegan a altas velocidades, estos datos han sido identificados para excluirlos del estudio, ya que el análisis solo es en las litologías de QSD y brecha polimíctica.

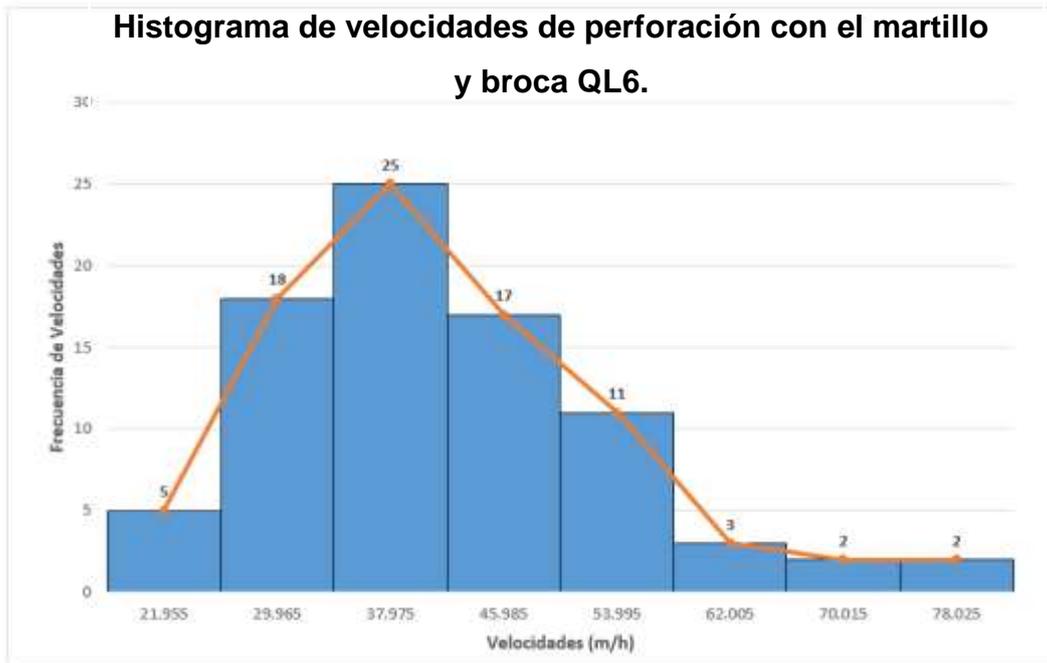


Figura 16. Histograma de los meses de mayo, junio y julio del 2018.

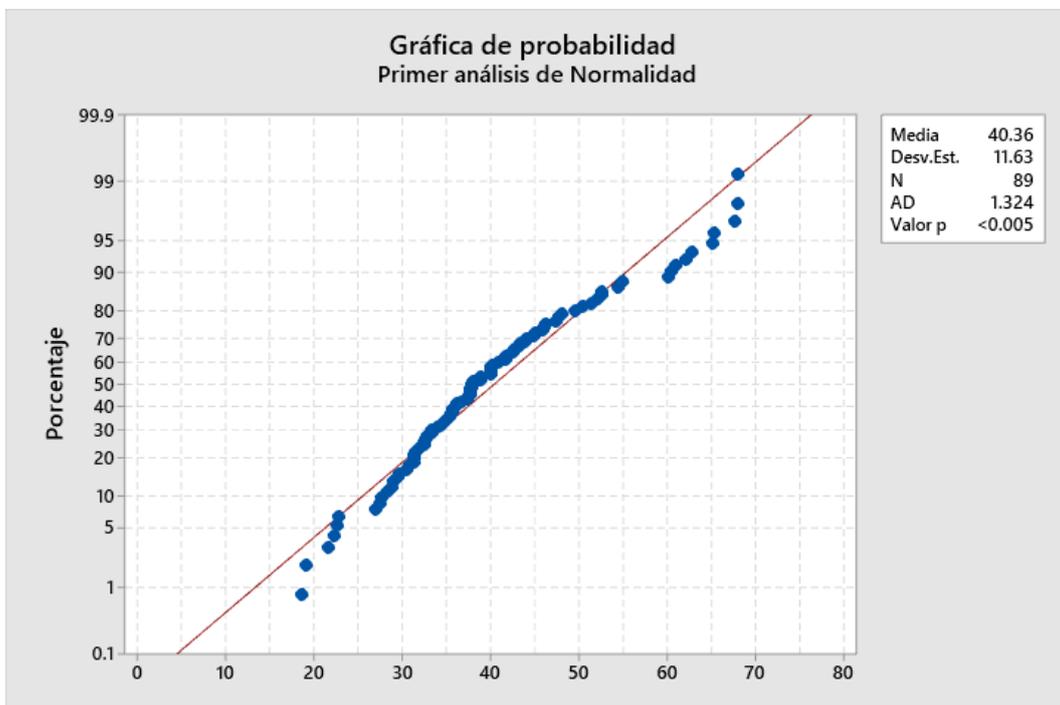


Figura 17. Análisis de normalidad para el martillo y broca QL6.

Fuente: Minitab 2019.

V_{\min} : 20.38 m/h

$V_{\text{máx}}$: 79.53 m/h

R: 59.15 m/h

\bar{x} : 41.97 m/h

x: 40.60 m/h

S: 11.61 m/h

C.V: 27.67%

Se han depurado los datos anteriores, en referencia a la característica del histograma, parámetros de estimación estadísticos y la distribución no normal de los datos, se seleccionó el 52% de los datos que representan velocidades en las litologías de estudio, las velocidades escogidas están en el intervalo de [25.97; 41.98], obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 28. Primera depuración de datos para el martillo y broca QL6

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Mayo	02/05/2018	21	178	6.03	40	29.59
DM45HP-01	Mayo	06/05/2018	58	522	16.32	40	31.99
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	16/05/2018	86	774	19.58	40	39.52
DM45HP-01	Mayo	17/05/2018	80	720	17.75	40	40.56
DM45HP-01	Mayo	18/05/2018	44	396	15.08	40	26.25
DM45HP-01	Mayo	23/05/2018	32	278	8.03	40	34.66

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Mayo	27/05/2018	82	720	18.83	40	38.23
DM45HP-01	Mayo	30/05/2018	43	387	9.5	40	40.74
DM45HP-01	Mayo	31/05/2018	82	738	17.58	40	41.97
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	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	11/06/2018	50	436.8	14.42	40	30.3
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	22/06/2018	79	695.5	18.47	40	37.66
DM45HP-01	Junio	23/06/2018	62	527	19	40	27.74
DM45HP-01	Junio	25/06/2018	75	655	20.08	40	32.61
DM45HP-01	Junio	28/06/2018	78	684.5	19.83	40	34.51
DM45HP-01	Junio	29/06/2018	90	784.5	19.33	40	40.58
DM45HP-01	Junio	30/06/2018	67	603	18.58	40	32.45
DM45HP-01	Julio	01/07/2018	89	781	20.4	40	38.3
DM45HP-01	Julio	05/07/2018	81	684	18.7	40	36.6
DM45HP-01	Julio	06/07/2018	75	655	19	40	34.5
DM45HP-01	Julio	12/07/2018	58	522	15.9	40	32.8
DM45HP-01	Julio	13/07/2018	80	810	19.7	40	41.2
DM45HP-01	Julio	16/07/2018	27	229.5	7	40	32.9
DM45HP-01	Julio	22/07/2018	21	178.5	6.2	40	28.9
DM45HP-01	Julio	23/07/2018	53	454.9	16.6	40	27.5
DM45HP-01	Julio	24/07/2018	92	792.2	20.3	40	39.1
DM45HP-01	Julio	25/07/2018	68	607.6	15.1	40	40.4
DM45HP-01	Julio	27/07/2018	71	641.5	18.4	40	34.86
DM45HP-01	Julio	28/07/2018	57	492.3	18.72	40	26.3

Equipo	Mes	Fecha	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Julio	29/07/2018	56	489.2	12.97	40	37.73
DM45HP-01	Julio	30/07/2018	85	760	18.72	40	40.61
DM45HP-01	Julio	31/07/2018	48	432	13.5	40	32

Fuente: U.M El Toro 2018.

De los datos anteriores se obtiene, como se muestra en la figura 18 y 19, la frecuencia de velocidades y análisis de normalidad con sus respectivos parámetros estadísticos:

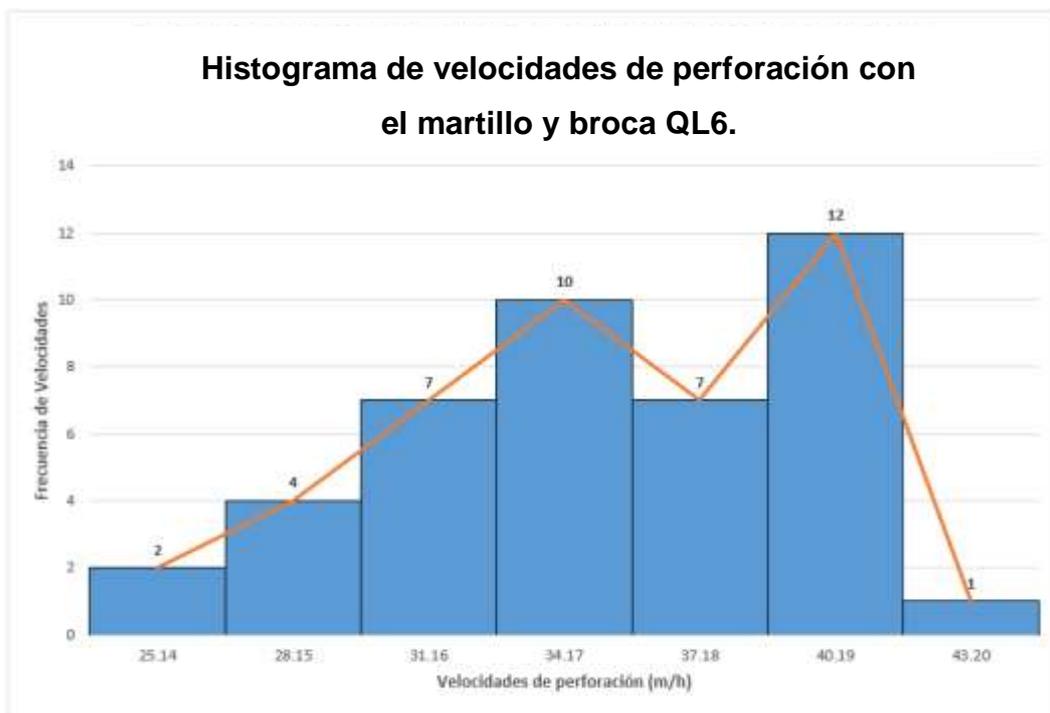


Figura 18. Histograma de frecuencia de velocidades de perforación

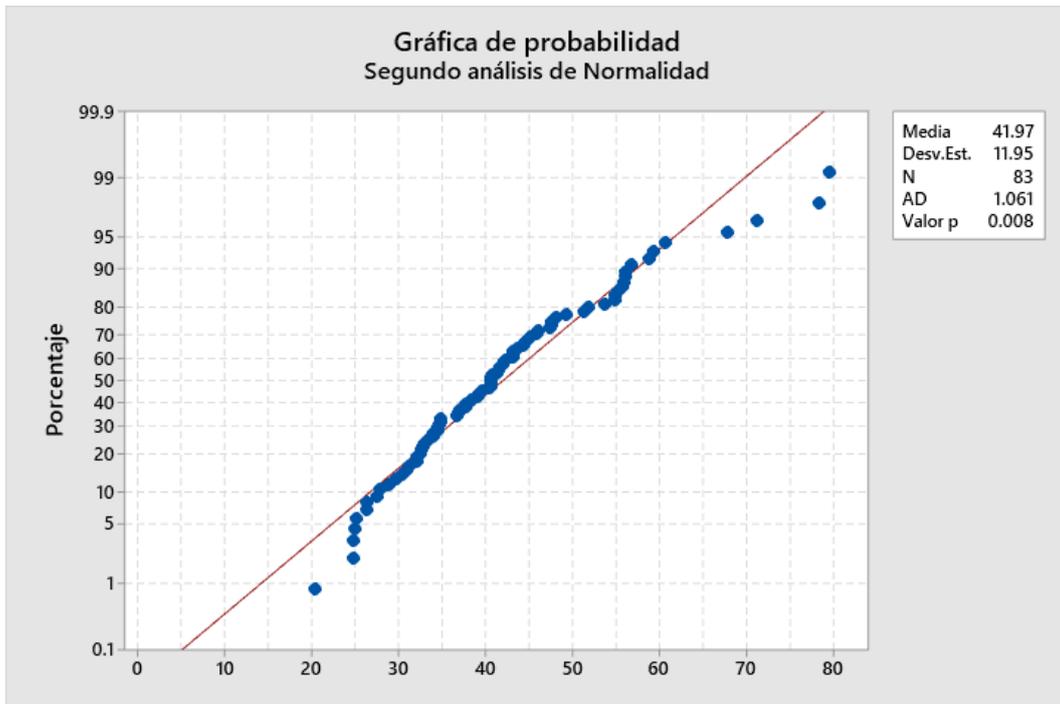


Figura 19. Segundo análisis de normalidad.

Fuente: Minitab 2019.

V_{\min} : 26.25 m/h

V_{\max} : 41.97 m/h

R: 15.72 m/h

\bar{x} : 35.30 m/h

x: 34.71 m/h

S: 4.58 m/h

C.V: 12.98 %

Como se observa en la figura 18, la distribución presenta dos posibles modas, las cuales son interpretadas como la existencia de dos o más realidades o condiciones diferentes. Lo cual significa que aún existen velocidades que no pertenecen a las litologías de arenisca cuarzosa y brecha polimíctica. Además, que aún se presenta una distribución no normal (valor $p < 0.005$), lo cual no ayuda

a desarrollar una prueba de hipótesis para la comparación de medias.

A partir del conocimiento empírico que se tiene de las velocidades de perforación que no llegan a los 40 m/h, pero que pasan los 30 m/h, en las arenisca cuarzosa y brecha polimíctica, se infiere que las velocidades registradas debajo de este límite representan velocidades obtenidas en condiciones de trabajo adversas como: frentes o plataformas muy irregulares que dificultan el traslado de taladro a taladro, operador no calificado, operador sin ayudante, presencia de socavones y presencia de material volado o relleno.

Para alcanzar una muestra representativa se analiza la media y desviación estándar de los datos anteriores, de ello se observa valores de 35.30 m/h y 4.58 m/h respectivamente, con estos datos se realiza un intervalo con rango de ± 4.58 m/h para seleccionar las velocidades que oscilan entre [30.72; 39.38] m/h. De ello se obtuvo, como se muestra en la tabla 30, una muestra representativa de velocidades de perforación en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica con la perforadora DM45-01:

Tabla 29. Muestra de velocidades de perforación con el martillo y broca QL6.

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (PLAN)	m/h (EJECUTADO)
DM45HP-01	Mayo	06/05/2018	58	522	16.32	40	31.99
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	16/05/2018	86	774	19.58	40	39.52
DM45HP-01	Mayo	23/05/2018	32	278	8.03	40	34.66
DM45HP-01	Mayo	27/05/2018	82	720	18.83	40	38.23
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	09/06/2018	71	623.4	18.67	40	33.4

EQUIPO	MES	FECHA	N° TALADROS	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (PLAN)	m/h (EJECUTADO)
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	22/06/2018	79	695.5	18.47	40	37.66
DM45HP-01	Junio	25/06/2018	75	655	20.08	40	32.61
DM45HP-01	Junio	28/06/2018	78	684.5	19.83	40	34.51
DM45HP-01	Junio	30/06/2018	67	603	18.58	40	32.45
DM45HP-01	Julio	01/07/2018	89	781	20.4	40	38.3
DM45HP-01	Julio	05/07/2018	81	684	18.7	40	36.6
DM45HP-01	Julio	06/07/2018	75	655	19	40	34.50
DM45HP-01	Julio	12/07/2018	58	522	15.9	40	32.8
DM45HP-01	Julio	16/07/2018	27	229.5	7	40	32.9
DM45HP-01	Julio	24/07/2018	92	792.2	20.3	40	39.1
DM45HP-01	Julio	27/07/2018	71	641.5	18.4	40	34.86
DM45HP-01	Julio	29/07/2018	56	489.2	12.97	40	37.73
DM45HP-01	Julio	31/07/2018	48	432	13.5	40	32

Fuente: U.M El Toro 2018.

De los datos de la muestra representativa de velocidades de perforación con el martillo y broca QL6, se muestra en la figura 20 y 21 la frecuencia de velocidades de perforación y análisis de normalidad con sus parámetros estadísticos:

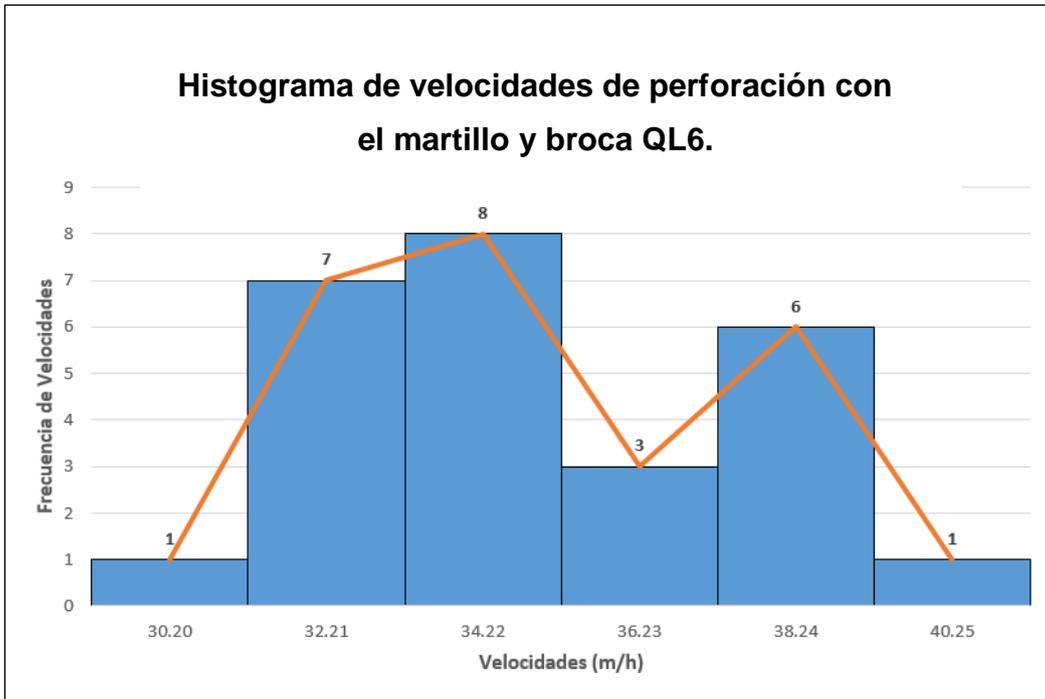


Figura 20. Histograma de la muestra representativa del martillo y broca QL6.

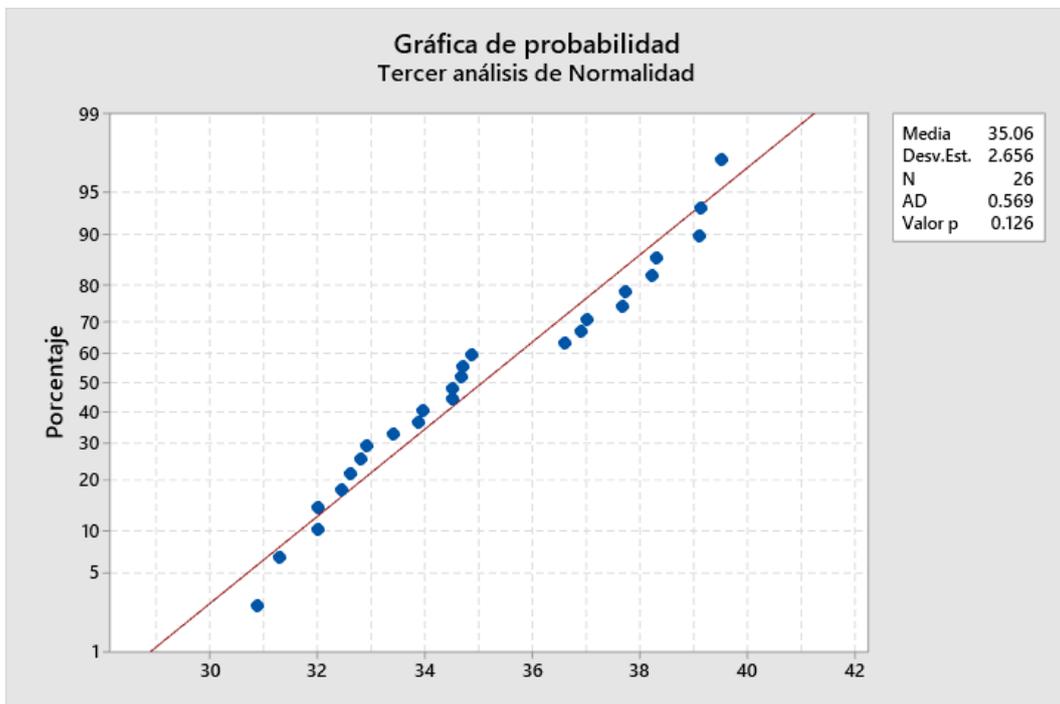


Figura 21. Tercer análisis de normalidad para la muestra de los aceros QL6.

Fuente: Minitab 2019.

n: 26

V_{\min} : 30.86 m/h

V_{\max} : 39.52 m/h

R: 8.66 m/h

\bar{x} : 35.06 m/h

x: 34.59 m/h

S: 2.66 m/h

C.V: 8 %

Los datos se comportan como una distribución normal (valor $p > 0.05$) y los parámetros estadísticos con poca diferencia entre velocidades de perforación respecto a las tendencias centrales, es decir, la media y mediana, esto ayuda a corroborar la calidad de los datos y confirmando que no están sesgados.

La figura 20 presenta una doble moda, pero no se considera así, por la poca diferencia entre frecuencias. Además, se obtuvo un bajo porcentaje de variabilidad en los datos, aun cuando se tiene dos condiciones de terreno distintas como es la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica; con ello, se debe tener en cuenta que en la brecha se tienen menores velocidades de perforación que en el QSD; finalmente se obtuvo una muestra representativa que ayudo a un buen análisis comparativo.

03. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66

Tabla 30. Velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66

Equipo	Mes	Fecha	Litología	N° Taladros	Metros Perforados (m)	HOP (h)	m/h (Plan)	m/h (Ejecutado)
DM45HP-01	Ago.	21/08/18	QSD	121	1089	19.84	40	54.89
DM45HP-01	Ago.	22/08/18	QSD	65	585	10.28	40	56.91
DM45HP-01	Ago.	23/08/18	QSD	130	1170	20.25	40	57.78
DM45HP-01	Ago.	24/08/18	QSD	24	216	3.78	40	57.14
DM45HP-01	Ago.	25/08/18	Brecha	54	486	10.2	40	47.65
DM45HP-01	Ago.	26/08/18	Brecha	87	783	16.3	40	48.04
DM45HP-01	Ago.	27/08/18	Brecha	100	900	17.9	40	50.28
DM45HP-01	Ago.	28/08/18	Brecha	98	882	19.12	40	46.13
DM45HP-01	Ago.	29/08/18	Brecha	72	648	13.75	40	47.13
DM45HP-01	Ago.	30/08/18	QSD	87	783	13.83	40	56.62
DM45HP-01	Ago.	31/08/18	QSD	90	810	13.6	40	59.56
DM45HP-01	Sep.	01/09/18	QSD	112	1008	16.35	40	61.65
DM45HP-01	Sep.	02/09/18	QSD	112	1008	17.45	40	57.77
DM45HP-01	Sep.	03/09/18	Brecha	76	684	14.82	40	46.15
DM45HP-01	Sep.	04/09/18	Brecha	67	603	13.93	40	43.29
DM45HP-01	Sep.	05/09/18	QSD	106	954	16.18	40	58.96

Fuente: U.M El Toro 2018.

Con los datos de la muestra representativa de las velocidades de perforación con el martillo y broca ROCK 66, se muestra en la figura 22 el gráfico de frecuencias con sus parámetros estadísticos:

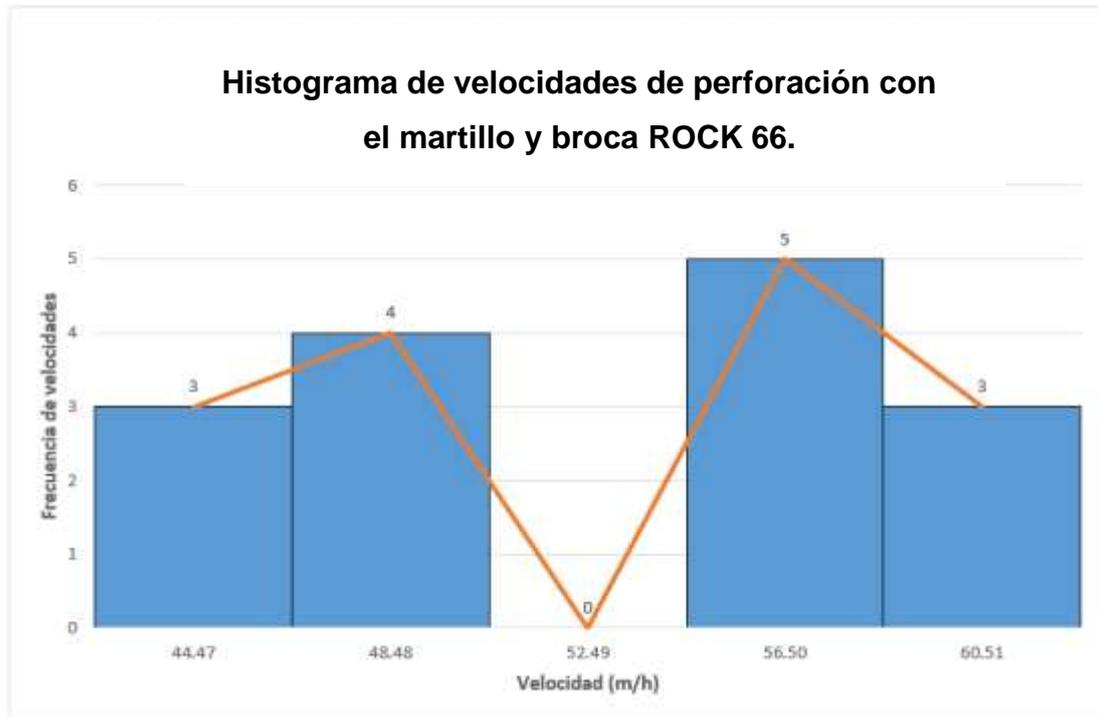


Figura 22. Histograma de la muestra del martillo y broca ROCK66.

n: 16

V_{\min} : 43.29 m/h

V_{\max} : 61.65 m/h

R: 18.36 m/h

\bar{y} : 53.12 m/h

y: 55.76 m/h

S: 5.95 m/h

C.V: 11.20%

La muestra representativa tiene una notable diferencia en la eficiencia de las velocidades de perforación promedio en la arenisca cuarzosa y brecha polimíctica.

Se presenta en las dos barras de la derecha las velocidades en la arenisca

cuarzosa y en las dos barras de la izquierda las velocidades de perforación de la brecha polimíctica.

Hay un bajo porcentaje de variabilidad y poca diferencia entre la media y mediana, lo cual dio seguridad de poder trabajar con estos datos para el análisis comparativo en esta investigación.

Esto llevo a realizar un análisis de normalidad por separado en el QSD y la brecha polimíctica con el martillo y broca ROCK 66. Se debe resaltar que el rendimiento de estos es notablemente superior en el QSD que en la brecha polimíctica; lo cual no sucede con los aceros QL6, cuya diferencia de rendimiento en ambas litologías no es tan amplia y dan una distribución normal tomándolas como una sola muestra. Es por ello, que se muestra a continuación en la figura 23 y 24 el análisis de normalidad por separado, para el QSD y brecha polimíctica.

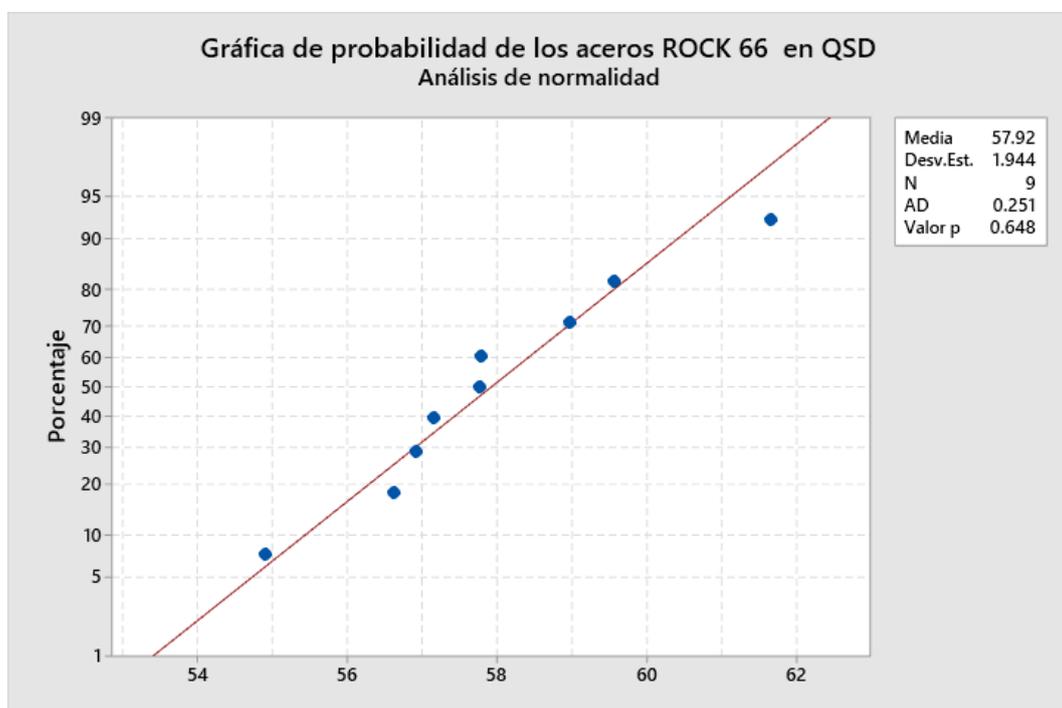


Figura 23. Análisis de normalidad de los Aceros Rock 66 en el QSD.

Fuente: Minitab 2019.

Presenta una distribución normal porque el valor p es mayor a 0.05.

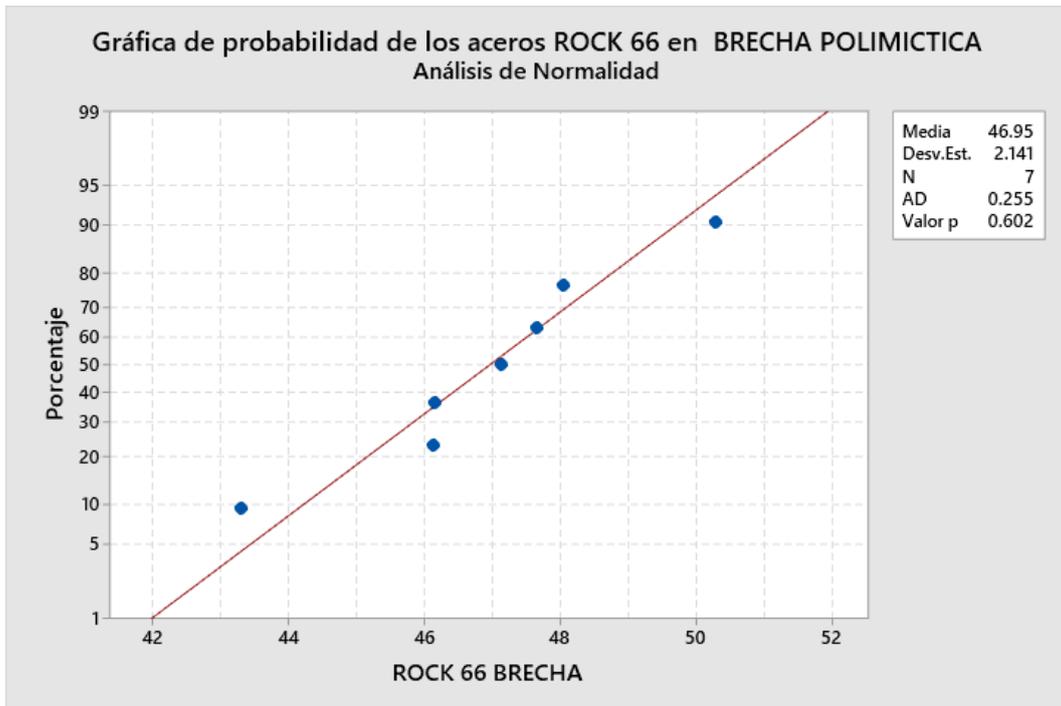


Figura 24. Análisis de normalidad de los Aceros Rock 66 en la brecha.

Fuente: Minitab 2019.

Presenta una distribución normal porque el valor p es mayor a 0.05

04. Diseño técnico de los aceros.



Figura 25. Diseño del martillo QL6.

Fuente: NEUMAN 2017.

DISEÑO DEL MARTILLO ROCK 66

Alta presión de aire con martillo DTH ROCK 66.

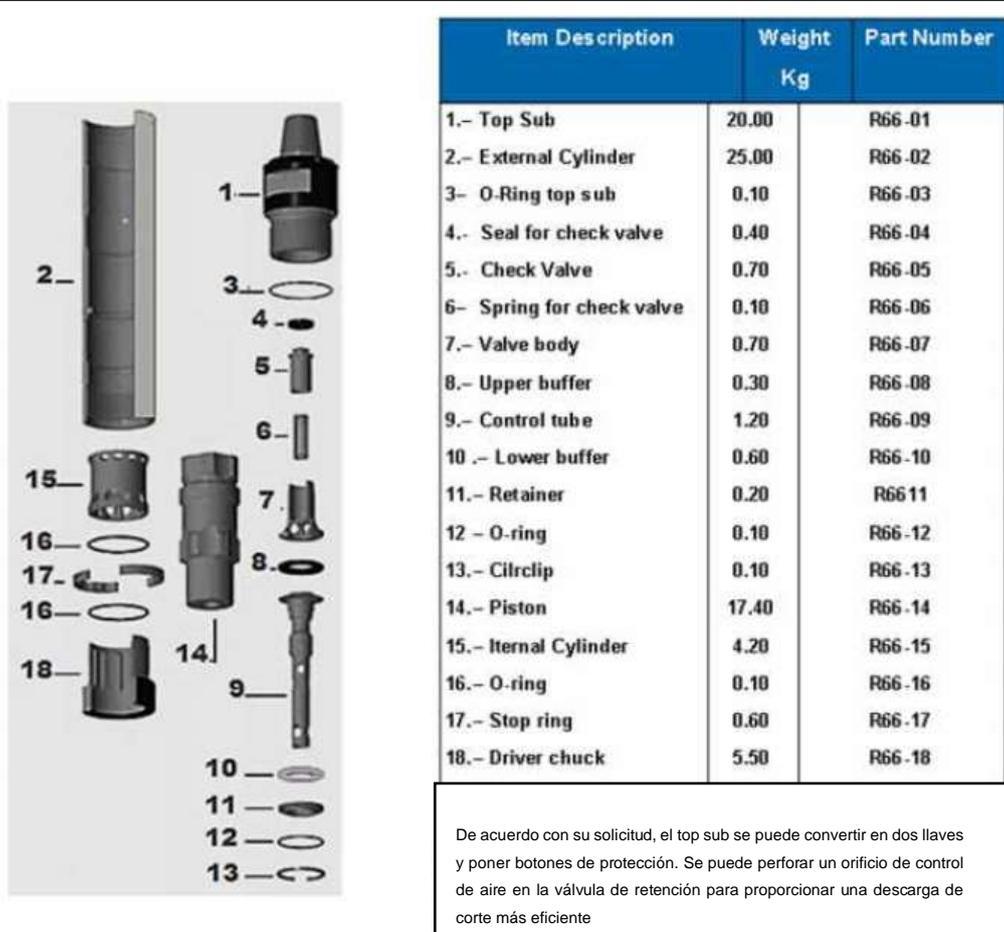


Figura 26. Diseño del martillo ROCK 66.

Fuente: NEUMAN 2018.

05. Análisis económico



Figura 27. Análisis económico de perforación.

06. Diagrama de Ishikawa

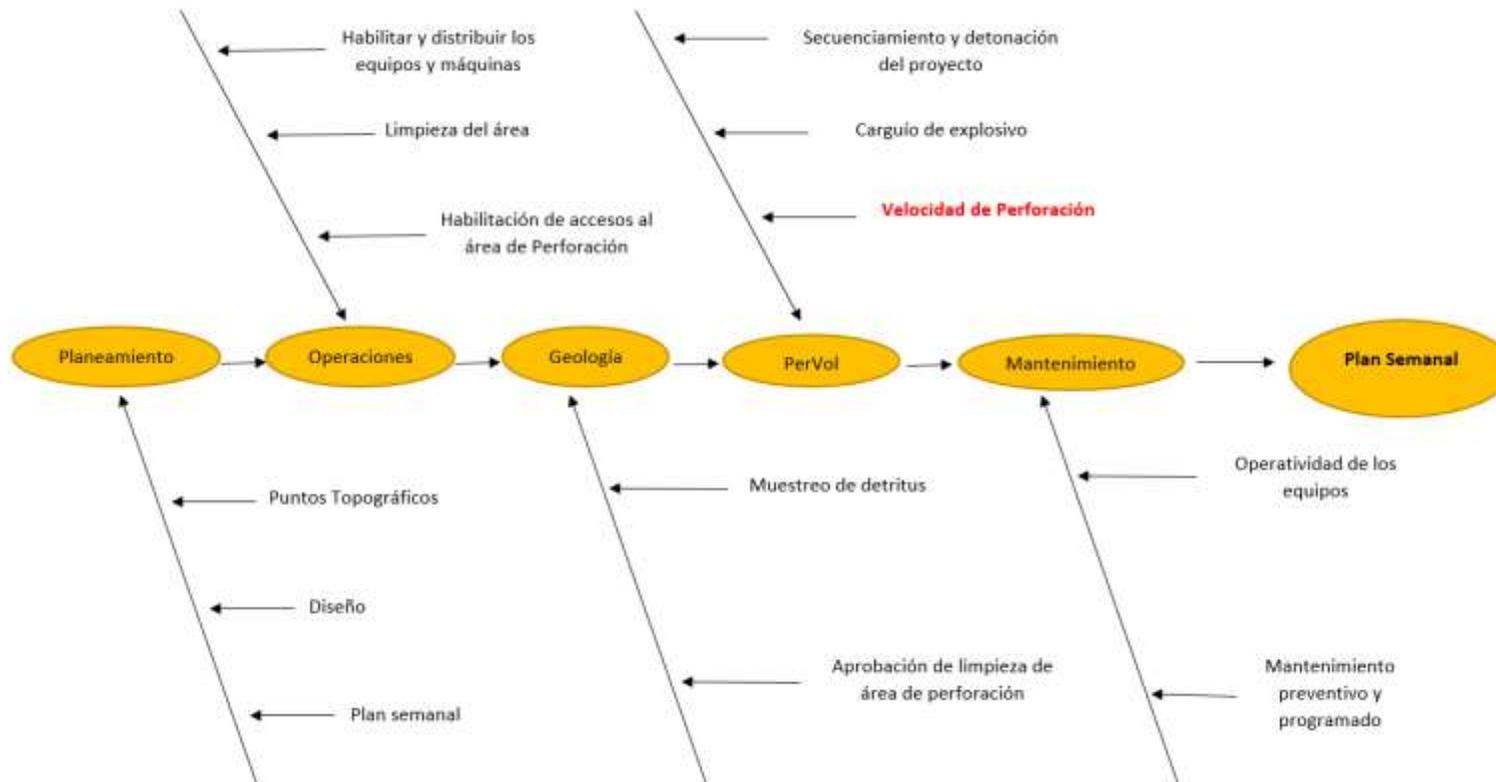


Figura 28. Diagrama Ishikawa tipo flujo de proceso.

Nota: Se identificó, por estratificación de áreas involucradas en la operación, los factores que puedan afectar el proceso, en este caso, en el área de Perforación y Voladura la baja velocidad de perforación.

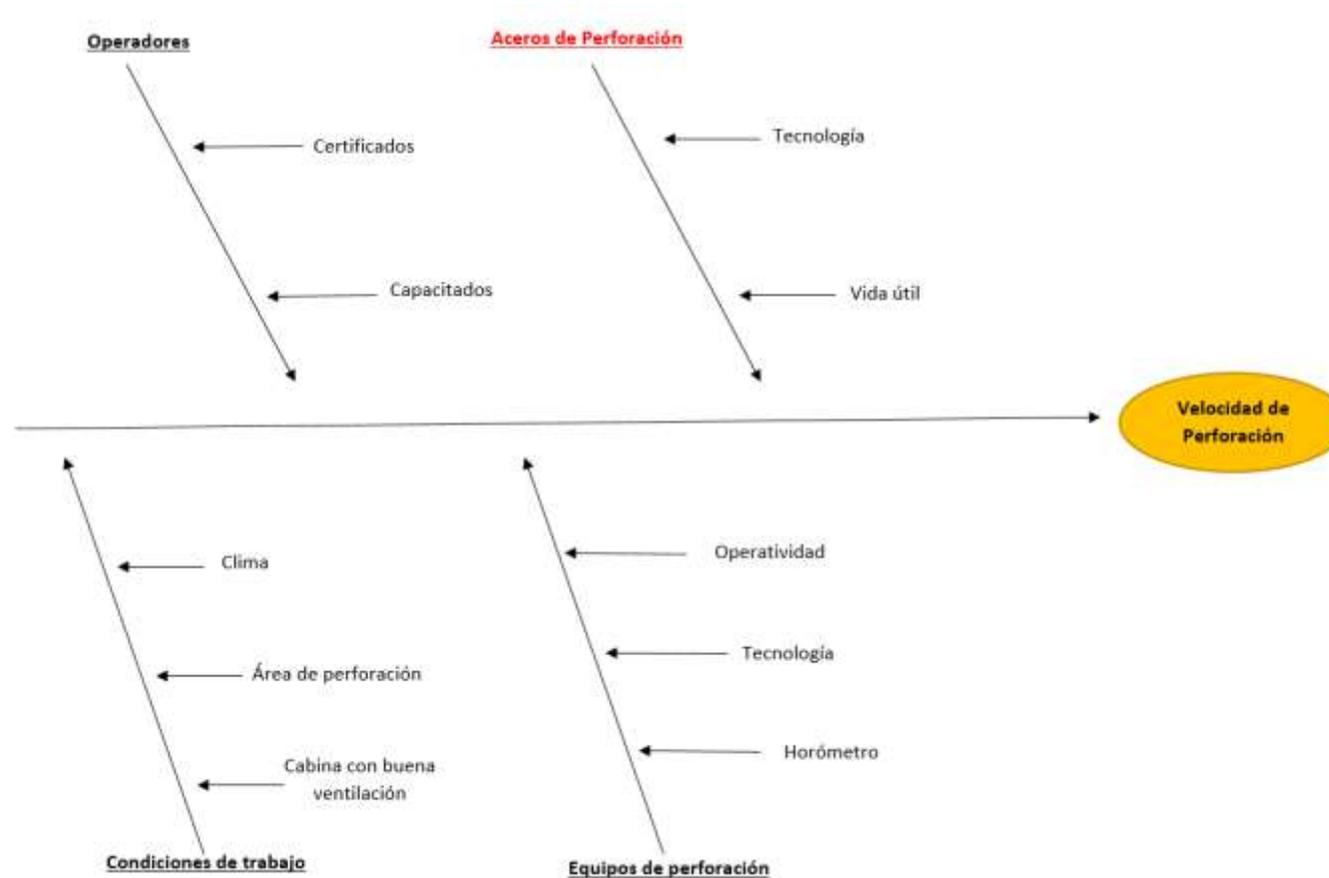


Figura 29. Diagrama Ishikawa tipo enumeración de causas

Nota: Aquí se identificó la causa potencial de la baja velocidad de perforación para cumplir con los proyectos a tiempo, lo que dio como resultado los aceros de perforación, en específico el martillo y broca, donde se centra la tecnología de avance en la perforación.

 <p>COMPAÑÍA MINERA LOS ANDES PERÚ GOLD S.A.C.</p> <p>REPORTE DE PERFORACION DE TALADROS</p>	<p>Código: FORM-MPE-002</p> <p>FECHA:</p> <p>VERSION:01</p>
--	---

PERFORADORA DM 45 HP:									
FECHA: _____ OPERADOR: _____ HR. INICIAL DE COMBUSTIBLE: _____ HR. INICIO DE MOTOR: _____ AYUDANTE DE PER: _____ INGRESO A TALLER HR: _____	TURNO: _____ TAJO: _____ HR. FINAL DE COMBUSTIBLE: _____ HR. FINAL DE MOTOR: _____ COMBUSTIBLE GLNE: _____ SALIDA DE TALLER HR: _____	A(NOCHE) _____ B (DÍA) _____ BANCO: _____ DA: _____ HOCHE: _____	TOTAL HORAS MOTOR: _____ T. PER: _____						

MARCA	BROCA	BROCA	BROCA	BARRA	ADAPTADOR DE MARTELO	CULATA	CILINDRO	PISTON	CENTRALIZADOR	CHECK NUEVO	CHECK RECONSTRUIDO
DIÁMETRO											
N° DE SERIE											
RECORDADO ANTERIOR											
MPL POR SEÑERA											
RECORDADO FINAL											

LEYENDA - TIPO DE TERRENO	"S" - SUAVE	"M" - MEDIO	"D" - DURO	"MP" - MEDIO FRACT	"F" - FRACTURADO	"DP" - DURA	"R" - RELLENO	"A" - ARCILLA
---------------------------	-------------	-------------	------------	--------------------	------------------	-------------	---------------	---------------

N°	N° TALADRO			LONJITUD DE TALADRO			TIEMPO POR TALADRO	TIPO TERRENO	N°	N° TALADRO			LONJITUD DE TALADRO			TIEMPO POR TALADRO	TIPO TERRENO
	S.S.	S.S.S	PERFORADO	REFORZADO	ESPECIAL	S.S.				S.S.S	PERFORADO	REFORZADO	ESPECIAL	S.S.	S.S.S		
1									26								
2									27								
3									28								
4									29								
5									30								
6									31								
7									32								
8									33								
9									34								
10									35								
11									36								
12									37								
13									38								
14									39								
15									40								
16									41								
17									42								
18									43								
19									44								
20									45								
21									46								
22									47								
23									48								
24									49								
25									50								
Total Metros																	

TIEMPOS DE TRABAJO				
TIEMPO DE OPERACIÓN	CÓDIGO	HR. INICIO	HR. FINAL	TIEMPO
TIEMPO DE PERFORACION				
REVISION Y TALLADO DE TALADRO Y TALADRO				
SEÑORAS OPERATIVAS - MOTOR ENCENDIDO	CÓDIGO	HR. INICIO	HR. FINAL	TIEMPO
CALENTAMIENTO DE MOTOR				
PRUEBAS OPERATIVAS AL INICIO DE LA BARRIDA				
CAMBIO DE BARRIDAS				
TALADRO DE EQUIPO A NUEVO PROYECTO (BARRIDA)				
TALADRO DE EQUIPO POR VOLUNTAD (BARRIDA)				
LAVADO DE EQUIPO				
OTROS				
SEÑORAS MECANICAS - MOTOR APAGADO	CÓDIGO	HR. INICIO	HR. FINAL	TIEMPO
PRUEBAS EN EL EQUIPO				
MAINTENIMIENTO				
FALLA MECANICA				
FALLA ELECTRICA				
SEÑORAS DE EQUIPO				
SEÑORAS MECANICAS				
OTROS				
SEÑORAS POR PARTE DE LOS ANDES	CÓDIGO	HR. INICIO	HR. FINAL	TIEMPO
STAND BY POR FALTA DE PROYECTO				
STAND BY POR CRESCEN DE LOS ANDES				
PARADA POR CONDICIONES CLIMATICAS				
PARADA POR MALAS CONDICIONES DE VEGAS				
OTROS				

Figura 31. Formato físico de reporte de perforación

Fuente: U.M El Toro 2018.

08. Panel fotográfico



Figura 32. Perforadora de prueba DM45 - 01.



Figura 33. DM45 - 01 usando el martillo y broca ROCK 66 en el QSD.



Figura 34. Martillo Rock 66 luego de su uso.



Figura 35. Martillo Rock 66 PIN BOX para conectarse a la barra.



Figura 36. Broca ROCK 66 Domo 6 $\frac{3}{4}$ " de diámetro.



Figura 37. Broca ROCK 66 6 $\frac{3}{4}$ " con sistema de barrido externo de 4 orificios.



Figura 38. Martillo, chuck y broca QL6.



Figura 39. Martillo QL6.



Figura 40. Sistema de barrido de broca QL6



Figura 41. Sistema de barrido de la broca QL6 sin orificios en los costados.



Figura 42. Sistema de barrido interno de la broca QL6.



Figura 43. Broca QL6 6 $\frac{3}{4}$ ", estructura de conexión.



Figura 44. Broca ROCK 66 vs QL6, sistema de barrido y diseño de insertos.



Figura 45. DM45 - 01 perforando en zona de brecha polimíctica.





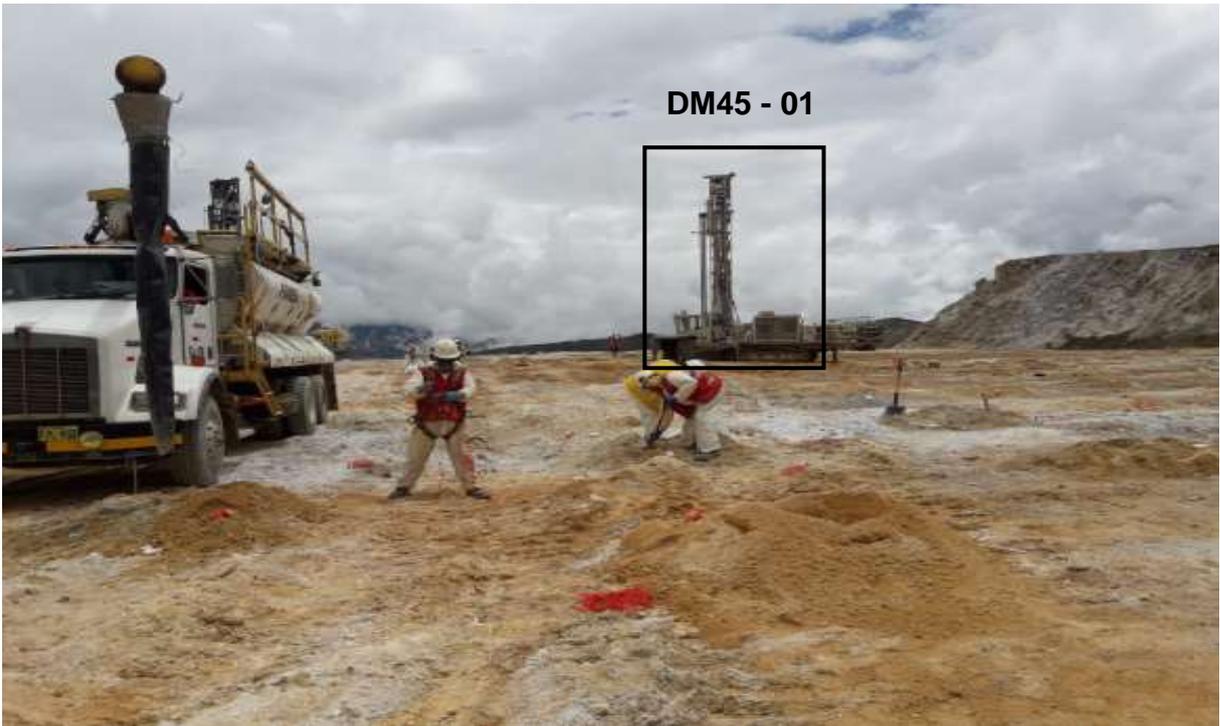


Figura 46. DM45 - 01 perforando en la arenisca cuarzosa de alta Silificación.



Figura 47. Vista panorámica del Tajo Diana en La Unidad Minera El Toro.

09. Permiso de uso de datos de la U.M El Toro.



El área de Perforación y Voladura de Minera Summa Gold Corporation, antes Minera Los Andes Perú Gold S.A.C, **AUTORIZA** al señor Raúl Augusto Villar Zamora, identificado con DNI N° 73189067, domiciliado en Jr. Amancaes #428, de la ciudad de Cajamarca, a **UTILIZAR** los datos del área de Perforación y Voladura, con fines de realizar su tesis profesional con título "OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PERFORACIÓN UTILIZANDO LOS MARTILLOS Y BROCAS ROCK 66 DE NEUMAN EN MINERA LOS ANDES PERÚ GOLD S.A.C - TAJO DIANA"

Huamachuco, septiembre del 2020

Richard Sotomayor
ING. DE MINAS
CIP. 102036

RICHARD SOTOMAYOR OBLITAS

JEFE DE PERFORACIÓN Y VOLADUA DE MINERA SUMMA GOLD S.A.C