

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN LA PERFORACIÓN
MEDIANTE UN ESTUDIO COMPARATIVO DE BROCAS
TRICÓNICAS EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA -
SOUTHERN PERÚ COOPER CORPORATION 2018**

Tesis presentada por el Bachiller:

Montoya Villalta, Franco Alexis

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Asesora:

Ing. López Casaperalta, Patricia

Arequipa – Perú

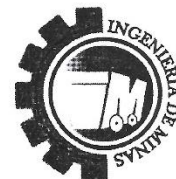
2019

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

3



INFORME DICTAMINATORIO
DE BORRADOR DE TESIS



VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

Optimización de Procesos en la Perforación
Mediante un Estudio Comparativo de Brocas
Tricónicas en la Unidad Minera Toguapala - Southern
Perú Cooper Corporation

PRESENTADO POR (EL) (LOS) BACHILLER (ES):

Franco Alexis Montoya Villalta

NUESTRO DICTAMEN ES:

Favorable sin Observaciones

OBSERVACIONES:

Arequipa, 25 de junio del 2019

[Signature]

JURADO DICTAMINADOR
Nombre: Patricia López
Casaperalta
Código: 2872

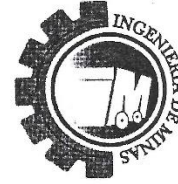
[Signature]

JURADO DICTAMINADOR
Nombre: Wilbert Zavallas
Gonzales
Código: 1840

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**FORMATO DE OBSERVACIONES
DE EJEMPLAR FINAL**



VISTO

EL EJEMPLAR FINAL DE TESIS/TRABAJO INFORME, TITULADO:
OPTIMIZACION DE PROCESOS EN LA PERFORACION
MEDIANTE UN ESTUDIO COMPARATIVO DE BROCAS
TRICONICAL EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPATA
SOUTHERN PERU COOPER CORPORATION 2018
PRESENTADO POR EL TITULADO:
MONTOYA VILLALTA FRANCO ALEXIS

TIENE LAS SIGUIENTES OBSERVACIONES:

CAP. y pág.	
①	CORREGIR TERMINOS DE PLAN ESTRATEGICO A PLAN OPERATIVO - ELABORAR EL PLAN OPERATIVO
②	DEFINIR EL A PONTE DEL TRABAJO DE INVESTIGACION
③	CORREGIR Y EVALUAR ESTADISTICAMENTE EL ANALISIS DE RESULTADOS
④	INCLUIR LA VELOCIDAD MEDIA DE PERFORACION EN EL ANALISIS DE COSTOS

Firmas del Jurado Evaluador:

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

Levantadas las observaciones formuladas anteriormente, se autoriza la impresión y empastado del ejemplar final.

Arequipa, 24 de julio del 2019

Conformidad al levantamiento de observaciones:

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, gracias por guiarme y ayudarme a ser íntegro con los valores y virtudes que hoy me caracterizan como persona.

A mi Padre José Adán Montoya Carnero por motivarme día a día, por ser mi ejemplo a seguir tanto profesional como personalmente.

A mi madre Roxana Villalta Flores por ser mi fuerza e inculcarme constancia y tenacidad en todo momento.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme las oportunidades y bendiciones siempre.

A mi institución la Universidad Católica de Santa María, por brindarme los conocimientos y valores profesionales en todo momento.

A mis padres, a toda mi familia y amigos, por la confianza y el cariño inmenso que tienen hacia mí.

A mi jefe y amigo, Ing. Johnny Pantigozo, por ofrecerme su apoyo, amistad y comprensión, por aconsejarme en todo momento.

A mi asesora de tesis, Ingeniera Patricia López, por apoyarme y aconsejarme en el transcurso de mi carrera profesional y la realización de esta tesis.

A mi compañera y novia, Stefanny Bejarano por ser parte de éste trayecto en mi vida, por apoyarme y darme fuerzas siempre.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I. FENÓMENO DE ESTUDIO	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. SÍNTOMAS	2
1.4. CAUSAS	3
1.5. PRONÓSTICO.....	3
1.6. ALTERNATIVAS	4
1.7. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.8. OBJETIVOS.....	5
1.8.1. Objetivo general	5
1.8.2. Objetivos específicos.....	5
1.9. HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO II. BASES TEÓRICAS	7
2.1. MODELO TEÓRICO	7
2.1.1. Antecedentes de la perforación rotativa	7
2.1.2. Perforación rotatoria (Método) (Rotary Drilling).....	7
2.1.3. Planta de fuerza motriz (Motive power plant)	7
2.1.4. Sistema de izaje (Lifting system)	8
2.1.5. Sistema rotatorio (Rotating system)	9
2.1.6. Sarta de perforación (Drillstring).....	10
2.1.7. El sistema de circulación del fluido de perforación (Circulation system of the drilling fluid)	10
2.2. PERFORACIÓN ROTATIVA CON TRICÓNOS	11
2.2.1. Mecanismo de rotación	15
2.2.2. Sistema de empuje y elevación	16
2.2.3. Barras de perforación	19
2.2.4. Estabilizador o adaptador de tricono	20
2.2.5. Sistema de barrido	22
2.3. HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN	22

2.4.	CRITERIOS DE DISEÑO (Ortiz, 2006)	25
2.4.1.	Geometría de los conos	25
2.4.2.	Excentricidad.....	25
2.4.3.	Tamaño y disposición de los dientes e insertos (Ortiz, 2006)	26
2.5.	SELECCIÓN DEL TIPO DE TRICONO.....	26
2.6.	VARIABLES DE OPERACIÓN.....	27
2.6.1.	Velocidad de rotación	28
2.6.2.	Velocidad de penetración	29
2.6.3.	Fuerza de empuje y diámetro de perforación	31
2.6.4.	Velocidad y caudal del aire de barrido.....	33
2.7.	SELECCIÓN DE TOBERAS	34
2.8.	DESGASTE DEL TRICONO	35
2.9.	HILOS DE ACOPLAMIENTO	35
2.9.1.	Hilos beco.....	35
2.9.2.	Hilos API.....	37
2.10.	PARÁMETROS DE PERFORACION INDEPENDIENTES DE LA OPERACIÓN.....	38
2.10.1.	Elasticidad	38
2.10.2.	Plasticidad	39
2.10.3.	Abrasividad.....	40
2.11.	TIPOS DE TRICONO	41
2.11.1.	Triconos para formaciones blandas.....	41
2.11.2.	Triconos para formaciones medianas.....	41
2.11.3.	Triconos para formaciones duras	42
2.12.	CARBURO DE TUNGSTENO	43
2.12.1.	Proceso de Fabricación.....	44
2.12.2.	Propiedades Físicas	44
2.13.	TOTAL DRILLING COST (COSTO TOTAL DE PERFORACIÓN) ...	45
2.13.1.	Información del costo en tiempo real:.....	45
2.13.2.	Información del costo de cada acero de perforación:	45
2.14.	VARIABLES.....	47
2.14.1.	Variables dependientes, independientes e indicadores.....	47
2.15.	GRAFICO DEL MODELO.....	48

CAPÍTULO III. MATERIAL DE ESTUDIO.....	49
3.1. EMPRESA MINERA: SOUTHERN COPPER CORPORATION.....	49
3.1.1. Operaciones de la southern Copper Corporation.....	49
3.1.2. Operaciones en Perú.....	50
3.1.3. Unidad Minera: Toquepala	51
3.1.4. Ubicación y Acceso	52
3.1.5. Ubicación Política. (Huisacayna et al., 2013).	52
3.1.6. Ubicación Geográfica: (Huisacayna et al., 2013).	53
3.1.7. Geología Regional y Local	54
3.1.8. Geología.....	55
3.1.9. Litología de Depósitos.....	56
3.1.10. Mineralogía.....	59
3.1.11. Mineralogía de los Depósitos	60
3.1.12. Estructuras	62
3.1.13. La alteración según (Huisacayna et al., 2013):	63
3.1.14. Fases Mineras.....	65
3.1.15. Flujograma de Operaciones Mina.....	67
3.1.16. APUNTES. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).	67
3.1.17. Parámetros de diseño	69
3.2. EMPRESAS DE ACEROS DE PERFORACIÓN (Mincon, Ryder y Varel).....	69
3.2.1. Mincon.....	69
3.2.2. Ryder.....	72
3.2.3. Varel International	73
3.3. VARIABLES GEOMECÁNICAS QUE AFECTAN A LA PERFORACIÓN	75
3.3.1. La densidad.....	75
3.3.2. Las resistencias estáticas.....	76
3.3.3. Tenacidad.....	76
3.3.4. Resiliencia	77
3.3.5. Rigidez	79
3.3.6. Las resistencias dinámicas.....	80
3.3.7. La porosidad.....	81
3.3.8. Dureza y penetración	81

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	83
4.1. TIPO DE INVESTIGACION.....	83
4.2. POBLACION/MUESTRA.....	83
4.2.1. Perforadoras.....	83
4.2.2. Triconos.....	84
4.3. FUENTES Y TECNICAS PARA RECOLECCION DE INFORMACION.....	84
4.3.1. Técnicas	84
4.3.2. Costos de perforación en minería a Cielo Abierto	97
4.3.3. Procedimientos.....	100
4.3.4. Procesamiento de la información recolectada	106
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	107
5.1. ANALISIS DE RESULTADOS.....	107
5.1.1. T Student como técnica estadística para determinar la mejor opción de triconos usando: rendimiento y la velocidad de penetración (Rop) que son las variables más determinantes a la hora de seleccionar un tricono.	107
5.1.2. Comparación de rendimientos óptimos de brocas según las diferentes marcas Mincon, Varel y Ryder.	115
5.1.3. Comparación entre rango de velocidad de penetración a la roca según marcas Mincon, Ryder y Varel.	117
5.1.4. Comparación entre PullDown según marcas Mincon, Ryder y Varel.	119
5.1.5. Comparación entre RPM (rotación) según marcas Mincon, Ryder y Varel.	121
5.1.6. Comparación entre presión de aire según marcas Mincon, Ryder y Varel.	123
5.1.7. Comparación entre TDC según marcas Mincon, Ryder y Varel.	125
5.2. Comparación de TDC, ahorro mensual y anual.	127
5.3. Optimización del costo total de perforación de brocas según litología.	128
5.3.1. Cuadro Resumen para brocas de 11"	128
5.3.2. Cuadro Resumen para brocas de 12 ¼.....	128
5.4. Velocidad media e ideal de perforación traducida en costos	131
5.5. Flujo de caja económico	133
5.5.1. Costos Fijos.....	133
5.5.2. Costos Variables	134

5.6. Plan operativo para la optimización de los procesos en perforación:	136
5.7. Aporte del trabajo de investigación	137
CONCLUSIONES	138
RECOMENDACIONES.....	139
LIMITACIONES	139
CRONOGRAMA	140
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS.....	143



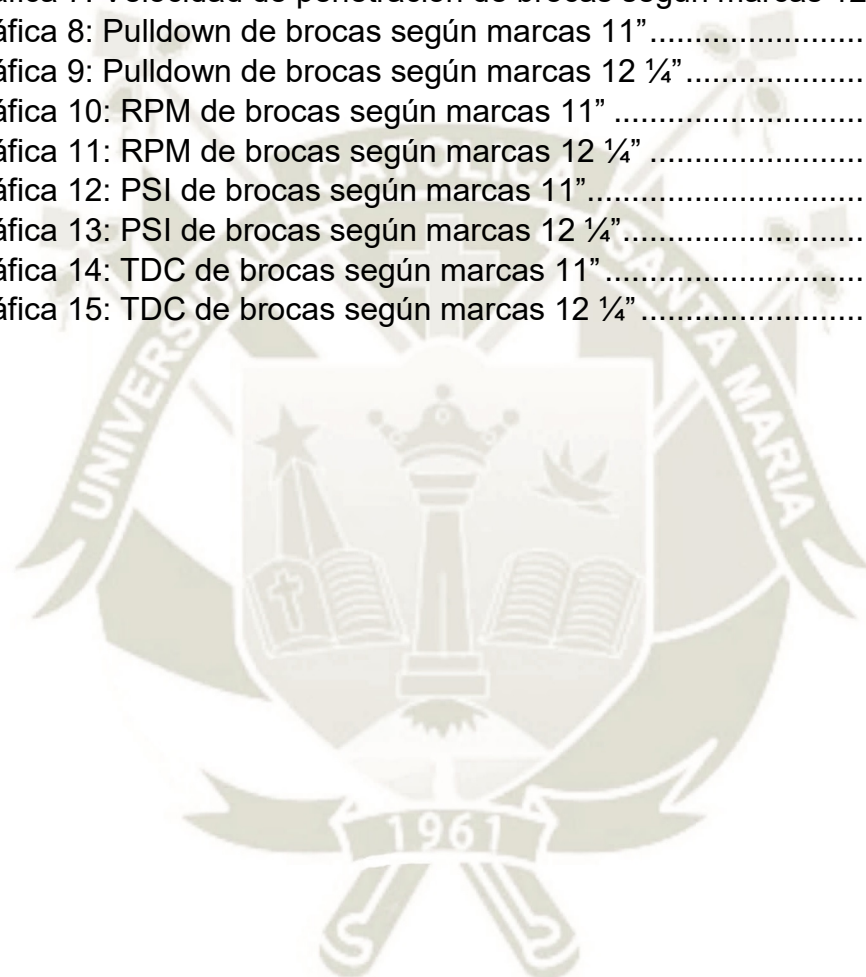
INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Triconos con dientes	26
Tabla 2: Triconos con insertos	27
Tabla 3: Clasificación de rocas según dureza.....	28
Tabla 4: Clasificación de rocas según la velocidad de rotación	28
Tabla 5: Velocidades de rotación por tipo de roca	29
Tabla 6: Se dan los valores límites para triconos de diferentes diámetros.	31
Tabla 7: Fuerza de empuje sobre el macizo	32
Tabla 8: Velocidades de aire recomendadas según el tipo de roca	34
Tabla 9: Variables dependientes, independientes e indicadores	47
Tabla 10: Módulo de resiliencia de algunas rocas típicas	78
Tabla 11: Comparación de algunas propiedades dinámicas y estáticas de algunos tipos de rocas, según Coates.	80
Tabla 12: Clasificación de la porosidad en función de su tamaño.....	81
Tabla 13: Costo de Brocas Mincon de 11 y de 12"	99
Tabla 14: Costo de Brocas Varel de 11 y de 12 ¼".....	99
Tabla 15: Costo de Brocas Ryder de 11 y de 12 ¼"	100
Tabla 16: Resumen de parámetros de brocas Mincon de 11"	101
Tabla 17: Resumen de parámetros de brocas Mincon de 12 1/4".....	102
Tabla 18: Resumen de parámetros de brocas Ryder de 11"	103
Tabla 19: Resumen de parámetros de brocas Ryder de 12 1/4"	104
Tabla 20: Resumen de parámetros de brocas Varel de 11".....	105
Tabla 21: Resumen de parámetros de brocas Varel de 12 1/4".....	106
Tabla 22: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Ryder de 11" ..	107
Tabla 23: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Varel de 11" ...	107
Tabla 24: Análisis estadístico de rendimiento entre Ryder y Varel de 11"	108
Tabla 25: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Ryder de 11".....	108
Tabla 26: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Varel de 11".....	109
Tabla 27: Análisis estadístico de velocidad entre Ryder y Varel de 11".....	109
Tabla 28: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Mincon de 11"....	110
Tabla 29: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Ryder de 11".....	110
Tabla 30: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Varel de 11".....	110
Tabla 31: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Ryder de 12 1/4"	111
Tabla 32: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Varel de 12 1/4"	111
Tabla 33: Análisis estadístico de rendimiento entre Ryder y Varel de 12 1/4" 111	
Tabla 34: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Ryder de 12 1/4" 112	
Tabla 35: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Varel de 12 1/4" . 112	
Tabla 36: Análisis estadístico de velocidad entre Ryder y Varel de 12 1/4" ... 113	
Tabla 37: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Mincon de 12 1/4"	113
Tabla 38: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Ryder de 12 1/4" 114	
Tabla 39: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Varel de 12 1/4" . 114	

Tabla 40: Resumen de los rendimientos en la perforación de 11	114
Tabla 41: Resumen de los rendimientos en la perforación de 12 1/4"	114
Tabla 42: Resumen de rendimientos de la vida útil promedio de las brocas de 11" según las marcas.....	115
Tabla 43: Resumen de rendimientos de la vida útil promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.....	116
Tabla 44: Resumen de Velocidad de penetración promedio de las brocas de 11" según las marcas.....	117
Tabla 45: Resumen de Velocidad de penetración promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.....	118
Tabla 46: Resumen de Pulldown promedio de las brocas de 11" según las marcas.....	119
Tabla 47: Resumen de Pulldown promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.....	120
Tabla 48: Resumen de RPM promedio de las brocas de 11" según las marcas.....	121
Tabla 49: Resumen de RPM promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.....	122
Tabla 50: Resumen de PSI promedio de las brocas de 11" según las marcas.....	123
Tabla 51: Resumen de PSI promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.....	124
Tabla 52: Ítems para calcular el TDC 11".....	125
Tabla 53: Resumen de TDC de las brocas de 11" según las marcas.....	125
Tabla 54: Ítems para calcular el TDC 12 1/4".....	126
Tabla 55: Resumen de TDC de las brocas de 12 1/4" según las marcas.....	126
Tabla 56: Resumen de brocas de 11" de parámetros de perforación para optimizar el costo total de perforación.....	128
Tabla 57: Resumen de brocas de 12 1/4" de parámetros de perforación para optimizar el costo total de perforación.....	128
Tabla 58: Comparación de los valores del antes y después de la velocidad de penetración y del TDC para brocas de 11".....	129
Tabla 59: Comparación de los valores del antes y después de la velocidad de penetración y del TDC para brocas de 12 1/4".....	130
Tabla 60: Velocidad de penetración ideal para las marcas.....	131
Tabla 62: TDC con la velocidad de penetración media.....	132
Tabla 63: Diferencia entre el costo mensual y anual de velocidades.....	132
Tabla 64: Costos fijos.....	133
Tabla 65: Costos variables.....	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: TDC en la mina Toquepala desde el año 2012 hasta el año 2018	2
Gráfica 2: Perforación por rotación – Grafico del modelo	48
Gráfica 3: Mineralogía de Toquepala	60
Gráfica 4: Rendimientos de brocas según marcas 11”	115
Gráfica 5: Rendimientos de brocas según marcas 12 ¼”	116
Gráfica 6: Velocidad de penetración de brocas según marcas 11”	117
Gráfica 7: Velocidad de penetración de brocas según marcas 12 ¼”	118
Gráfica 8: Pulldown de brocas según marcas 11”	119
Gráfica 9: Pulldown de brocas según marcas 12 ¼”	120
Gráfica 10: RPM de brocas según marcas 11”	121
Gráfica 11: RPM de brocas según marcas 12 ¼”	122
Gráfica 12: PSI de brocas según marcas 11”	123
Gráfica 13: PSI de brocas según marcas 12 ¼”	124
Gráfica 14: TDC de brocas según marcas 11”	125
Gráfica 15: TDC de brocas según marcas 12 ¼”	126



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Planta de fuerza Motriz	8
Ilustración 2: Sistema de Izaje.....	8
Ilustración 3: Sistema Rotatorio.....	9
Ilustración 4: Principio de fuerzas de rotación y empuje en la perforación.....	11
Ilustración 5: Descripción general de equipo	13
Ilustración 6: Componentes principales de una perforadora rotativa con accionamiento eléctrico	14
Ilustración 7: Sistema de rotación: (a) Directo, (b) Mesa de rotación y falsa barra Kelly	15
Ilustración 8: Caja de engranaje rotacional perforadora eléctrica.	16
Ilustración 9: Sistemas de elevación y empuje.	17
Ilustración 10: Maquinaria de rotación/empuje perforadora eléctrica.	17
Ilustración 11: Sistema de empuje por cilindro hidráulico (ingersoll-Rand)	18
Ilustración 12: Estabilizador de rodillos.....	21
Ilustración 13: Trépanos triturantes o triconos	24
Ilustración 14: Geometría de los conos	25
Ilustración 15: Excentricidad.....	25
Ilustración 16: Efecto de la velocidad de rotación sobre la velocidad de penetración ..	29
Ilustración 17: Efecto del empuje sobre la velocidad de penetración.....	30
Ilustración 18: Rotura de la roca, empuje excesivo.....	31
Ilustración 19: Barrido y extracción de detritus	33
Ilustración 20: Desgaste del tricono.....	35
Ilustración 21: Esquemas de roscas con hilos BECO	36
Ilustración 22: Esquema de hilos API	37
Ilustración 23: Tricono de dientes para formación blanda	41
Ilustración 24: Tricono de dientes para formación media.....	42
Ilustración 25: Tricono para formaciones duras	43
Ilustración 26: Broca tricónica 12 ¼" AP7	44
Ilustración 27: Formula del TDC	46
Ilustración 28: Operaciones de la Southern Copper Corporation en el mundo.....	49
Ilustración 29: Operaciones de la Southern Copper Corporation en el Perú.....	51
Ilustración 30: Mina Toquepala.....	51
Ilustración 31: Ubicación política del distrito de Ilabaya	52
Ilustración 32: Ubicación de la mina toquepala.....	53
Ilustración 33: Imagen satelital de la mina Toquepala	53
Ilustración 34: Geología regional de Tacna	54
Ilustración 35: Geología de la mina Toquepala.....	55
Ilustración 36: Mineralización en Toquepala.....	62
Ilustración 37: El Stockwork	63
Ilustración 38: Diorita.....	64
Ilustración 39: Pirita.....	64
Ilustración 40: Fases mineras Mina Toquepala	65
Ilustración 41: Fases mineras y sus respectivas leyes	66
Ilustración 42: Flujograma de Operaciones Mina.....	67
Ilustración 43: Zonas de diseño definidas según los criterios actualizados de diseño interrampa propuestos por el GRT (Geotechnical Review Team) año 2017.	69

Ilustración 44: Broca Mincon de 11" en plena operación - tajo Toquepala.....	71
Ilustración 45: Catalogo de brocas Mincon 12 ¼".....	71
Ilustración 46: Triconos Ryder para minería, formaciones blandas y medias.....	72
Ilustración 47: Tricono Ryder para minería, formaciones duras.....	73
Ilustración 48: Tricono Varel para minería, 11 y 12 ¼"	74
Ilustración 49: Diseño de mallas de perforación en el Minesight.....	88



RESUMEN

Esta tesis se titula “**Optimización de procesos en la perforación mediante un estudio comparativo de brocas tricónicas en la unidad minera Toquepala – Southern Perú Cooper Corporation 2018**” y tiene como objetivo exponer la factibilidad de la reducción de los costos del ciclo de minado, aplicando para ello estándares mejorados de trabajo y control de las principales operaciones unitarias de minado que son la Perforación y Voladura.

El trabajo en si consta de 6 capítulos:

El Primer Capítulo, Comprende: Justificación, planteamiento del problema, síntomas, causas, pronóstico, alternativas, formulación del problema, objetivos y la hipótesis.

El Segundo Capítulo, abarca el modelo teórico en el cual está basada la tesis, perforación rotativa, triconos y el Total Drilling cost (Costo Total de perforación), además de las variables y el grafico del modelo.

El Tercer Capítulo, comprende el material de estudio, en este caso la empresa minera Southern Perú Cooper Corporation – Toquepala y las diferentes empresas que fabrican y proveen los aceros de perforación (triconos), siendo estas: Mincon, Ryder y Varel.

El Cuarto Capítulo, contiene la metodología para poder desarrollar esta tesis: tipo de investigación, población/muestras, técnicas y fuentes para la recolección de la información, el procesamiento y procedimiento del mismo.

El Quinto Capítulo, es la comparación de parámetros de perforación entre las tres marcas que se desarrollan a lo largo de la tesis, de acuerdo al tipo de litología en el yacimiento Toquepala.

Resultados: A través de la optimización del costo total de perforación de brocas, se logró una reducción del Costo Unitario de perforación en 1.01 US\$/M para brocas de 11” y una reducción en 0.57 US\$/M para brocas de 12 ¼”, es decir una reducción del 12.85% para brocas de 11” y una reducción del 7.13% para

brocas de 12 ¼, en comparación con lo que se venía obteniendo. Representando esto en una reducción del Costos de perforación en brocas de 11” de:

1, 730,736.00 US\$/año, y para brocas de 12 1/4“de: 976,752.00 US\$/año.

Este ahorro considerable, justifica ampliamente la implementación de un test de brocas tricónicas en la Mina Toquepala, el cual se sintetiza en un sistema de control y evaluación permanente de los aceros de perforación, en este caso de las brocas tricónicas que pueden ser brindadas por diferentes empresas, y al hacer una comparación minuciosa en sus parámetros poder seleccionar la mejor marca para la perforación que es la base de toda operación minera.

Palabras claves: Perforación, pull down, rotación.



ABSTRACT

This thesis is entitled "**Optimization of drilling processes through a comparative study of triconic drills in the Toquepala mining unit - Southern Perú Cooper Corporation 2018**" and aims to expose the feasibility of reducing the costs of the mining cycle, applying this improved standards of work and control of the main unitary operations of mining that are drilling and blasting.

The work itself consists of six chapters:

The First Chapter, Understands: Justification, problem statement, symptoms, causes, forecast, alternatives, formulation of the problem, objectives and hypothesis.

The Second Chapter covers the theoretical model on which the thesis, rotary drilling, tricone and Total Drilling cost are based, in addition to the variables and the model's chart.

The Third Chapter includes the study material, in this case the mining company Southern Perú Cooper Corporation - Toquepala and the different companies that manufacture and supply the drilling steels (tricone), these being: Mincon, Ryder and Varel.

The Fourth Chapter contains the methodology to develop this thesis: type of research, population / samples, techniques and sources for the collection of information, processing and procedure thereof.

The Fifth Chapter is the comparison of parameters of perforation between the three marks that are developed along the thesis, according to the type of lithology in the Toquepala field.

Results: Through the optimization of the total cost of drilling of drills, a reduction of the Unit Cost of drilling was achieved in 1.01 US \$ / M for 11 "drills and a reduction in 0.62 US \$ / M for 12 1/4" drills, that is to say a reduction of 12.85% for 11 "drills and a 7.13% reduction for 12 ¼ drills, compared to what had been obtained. Representing this in a reduction of drilling costs in drills of 11 "from: 1,730,736.00 US \$ / year, and for drills of 12 1/4" from: 976,752.00 US \$ / year.

This considerable saving, amply justifies the implementation of a triconic drill test in the Toquepala Mine, which is synthesized in a system of permanent control and evaluation of the drilling steels, in this case of the triconicas drills that can be provided by different companies, and by making a meticulous comparison in their parameters to be able to select the best brand for the drilling that is the basis of any mining operation.

Keywords: Drilling, pull down, rotation



INTRODUCCIÓN

Durante la perforación, las brocas funcionan bajo un principio esencial: vencer los esfuerzos de corte y de compresión de la roca. Para cumplir este propósito los dientes de la broca, en el caso de la tricónicas, deben incrustarse en la formación rocosa y posteriormente cortarla cuando se desplaza dentro de la misma. Por esta razón se distinguen tres marcas fundamentales de brocas tricónicas utilizadas en la mina Toquepala: VAREL, RYDER y MINCON. El trabajo de la broca dependerá del tipo y características de la roca que se desea cortar, principalmente en función de la dureza y los parámetros de perforación aplicada en el proceso de perforación como son, presión de aire (Pull Down) y las revoluciones por minuto (RPM). Que influirán directamente con el rendimiento y la vida útil de la broca tricónicas. Con una descripción de los parámetros de perforación en cada tipo de macizo rocoso en los tajos de la mina Toquepala, se logró reconocer la influencia directa de cada parámetro de perforación en el rendimiento y la vida útil de las brocas tricónicas, uno de los parámetros más influyentes es la baja presión de aire para el barrido generando una remolienda casi permanente y la alta presión vertical generando un daño mayor a los insertos de la broca tricónicas.

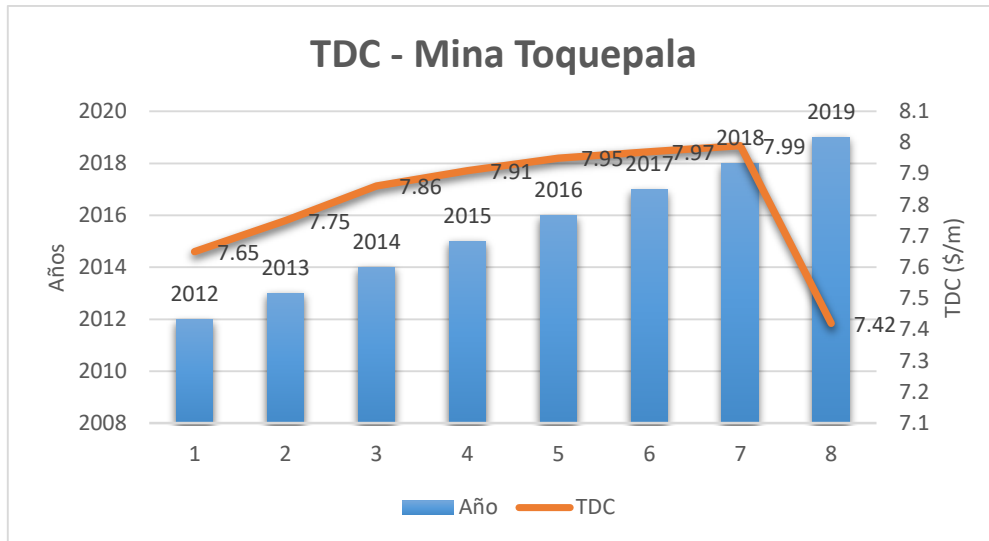
CAPÍTULO I. FENÓMENO DE ESTUDIO

1.1. JUSTIFICACIÓN

En la explotación de minerales metálicos y no metálicos, es fundamental la actividad de perforación, donde se usan aceros para taladrar las rocas heterogéneas de la naturaleza de los yacimientos y frente a la competencia diversas marcas de empresas fabricantes de brocas y cuyos rendimientos también son diferentes. Los aceros de perforación constan de una aleación de diversos metales (carbono, manganeso, níquel, molibdeno, cromo, silicio, wolframio, vanadio y cobalto), siendo estos aceros un costo constante para la operación en minería, ya que tienen una vida útil determinada por las características de la mina en la que son utilizadas, en este caso abordamos los costos que implican estos aceros en la mina Toquepala – SPCC, los cuales no han sido los más óptimos en los últimos años, en tal sentido es justificable, seguir esta tesis, en vista que se va a abordar los rendimientos de aceros de perforación, consistentes en las brocas en minas de tipo pórfido a tajo abierto y la reducción del costo que implica una buena selección de las brocas tricónicas cuyo aporte es tecnológico y metodológico. Si se observa, la fórmula para calcular el costo total de perforación, allí, en mayor proporcionalidad es el costo de broca y su respectivo consumo, por lo que es necesario seleccionar de una forma adecuada.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al bajo rendimiento, la corta vida útil y los costos elevados en aceros de perforación, específicamente en brocas triconicas, se plantea realizar un estudio comparativo a partir de un test de pruebas que permita optimizar los procesos en la perforación.



Gráfica 1: TDC en la mina Toquepala desde el año 2012 hasta el año 2018

Fuente: Elaboración propia

1.3. SÍNTOMAS

- Elevado costo total de perforación:

Los costos que se producen al no contar con una broca eficiente para cada tipo de terreno, son muy elevados, ya que al no tener conocimiento de una eficiente utilización de estos triconos produce daños ya sea en los conos, insertos, faldones o narices del cono, e inclusive estos aceros pueden taparse con material que se produce por la remolienda al no utilizar un nozzle adecuado.

- Vida útil no óptima:

Los parámetros utilizados para los triconos siendo estos: Pull Down, Velocidad de penetración, rotación y presión de aire, dependen del terreno y también del operador de turno ya que no todos los operadores trabajan con los mismos parámetros. Esto es uno de los factores por los que la vida de una broca varía, también es preciso nombrar el material con el que está hecho el tricono, cuan reforzado está así como también las capacitaciones que se debe de dar al personal para un trabajo efectivo.

- Tiempo neto de trabajo no óptimo:

Los triconos al no tener un tiempo de vida determinado, y siendo este a la vez menor del que un tricono normal debe durar en un yacimiento tipo pórfido como es Toquepala, el cambio constante de tricono produce una demora excesiva en el trabajo diario de perforación, ya que el operador tiene que revisar constantemente el estado del tricono y si este ya no rinde, tendrá que ser cambiado.

1.4. CAUSAS

- La empresa no cuenta con una plan de capacitación semanal, mensual o anual en cuanto aceros de perforación, para este caso el de brocas tónicas, uso y cuidado de las mismas.
- No se realizan pruebas con diferentes marcas de aceros para poder comparar los rendimientos y con esto seleccionar un tricono efectivo que optimice tiempos y reduzca costos.
- No se tiene un plan operativo de selección de brocas
- No se realiza un análisis minucioso de rocas, en cuando a dureza y alteraciones de las mismas, ya que estos parámetros influyen directamente en la vida útil de la broca.
- No existe un Feedback adecuado entre las áreas de mantenimiento, operaciones mina, ingeniería y perforación y voladura.

1.5. PRONÓSTICO

El no contar con un plan estratégico de selección de brocas para la perforación, desencadenaría una serie de problemas que implicarían un elevado costo para la mina y muchas variantes en cuanto a la productividad, tal es el caso de:

- Aumento en los costos de perforación, por el hecho de que las brocas no llegan a tener una vida útil óptima y se tienen que comprar más aceros.
- Tener Brocas en stand by, por el motivo de desconocer si estas han fallado o no y simplemente están en la plataforma de la perforadora sin ser utilizadas.
- Baja productividad por contratiempos producidos en cuanto al cambio constante de triconos, además de que no es una tarea que los operadores les agrade hacer con frecuencia.

1.6. ALTERNATIVAS

- Realizar un plan de capacitación mensual, semanal y anual de aceros de perforación en el cual se toquen temas del debido uso y cuidado de los triconos.
- Para la siguiente mina que es un pórfido de cobre, se necesita realizar una prueba de triconos de diferentes marcas, comparar los rendimientos y costos de cada una de ellas y poder elegir la más conveniente para la empresa.
- De acuerdo a la litología y características del terreno en el que se va a perforar, seleccionar la broca más adecuada, además del tipo de malla, espaciamiento, y parámetros de perforación adecuados como Pulldown y rotación.
- Realizar un análisis litológico por cada nivel y fase de la mina, antes de la perforación y después de la voladura, y con esto conocer a detalle las características geológicas del terreno a perforar.

- Que exista una buena comunicación entre todas las áreas para que todo el personal, en este caso de perforación, sepa sobre que terreno se está trabajando y que parámetros debe utilizar.

1.7. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La aplicación de un estudio comparativo de brocas tricónicas y un adecuado control de aceros de perforación optimizaran los procesos de perforación?

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. Objetivo general

Reducir el costo total de perforación (TDC \$/m) en la mina Toquepala – Southern Perú, a partir de la aplicación de un test de brocas tricónicas.

1.8.2. Objetivos específicos

- Seleccionar la broca de mayor rendimiento y menor TDC (Total Drilling cost) en brocas de 11" y 12 ¼".
- Calcular la reducción en porcentaje del costo total de perforación para brocas de 11" y 12 ¼".
- Calcular el ahorro anual y mensual que se obtendrá del resultado del test de brocas tricónicas.
- Analizar los factores los cuales promueven una optimización constante en los estándares de perforación y el ciclo de minado.

- Demostrar que el test de brocas triconicas es factible para poder analizar, medir y optimizar los parámetros operacionales en la perforación.

1.9. HIPÓTESIS

A medida de que se realice un estudio comparativo de brocas triconicas de diferentes marcas en cuanto a rendimientos, PullDown, rotacion, PSI y velocidad de penetracion, se puede seleccionar la mejor marca, optimizando el proceso de perforacion y reduciendo el costo total de perforación (TDC).



CAPÍTULO II. BASES TEÓRICAS

2.1. MODELO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes de la perforación rotativa

La perforación rotatoria se utilizó por primera vez en 1901, en el campo de Espinadle- top, cerca de Beaumont, Texas, descubierto por el capitán Anthony F. Lucas, pionero de la industria como explorador y sobresaliente ingeniero de minas y de petróleos. (Marmaña et al., s.f)

2.1.2. Perforación rotatoria (Método) (Rotary Drilling)

“Este nuevo método de perforar trajo innovaciones que difieren radicalmente del sistema de perforación a percusión”. (Marmaña et al., s.f)

Según Marmaña Las innovaciones más marcadas fueron:

- La planta de fuerza motriz.
- El sistema de izaje.
- El sistema rotatorio.
- La sarta de perforación.
- El sistema de circulación de fluidos de perforación.

2.1.3. Planta de fuerza motriz (Motive power plant)

La potencia de la planta debe ser suficiente para satisfacer las exigencias del sistema de izaje, del sistema rotatorio y del sistema de circulación del fluido de perforación.



Ilustración 1: Planta de fuerza Motriz

Fuente: <https://www.monografias.com>

La potencia máxima teórica requerida está en función de la mayor profundidad que pueda hacerse con el taladro y de la carga más pesada que represente la sarta de tubos requerida para revestir el hoyo a la mayor profundidad. (Marmaña et al., s.f)

2.1.4. Sistema de izaje (Lifting system)

“Durante cada etapa de la perforación, y para las subsecuentes tareas complementarias de esas etapas para introducir en el hoyo la sarta de tubos que reviste la pared del hoyo, la función del sistema izaje es esencial”. (Marmaña et al., s.f)



Ilustración 2: Sistema de Izaje

Fuente: PowerPoint Slides, perforación rotatoria, Marmaña et al., s.f

Meter en el hoyo, sostener en el hoyo o extraer de él tan pesadas cargas de tubos, requiere de un sistema de izaje robusto, con suficiente potencia, aplicación de velocidades adecuadas, freno eficaz y mandos seguros que garanticen la realización de las operaciones sin riesgos para el personal y el equipo. (Marmaña et al., s.f)

2.1.5. Sistema rotatorio (Rotating system)

“El sistema rotatorio es parte esencial del taladro o equipo de perforación. Por medio de sus componentes se hace el hoyo hasta la profundidad donde se encuentra el yacimiento petrolífero”. (Marmaña et al., s.f)

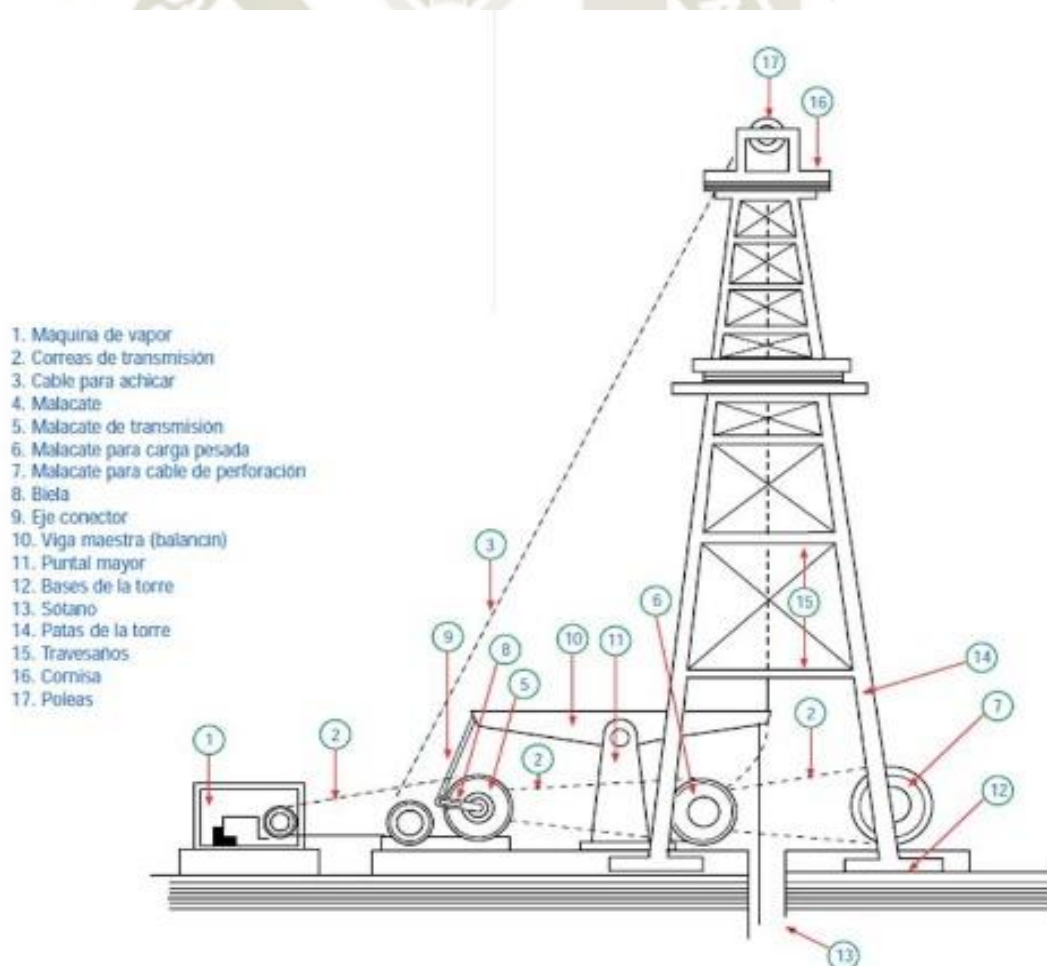


Ilustración 3: Sistema Rotatorio

Fuente: <https://ingenpetroleo.wordpress.com>

En sí, el sistema se compone de la mesa rotatoria o colisa; de la junta o unión giratoria; de la junta Kelly o el Kelly; de la sarta o tubería de perforación, que lleva la sarta lastra barrena, y finalmente la barrena. (Marmaña et al., s.f)

2.1.6. Sarta de perforación (Drillstring)

La sarta de perforación es una columna de tubos de acero, de fabricación y especificaciones especiales, en cuyo extremo inferior va enroscada la sarta de lastra barrena y en el extremo de ésta está enroscada la barrena, pieza también de fabricación y especificaciones especiales, que corta los estratos geológicos para hacer el hoyo que llegará al yacimiento petrolífero. (Marmaña et al., s.f)

2.1.7. El sistema de circulación del fluido de perforación (Circulation system of the drilling fluid)

“El sistema de circulación del fluido de perforación es parte esencial del taladro. Sus dos componentes principales son: el equipo que forma el circuito de circulación y el fluido propiamente”. (Marmaña et al., s.f)

2.2. PERFORACIÓN ROTATIVA CON TRICÓNOS

“El principio utilizado por este sistema consiste en aplicar energía a la roca haciendo rotar una herramienta (trépano) conjuntamente con la acción de una gran fuerza de empuje”. (Ortiz, 2006)

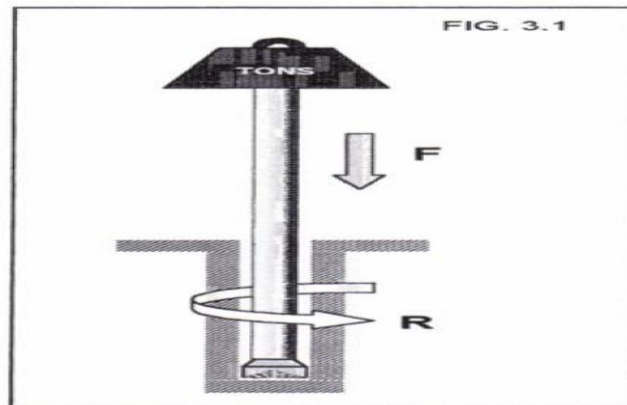


Ilustración 4: Principio de fuerzas de rotación y empuje en la perforación

Fuente: Perforación rotativa con triconos

Según (Ortiz, 2006) en la práctica minera, este sistema de perforación presenta tres variantes según el tipo de herramienta utilizado:

- Rotación con trépano cortante
- Rotación con trépano triturante
- Rotación con herramienta abrasiva

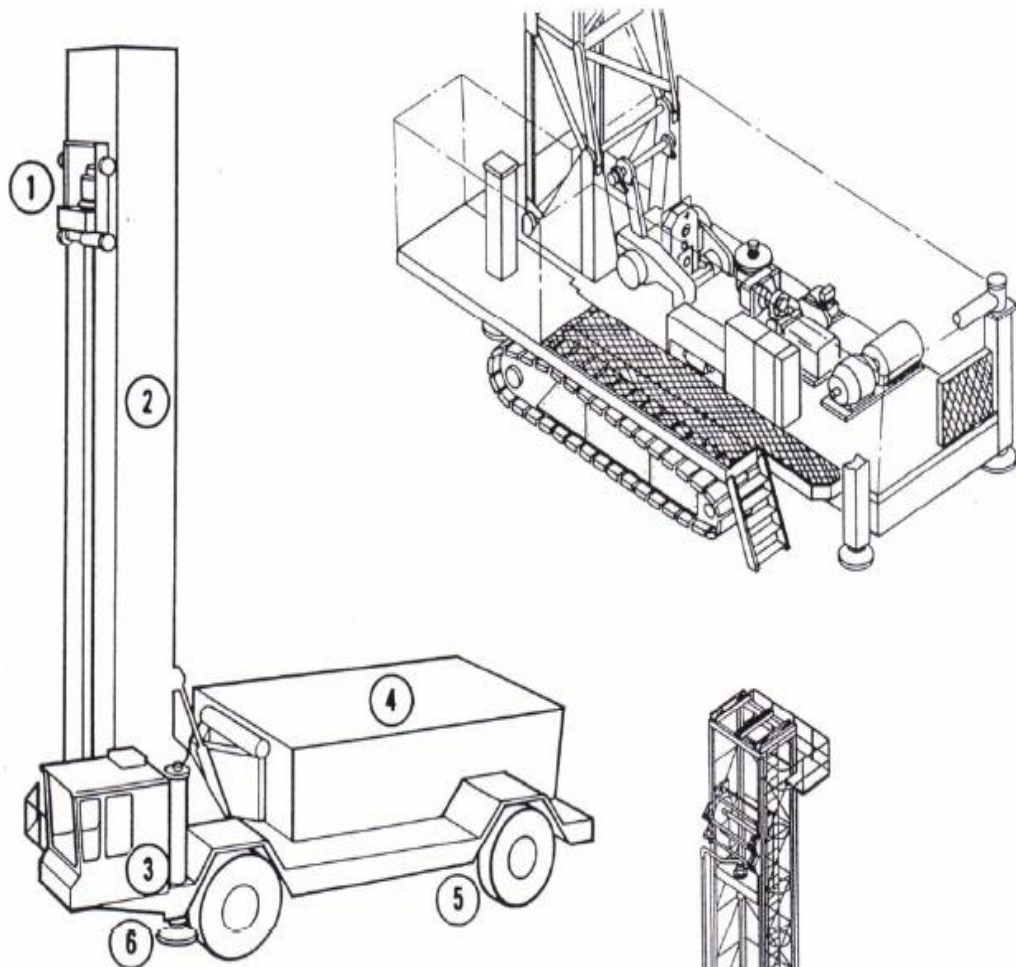
El primero fue usado originalmente en la perforación de pozos petrolíferos, pero limitado solo a formaciones rocosas más bien blandas. En los inicios del siglo XX aparecen los primeros trépanos provistos de rodillos indentados que ruedan sobre el fondo del hoyo, ejerciendo una acción triturante sobre la roca, capaces de perforar formaciones rocosas de dureza mediana. Su diseño evoluciona rápidamente hasta la herramienta conocida con el nombre de tricono. (Ortiz, 2006)

A principios de los años 50 esta tecnología se empieza a aplicar en los primeros equipos rotativos diseñados para realizar perforaciones de tronadura en minas a cielo abierto. Innovaciones posteriores, principalmente en lo que dice relación con el diseño de estos triconos y la

calidad de los aceros utilizados en su fabricación, le dan hoy en día a este sistema una gran versatilidad. Se aplica tanto en rocas blancas como muy dura, sin restricciones en cuanto a la longitud de los tiros. Su única limitación es el diámetro de perforación. Por razones que se explicaran más adelante, este sistema no se aplica en diámetros menores a 150 mm para fines de fragmentación de rocas. (Ortiz, 2006)

La perforación rotativa con una herramienta abrasiva – corona de diamantes o diamantina como se le conoce en la terminología minera, se utiliza exclusivamente para sondajes destinados a la recuperación de testigos de roca con fines de exploración y/o reconocimiento de un cuerpo mineralizado. (Ortiz, 2006)





- 1 Cabezal deslizante y motor de rotación
- 2 Mástil abatible y columna de barras
- 3 Cabina del operador
- 4 Sala de máquinas
 - Unidad de potencia
 - Compresores de aire
 - Bombas
 - Tableros eléctricos
- 5 Chassis
- 6 Patas hidráulicas de nivelación y apoyo

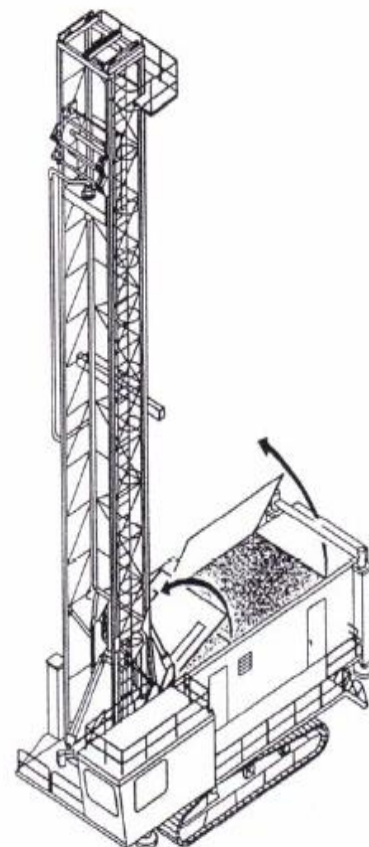


Ilustración 5: Descripción general de equipo

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.2.1. Mecanismo de rotación

Con el fin de hacer girar las barras y transmitir el par (Jimeno, 2003) afirma que: “Las perforadoras llevan un sistema de rotación montado generalmente sobre el bastidor que se desliza a lo largo del mástil de la perforadora”.

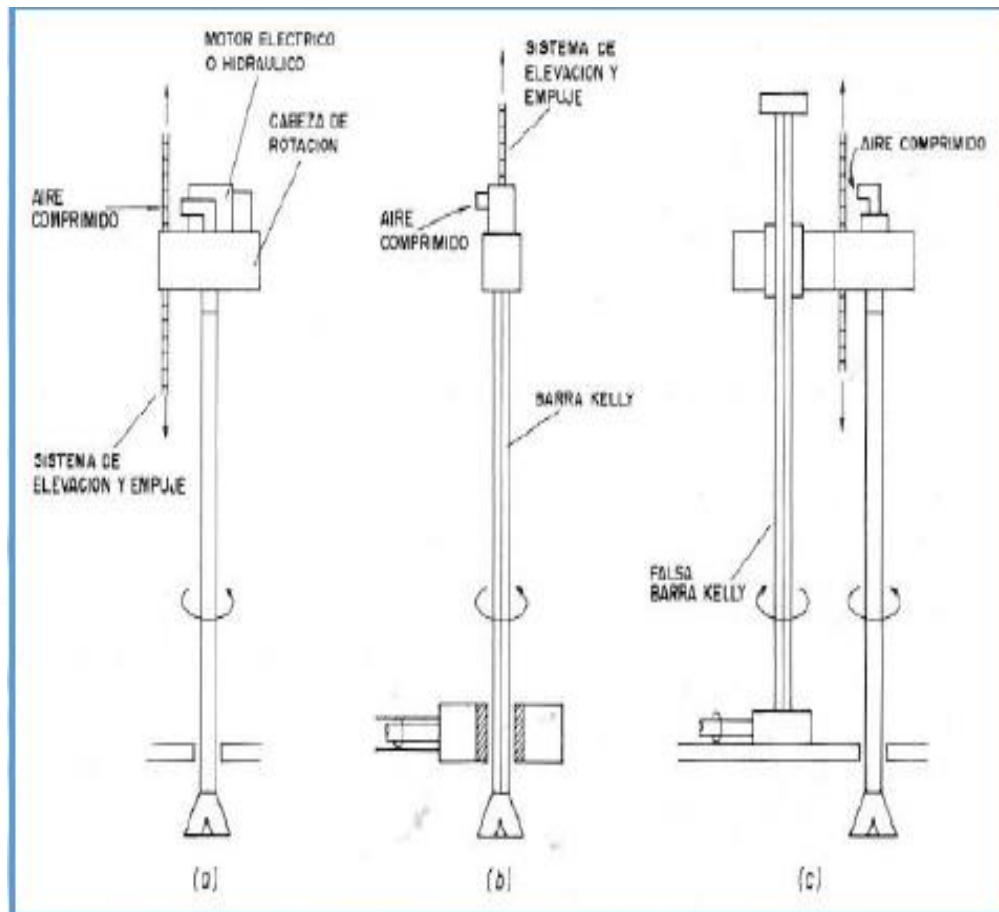


Ilustración 7: Sistema de rotación: (a) Directo, (b) Mesa de rotación y falsa barra Kelly

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

Por lo general el mecanismo de empuje está diseñado para aplicar una fuerza del orden de un 50% del peso de la máquina, y los equipos de mayor tamaño que operan hoy en día alcanzan un peso de hasta 120 toneladas. El sistema, además, permite accionar el izamiento de la columna de barras, a velocidades de elevación del orden de 20 metros por minuto. (Ortiz, 2006)

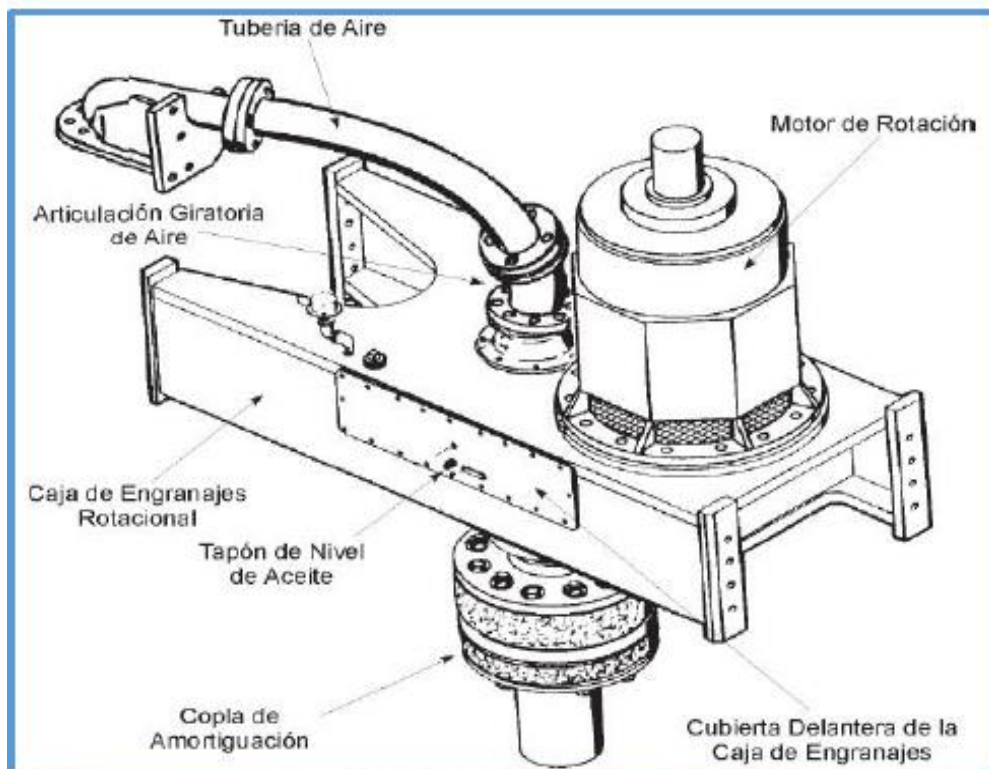


Ilustración 8: Caja de engranaje rotacional perforadora eléctrica.

Fuente: Manual de operación Bucyrus 49R

2.2.2. Sistema de empuje y elevación

Para obtener una buena velocidad de penetración en la roca es preciso un determinado empuje que depende tanto de la resistencia de la roca como del diámetro del barreno que se pretende perforar. Como el peso de las barras no es suficiente para obtener la carga precisa, se hace necesario aplicar fuerzas adicionales que suelen transmitirse casi exclusivamente a través de energía hidráulica. (Jimeno, 2003).

“Existen básicamente cuatro sistemas. Los tres primeros que se representan en la imagen 14 son los conocidos por a) Cremallera y Piñón Directo, b) Cadena Directa y c) Cremallera y Piñón con Cadena”. (Jimeno, 2003).

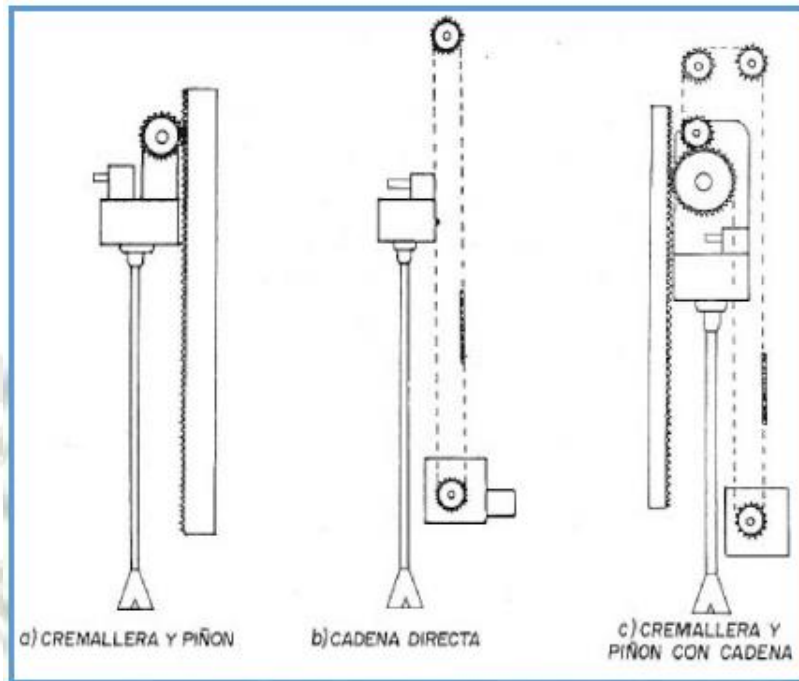


Ilustración 9: Sistemas de elevación y empuje.

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

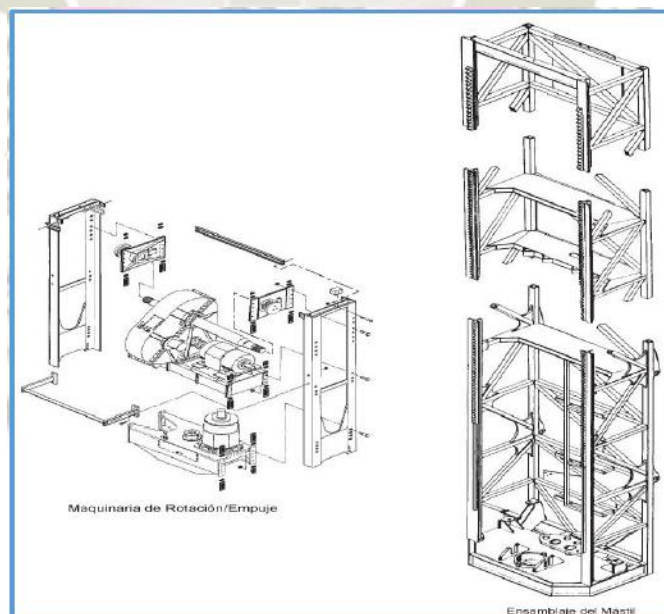


Ilustración 10: Maquinaria de rotación/empuje perforadora eléctrica.

Fuente: Manual de operación Bucyrus 49R

El cuarto sistema Imagen 16, está constituido por uno o dos cilindros accionados hidráulicamente, (Jimeno, 2003) indica que: “Tiene las siguientes ventajas: poco peso, absorbe impactos, indica el nivel de desgaste o fatiga y es fácil de remplazar o ajustar”.

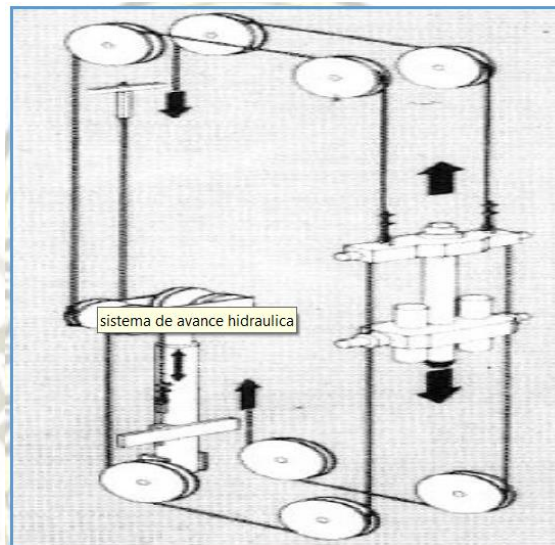


Ilustración 11: Sistema de empuje por cilindro hidráulico (ingersoll-Rand)

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

“Estos mecanismos de empuje permiten, además de suministrar un esfuerzo de empuje perfectamente controlado, izar las barras que constituyen la sarta de perforación”. (Jimeno, 2003)

El peso de todo el conjunto de la maquina actúa como reacción contra el empuje aplicado a la boca, de donde se deduce que el peso de la perforadora debe ser superior y normalmente doble de la carga máxima que se pretende conseguir. (Jimeno, 2003)

“Las velocidades de elevación de la sarta suelen ser de 18 a 21 metros por minuto, no recomendándose valores superiores por problemas de vibraciones”. (Jimeno, 2003).

2.2.3. Barras de perforación

La longitud de las barras depende de la longitud del barreno. Sirven para transmitir el empuje sobre la broca y para canalizar por su interior el aire comprimido necesario para la limpieza del barreno y enfriamiento de los cojinetes. Suelen estar construidas de acero con un espesor de 1" (25.4 mm) y en ocasiones de hasta 1 1/2" (38 mm). Las roscas más usadas en los acoplamientos son del tipo API, BECO, etc. (Umasi, 2013).

Nos dice (Umasi, 2013) que: "A excepción de algún accesorio especial, no hay otro elemento en la columna de perforación (sarta de perforación) que esté sometido a condiciones de trabajo tan extremas y severas como las barras de perforación".

Por tales motivos para la confección de esta vital herramienta de perforación se deben combinar la experiencia de los ingenieros de diseño con la total cooperación de los usuarios de terreno para conseguir el máximo de rendimiento de estos elementos beneficiándose al extender su vida útil. (Umasi, 2013)

Cada barra de perforación tiene una identificación única irrepetible para hacer un seguimiento durante el periodo que dure su vida útil, utilizando esta información el fabricante puede realizar mejoras a su diseño y adaptarlo a las condiciones de terreno. (Umasi, 2013)

Las barras de perforación no obedecen a un estándar de fabricación, este depende como se ha señalado principalmente el terreno donde se usaran, básicamente su diseño consiste en un tubo de unión entre un terminal con rosca macho y un terminal con rosca hembra, razón por la cual la vida útil de las barras se mide por el desgaste que gradualmente va sufriendo la pared de dicho tubo. (Umasi, 2013)

Independientemente de lo anterior, las barras se pueden especificar por el espesor de pared del tubo señalado, cuando las

condiciones de dureza de roca exigen una mayor energía de empuje se necesita que las barras puedan tener una mayor resistencia a las cargas de compresión, por tal razón su espesor de pared debe ser necesariamente mayor. (Umasi, 2013)

Dada la importancia y alto costo que pueden tener las barras de perforación se dan algunas recomendaciones para su uso y selección. (Umasi, 2013)

- En una columna de perforación siempre es recomendable el uso de barras de una misma marca.
- En general siempre serán recomendable las barras de pared más gruesa, sin embargo por el mayor peso esta recomendación estará limitada a la capacidad de la perforadora.
- Considerar en la selección de barras la capacidad de levante de la perforadora.
- Tamaño y profundidad del taladro.
- Volumen medio de circulación de aire.
- Cargas de torsión, tensión y compresión.
- Disponibilidad de llaves de sujeción.
- Logística para el transporte y manipulación.
- Condiciones de mantenimiento y cuidado.

2.2.4. Estabilizador o adaptador de tricono

(Umasi, 2013) afirma que: “va colocado encima de la broca de perforación, y tiene la misión de hacer que el tricono gire

correctamente según el eje del barreno e impida que se produzca una oscilación y pandeo del varillaje de perforación”.

Las ventajas derivadas de su utilización según (Umasi, 2013) son las siguientes:

- Menores desviaciones de los barrenos, sobre todo cuando se perfora inclinado.

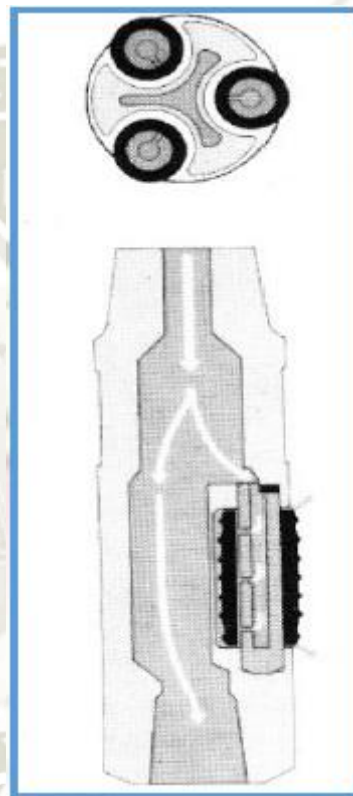


Ilustración 12: Estabilizador de rodillos.

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

- Mayor duración del tricono y aumento de la velocidad de penetración, debido a un mejor aprovechamiento del empuje.
- Menor desgaste de los faldones, de la hilera periférica de insertos y de los cojinetes.

- Mayor estabilidad de las paredes del barreno, debido a que las barras de perforación no sufren pandeo.
- Mejora de la carga de explosivo.

- El estabilizador debe tener un diámetro próximo al del barreno, normalmente 1/8" (3 mm) más pequeño que el tricono.

Según Umasi existen dos tipos de estabilizadores, de aletas y de rodillos.

Los estabilizadores de aletas son de menor coste, pero requieren un recambio de material antidesgaste, originan una disminución del par de rotación disponible y una mala estabilización en terrenos muy duros después de perforar los primeros barrenos. (Umasi, 2013)

“Los estabilizadores de rodillos con insertos de carburo de tungsteno requieren un menor par de rotación, tienen un mayor costo y son más eficiente que los de aletas”. (Umasi, 2013)

2.2.5. Sistema de barrido

El barrido del detritus de la perforación se realiza con aire comprimido, para lo cual el equipo está dotado de uno o dos compresores ubicados en la sala de máquinas. Mediante un turbo flexible se inyecta el flujo de aire –a través del cabezal de rotación por el interior de la columna de barras hasta el fondo del pozo. Dependiendo de la longitud de los tiros, la presión requerida se ubica en un rango de 2 a 4. (Umasi, 2013).

2.3. HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN

Existen básicamente dos tipos de herramienta: trépanos cortantes y trépanos triturantes. Los primeros consisten en una herramienta provista de elementos aguzados, con filos de diversas geometrías, ejercen sobre

la roca una acción de corte o desgarre. Su aplicación es solo posible en formaciones rocosas blandas o semiconsolidadas, tales como material de relleno fluvial, suelos u otros. Los trépanos triturantes están conformados por tres rodillos endentados, de forma cónica, que ruedan sobre el fondo del pozo, fracturando la roca por un proceso de indentación y corte. (Ortiz, 2006)

En las aplicaciones dos tipos de herramienta: trépanos cortantes y trépanos triturantes. Los primeros consisten en una herramienta provista de elementos aguzados, con filos de diversas geometrías, que ejercen sobre la roca una acción de corte o desgarre. Su aplicación es solo posible en formaciones rocosas blandas o semiconsolidadas, tales como material de relleno fluvial, suelos u otros. Los trépanos triturantes están conformados por tres rodillos endentados, de forma cónica que ruedan sobre el fondo del pozo, fracturando la roca por un proceso de indentación y corte. (Ortiz, 2006)

En las aplicaciones mineras con fines de fragmentación de rocas, en la actualidad se utilizan exclusivamente los trépanos triturantes, conocidos con el nombre de tricono. Aunque la introducción de esta herramienta se remonta a los primeros años del siglo XX (1910) en la perforación de pozos petrolíferos, solo a partir de los años '60 – cuando aparecen los primeros equipos rotativos en las grandes minas a cielo abierto – se inicia una investigación y desarrollo muy intensivo en cuanto a su perfeccionamiento tanto en calidad como en su diseño. (Ortiz, 2006)

En principio los triconos solo eran aplicables en formaciones rocosas más bien blandas a medianas; vale decir, rocas de baja resistencia a la compresión. Hoy en día, gracias a las innovaciones introducidas, este sistema de perforación rotativa predomina sin contrapeso en la minería a rajo abierto de gran tamaño, tanto en rocas blandas como incluso muy duras, en el rango de diámetros de perforación superiores a 175mm. Así, por ejemplo, en Chile actualmente el orden de un 80% de la producción

de cobre proviene de faenas que aplican esta práctica de perforación. (Ortiz, 2006)

Se fabrican dos tipos de triconos: con dientes estampados y con insertos de carburo de tungsteno. Los primeros son los más antiguos, con un campo de aplicación restringido a rocas blancas y medianas. Los de insertos son capaces de perforar hasta rocas muy duras, pero tienen un precio del orden de cinco a uno en relación con los anteriores, relación que es compensada por su mayor vida útil. (Ortiz, 2006)

El efecto de penetración de un tricono se obtiene por la aplicación combinada de dos acciones:

- Indentación
- Corte

(Ortiz, 2006) nos dice que: “Los dientes o insertos del tricono, al rodar sobre el fondo, penetran o se entierran en la roca por la aplicación de una gran fuerza de empuje. Esta acción es la que produce la trituración de la roca”.

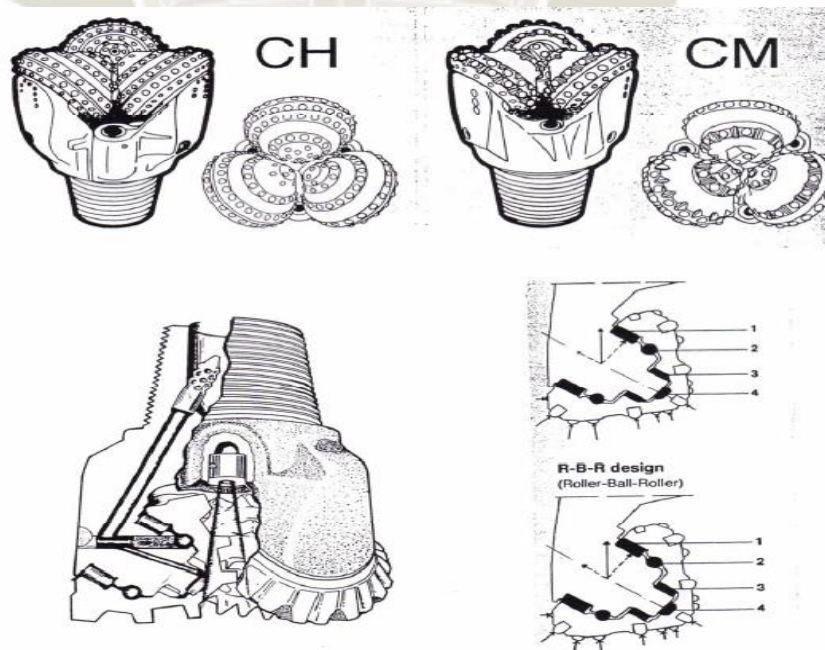


Ilustración 13: Trépanos triturantes o triconos

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.4. CRITERIOS DE DISEÑO (Ortiz, 2006)

El diseño de los triconos, en lo esencial sus parámetros geométricos, es función de las propiedades de la roca.

2.4.1. Geometría de los conos

- Ángulo del eje:
 $\alpha_E \rightarrow$ proporcional a la dureza de la roca
- Ángulo del cono:
 $\alpha_C \rightarrow$ inversamente proporcional a la dureza de la roca
- Diámetro del cono:
 $\varnothing_C \rightarrow$ inversamente proporcional a la dureza de la roca

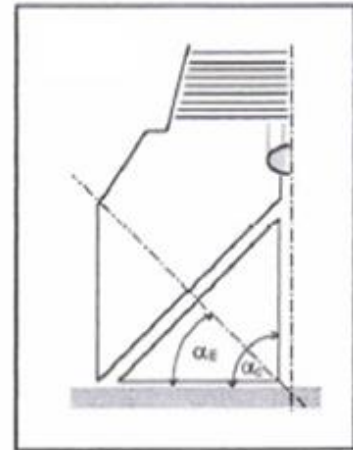


Ilustración 14: Geometría de los conos

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.4.2. Excentricidad

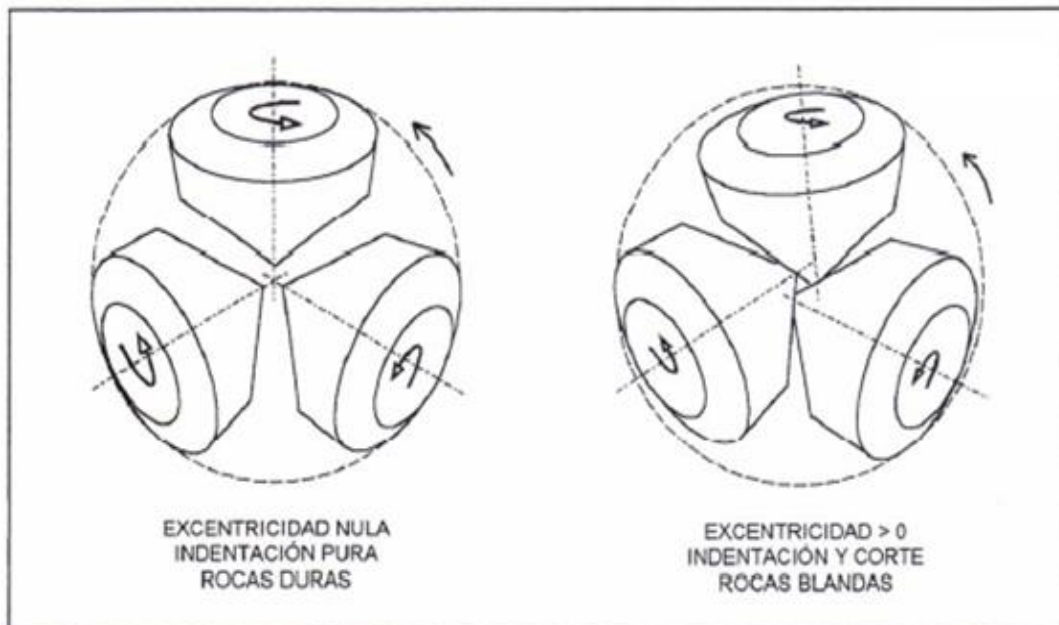


Ilustración 15: Excentricidad

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.4.3. Tamaño y disposición de los dientes e insertos (Ortiz, 2006)

- Rocas blandas → dientes o insertos largos y espaciados
- Rocas duras → dientes o insertos cortos y juntos

2.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE TRICONO

Los fabricantes de triconos les ofrecen a los usuarios diferentes alternativas de diseño según la dureza de la roca. Así, por ejemplo, la empresa HUGHES TOOL Co. De los EE.UU., la más antigua en este rubro y la primera que introdujo esta herramienta en el mercado, comercializa los productos que se incluyen en los cuadros siguientes: (Ortiz, 2006).

TIPO DE ROCA	DISEÑO DIENTES		ACCIÓN		MODELO
	ESPACIO	ALTURA	TRITURACION	CORTE	
Blandas					S (soft)
Medianas					M (medium)
Duras					H (hard)
Duras y abrasivas					HR

Tabla 1: Triconos con dientes

Fuente: Perforación rotativa con triconos









TIPO DE ROCA	DISEÑO INSERTOS		ACCIÓN		MODELO
	ESPACIO	RESALTE	TRITURACION	CORTE	
Blandas (< 40 MPa)					HH 33
Medianas (40 a 90 MPa)					HH 44
Semiduras (90 a 170 MPa)					HH 55
Duras (170 a 230 MPa)					HH 77
Muy duras (> 230 MPa)					HH 99

Tabla 2: Triconos con insertos

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.6. VARIABLES DE OPERACIÓN

Las variables de operación inherentes al sistema según (Ortiz, 2006), que inciden en su eficiencia (velocidad de penetración), son las que se identifican a continuación:

- Velocidad de rotación (rpm)
- Velocidad de penetración
- Fuerza de empuje
- Diámetro de perforación
- Velocidad y caudal del aire de barrido
- Desgaste de los trépanos

A su vez, estas variables dependen de un factor externo al sistema: la dureza o resistencia de la roca. En el caso de la perforación rotativa, la evidencia empírica tanto de las investigaciones a nivel de ensayos como de lo observado en la práctica que existe una buena correlación entre la resistencia a la compresión coherente, atendiendo a la forma como se aplica la energía a la roca y su consiguiente ruptura originada principalmente por un proceso de indentación. (Ortiz, 2006).

No existe una clasificación universalmente aceptada de las rocas en función de su resistencia a la compresión (S_c). En la literatura técnica

sobre el tema se encuentran diversas proporciones. Algunas muy simples, que solo diferencian entre rocas blandas, medianas y duras. Otras más sofisticadas, incluyen hasta seis o siete categorías. Haciendo una síntesis, para los efectos del análisis que sigue, se adoptara la clasificación que se anuncia en el siguiente cuadro: (Ortiz, 2006).

TIPO DE ROCA	S_c [kgp/cm ²]	S_c [MPa]
Muy blandas	< 400	< 40
Blandas	400 – 800	40 – 80
Medianas	800 – 1.200	80 – 120
Duras	1.200 – 2.000	120 – 200
Muy duras	> 2.000	> 200

Tabla 3: Clasificación de rocas según dureza

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.6.1. Velocidad de rotación

La velocidad de rotación (N), expresada en (rpm), es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión de la roca (S_c). En la tabla siguiente se indican las velocidades observadas en la práctica para los diferentes tipos de roca identificados previamente. (Ortiz, 2006).

TIPO DE ROCA	S_c [kgp/cm ²]	N [rpm]
Muy blandas	< 400	120 – 100
Blandas	400 – 800	100 – 80
Medianas	800 – 1.200	80 – 60
Duras	1.200 – 2.000	60 – 40
Muy duras	> 2.000	40 – 30

Tabla 4: Clasificación de rocas según la velocidad de rotación

Fuente: Perforación rotativa con triconos

Ahora, según el tipo de dientes, esta velocidad de rotación varía en un rango de 60 a 120 rpm para los triconos con dientes estampados, y entre 40 a 80 rpm en el caso de los triconos con insertos. (Ortiz, 2006).

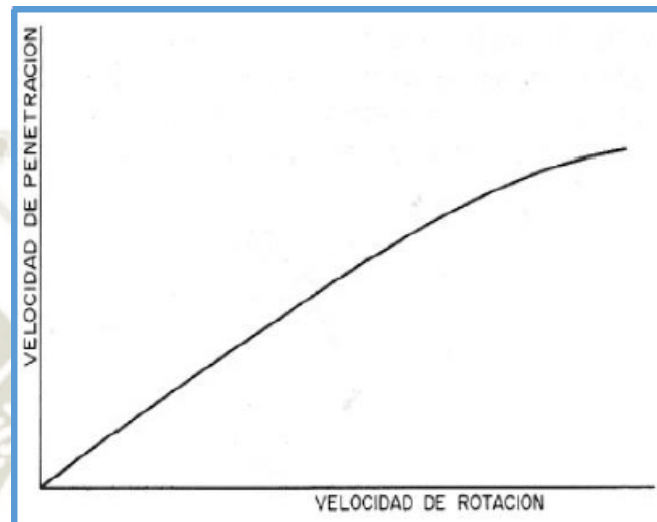


Ilustración 16: Efecto de la velocidad de rotación sobre la velocidad de penetración

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD DE ROTACION (r/min)
Blanda	75 - 160
Media	60 - 80
Dura	35 - 70

Tabla 5: Velocidades de rotación por tipo de roca

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.6.2. Velocidad de penetración

La velocidad de penetración aumenta proporcionalmente con el empuje, hasta que se llega a un agarrotamiento del tricono contra la roca por efecto del enterramiento de los dientes o insertos, o hasta que por la alta velocidad de penetración y el gran volumen de detritus que se produce no se limpia adecuadamente el barreno. (Ortiz, 2006).

En formaciones duras, un empuje elevado sobre la broca puede producir en los insertos antes de presentarse un agarrotamiento o un defecto de limpieza. También, disminuye la vida de los cojinetes, pero no necesariamente la longitud perforada por el tricono. (Ortiz, 2006)

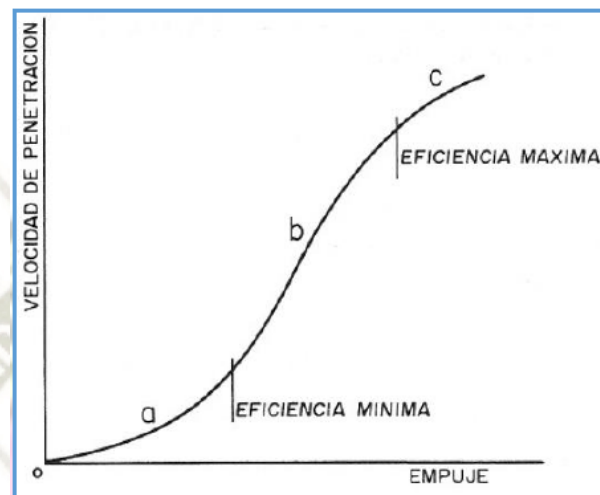


Ilustración 17: Efecto del empuje sobre la velocidad de penetración.

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

- a. Empuje insuficiente
- b. Avance eficiente
- c. Enterramiento del útil.

El “empuje mínimo” según (Jimeno, 2003), por debajo del cual una roca no es perforada, puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$E_m = 28.5 \times RC \times D$$

Donde:

- E_m = Empuje mínimo (libras)
- RC = Resistencia a la compresión de la roca (Mpa).
- D = Diámetro del tricono (pulg).

DIAMETRO DEL TRICONO (pulg)	EMPUJE LIMITE (libras)
5 ¹ / ₈	21.000
6 ¹ / ₄	31.000
6 ³ / ₄	37.000
7 ⁷ / ₈	50.000
9	65.000
9 ⁷ / ₈	79.000
12 ¹ / ₄	121.000

Tabla 6: Se dan los valores límites para triconos de diferentes diámetros.

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

2.6.3. Fuerza de empuje y diámetro de perforación

La fuerza de empuje (F) o PullDown, que es necesaria aplicar aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar 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 el trepano. En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la destrucción de los rodamientos, lo que significa el término de la vida útil de la herramienta. (Jimeno, 2003).

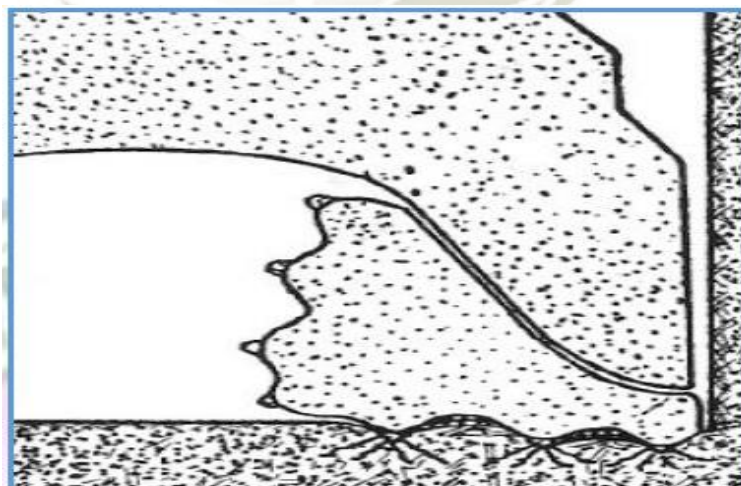


Ilustración 18: Rotura de la roca, empuje excesivo.

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

A su vez, la mayor o menor resistencia de los rodamientos depende del tamaño del trepano o, en último término, del diámetros de perforación (\emptyset). A mayor diámetro, más grande es el trepano por consiguiente más robustos y resistentes son sus rodamientos. (Ortiz, 2006).

Según (Ortiz, 2006) “En suma, la fuerza de empuje es función de dos variables: la dureza de la roca y el diámetro de perforación”.

(Ortiz, 2006) nos dice que: “Según la dureza de la roca, la fuerza de empuje mínima necesaria para vencer su resistencia a la compresión, está dada por la siguiente formula empírica”:

$$F_{min} = 28.5 S_c \emptyset \quad [lbp]$$

Donde:

- S_c : Resistencia a la compresión de la roca (Mpa)
- \emptyset : Diámetro de perforación (pulg)

La fuerza de empuje se acostumbra a expresarla en libras-peso (lbp) por unidad de diámetro del trepano, expresado en pulgadas (\emptyset). En la tabla siguiente se comparan los valores mínimos que resultan de aplicar la formula anterior con los valores observados en la práctica minera según la dureza de la roca. (Ortiz, 2006).

TIPO DE ROCA	S_c [kgp/cm ²]	F'_{min} [lbp/" de \emptyset]	$F'_{prác}$ [lbp/" de \emptyset]
Muy blandas	< 400	< 1.150	< 1.500
Blandas	400 – 800	1.150 – 2.300	1.500 – 3.000
Medianas	800 – 1.200	2.300 – 3.400	3.000 – 5.000
Duras	1.200 – 2.000	3.400 – 5.700	5.000 – 7.000
Muy duras	> 2.000	> 5.700	7.000 – 9.000

Tabla 7: Fuerza de empuje sobre el macizo

Fuente: Perforación rotativa con triconos.

2.6.4. Velocidad y caudal del aire de barrido

Según (Ortiz, 2006) “El aire comprimido, que se inyecta por el interior de la columna de barras hacia el fondo del barreno, cumple los siguientes objetivos”:

- Remoción o barrido del detritus desde el fondo del taladro.
- Extracción del detritus hacia afuera.
- Refrigeración y lubricación de los rodamientos del tricono.

El barrido y extracción del detritus de perforación se realiza a expensas de la energía cinética del aire que circula por el espacio anular comprendido entre las barras y las paredes del pozo. Por lo tanto, la eficiencia del proceso depende, en lo esencial, de la velocidad del aire (V) en este espacio anular y de la masa de aire o caudal (Q) que circula por el sistema. (Ortiz, 2006).

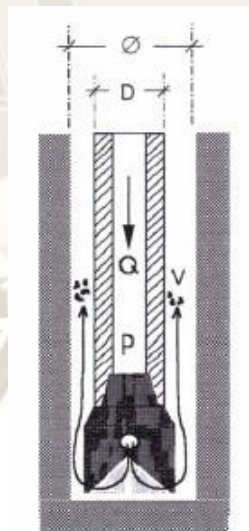


Ilustración 19: Barrido y extracción de detritus

Fuente: Perforación rotativa con triconos.

Por otra parte, la refrigeración de los rodamientos se obtiene por efecto de la expansión o caída de presión (ΔP) que se produce durante el paso del aire por el tricono, que a su vez depende de la presión (P) con que llega el aire a la herramienta. (Ortiz, 2006).

(Ortiz, 2006) nos dice que “según la práctica minera, las velocidades de aire recomendadas atendiendo al tipo de roca, son las que se indican en la tabla siguiente”:

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD MÍNIMA		VELOCIDAD MÁXIMA	
	[m/min]	[pies/min]	[m/min]	[pies/min]
Blandas	1.200	4.000	1.800	6.000
Medianas	1.500	5.000	2.100	7.000
Duras	1.800	6.000	2.400	8.000

Tabla 8: Velocidades de aire recomendadas según el tipo de roca

Fuente: Perforación rotativa con triconos.

2.7. SELECCIÓN DE TOBERAS

Según (Jimeno, 2003) “Se usa aire comprimido soplado hacia abajo a través del centro de la barra para enfriar los rodamientos del tricono y para barrer el detritus desde el fondo del pozo hacia la superficie, a través del espacio anular”.

Los triconos se diseñan para que una parte del aire, que aproximadamente es un 20%, se aproveche para la refrigeración y limpieza de los cojinetes. El resto del aire pasa a través de unas toberas, con el fin de limpiar los conos dentados y producir la turbulencia necesaria para iniciar la elevación del detritus a través del espacio anular. Estas toberas disponen de unos diafragmas, los cuales pueden cambiarse de posición para obtener las condiciones adecuadas y conseguir una limpieza efectiva en el fondo del barrenado. También, pueden utilizarse toberas recambiables para el mismo fin. (Jimeno, 2003).

2.8. DESGASTE DEL TRICONO

(Jimeno, 2003) nos dice que: “Cuando se utilizan triconos con dientes estampados, la velocidad de penetración disminuye considerablemente a medida que aumenta el desgaste de la herramienta”.

En la imagen 29 se aprecia que, a la mitad de la vida útil del tricono (50%), la velocidad de penetración se ha reducido, aproximadamente, entre un 50 a un 75% con respecto a la alcanzada con una herramienta nueva. (Jimeno, 2003).

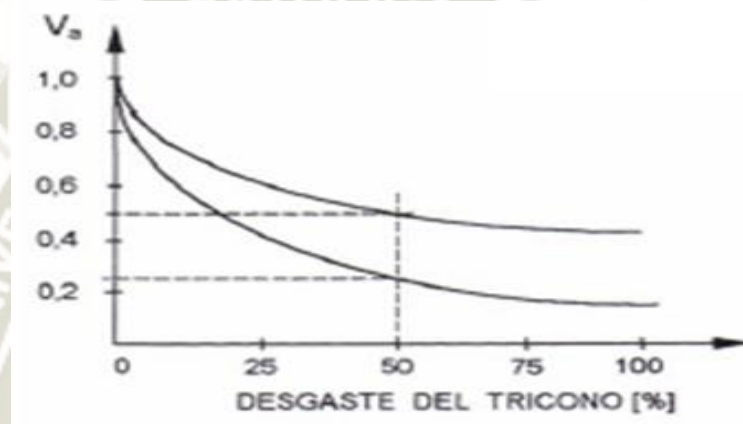


Ilustración 20: Desgaste del tricono

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

2.9. HILOS DE ACOPLAMIENTO

2.9.1. Hilos beco

Su origen y diseño se desprende del fabricante de equipos de perforación Bucyrus Erie Company, quien junto con diseñar y construir equipos, adicionalmente confecciono las barras de perforación para lo cual tuvo que buscar un diseño tal que cumpliera con las características que permitieran trabajar bajo condiciones mecánicas de trabajo al límite, su denominación cubre aspectos dimensionales y de diseño. (Ortiz, 2006).

Según (Ortiz, 2006) sus principales características son:

- Alta resistencia mecánica para grandes esfuerzos tensionales.
- Perfil geométrico del triángulo generador de la rosca de gran altura y espesor para resistir altas cargas de fricción.
- Angulo de inclinación del cono roscado y longitud entre roscas óptimos para un acoplamiento rápido del par torsor.
- Todas las roscas BECO tienen la misma altura, distancia entre hilos y ángulo de inclinación del cono roscado hembra y macho.
- Las roscas BECO se construyen en relación al diámetro de la barra de perforación que se usará.
- El espejo es la única área de sello de una conexión de barras, los hilos acoplados quedan con un juego entre sus filetes y las crestas que permiten almacenar la grasa de lubricación y evacuar residuos que se puedan adherir. Las roscas BECO van desde BECO 3 ½ hasta BECO 10. (Ortiz, 2006).

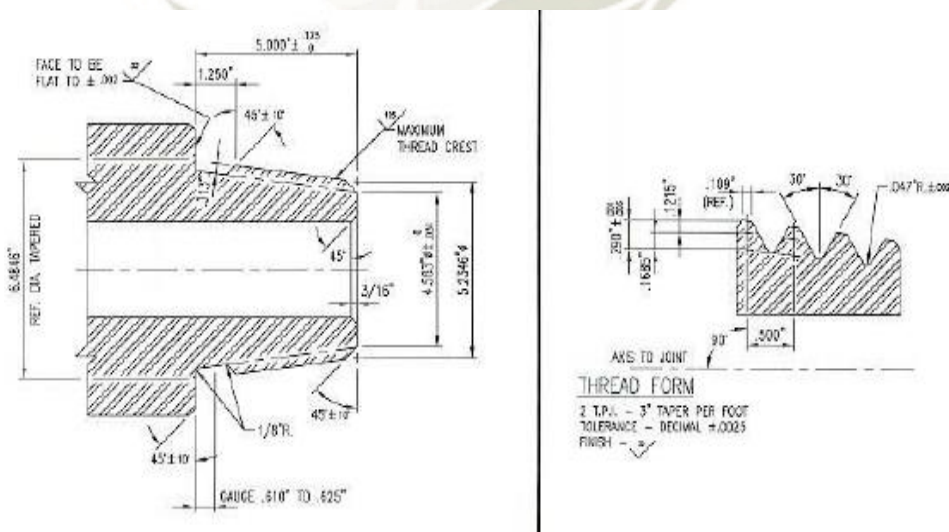


Ilustración 21: Esquemas de roscas con hilos BECO

Fuente: Perforación rotativa con triconos.

2.9.2. Hilos API

Su origen y diseño corresponden al American Petroleum Institute. En las primeras épocas de la perforación rotativa era muy difícil asegurar la perfecta combinación de hilos entre distintos fabricantes de barras de perforación, motivo por el cual se solicitó al A.P.I la elaboración de una norma que incluyera marcas de identificación y características de diseño que aseguraran un alto grado de exactitud. (Ortiz, 2006).

Según (Ortiz, 2006).”Sus especificaciones cubren las propiedades mecánicas de los aceros con que se construyen, detalles de fabricación, y dimensiones de barras con que serán usadas”.

Para (Ortiz, 2006) Sus principales características son:

- Rosca de paso fino, 4 a 5 hilos x pulgada.
- Angulo de inclinación que facilita su acoplamiento
- Denominaciones normalizadas A.P.I que identifican sus características.
- Principales fuentes de uso, en triconos de perforación mineros y petroleros y barras de perforación petroleras.

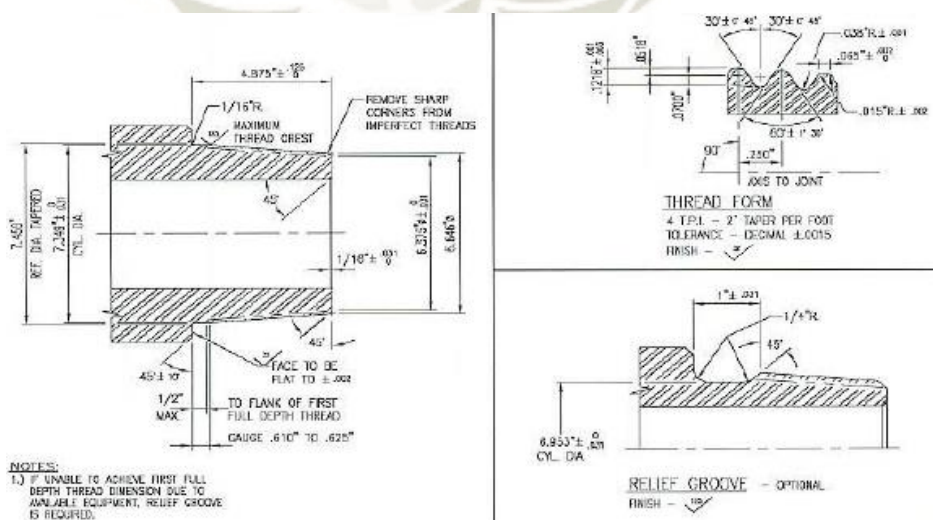


Ilustración 22: Esquema de hilos API

Fuente: Perforación rotativa con triconos

2.10. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN INDEPENDIENTES DE LA OPERACIÓN

2.10.1. Elasticidad

Según (Umasi, 2013) “la mayoría de los minerales constituyentes de las rocas tienen un comportamiento elástico – Frágil, que obedece a la ley de Hooke, y se destruyen cuando las tensiones superan el límite de elasticidad”.

(Umasi, 2013) nos dice que “Según el carácter de deformación, en función de las tensiones provocadas para cargas elásticas, se consideran tres grupos de rocas”:

- a. Elástico – Frágiles o que obedecen la ley de Hooke.
- b. Plástico – frágiles, a cuya destrucción precede la deformación plástica.
- c. Las altamente plásticas o muy porosas, cuya deformación elástica es insignificante.
- d. Las propiedades elásticas de las rocas se caracterizan por el módulo de elasticidad “E” y el coeficiente de poisson “V”. el módulo de elasticidad es el factor de proporcionalidad entre la tensión normal en la roca y la deformación relativa correspondiente, su valor en la mayoría de las rocas varía entre 0.03×10^4 y 107×10^5 Mpa, dependiendo fundamentalmente de la composición mineralógica, porosidad, tipo y magnitud de la carga aplicada. (Umasi, 2013).

Los valores de los módulos de elasticidad en la mayoría de las rocas sedimentarias son inferiores a los minerales

correspondientes que los constituyen. También influyen en dicho parámetro la textura de la roca. Ya que el módulo de elasticidad en la dirección de la estratificación o esquistosidad es generalmente mayor que en la dirección perpendicular a esta. (Umasi, 2013).

El coeficiente de poisson es el factor de proporcionalidad entre las deformaciones longitudinales. Para la mayoría de las rocas y minerales está comprendido entre 0.2 y 0.4 y solo el cuarzo lo tiene normalmente bajo, alrededor de 0.07. (Umasi, 2013).

2.10.2. Plasticidad

Como se ha indicado anteriormente, en algunas rocas, a la destrucción le precede una deformación plástica. Esta comienza en cuanto las tensiones de la roca superan el límite de elasticidad. En el caso de los cuerpos idealmente plásticos tal deformación se desarrolla con una tensión invariable. Las rocas reales se deforman consolidándose al mismo tiempo: para el aumento de la deformación plástica es necesario incrementar el esfuerzo. (Umasi, 2013)

La plasticidad depende de la composición mineral de las rocas y disminuye con el aumento del contenido de cuarzo, feldespato y otros minerales duros. Las arcillas húmedas y algunas rocas homogéneas poseen altas propiedades plásticas. (Umasi, 2013)

Para (Umasi, 2013), “la plasticidad de las rocas pétreas (granitos, esquistos cristalinos y areniscas) se manifiesta sobre todo a altas temperaturas”.

2.10.3. Abrasividad

(Umasi, 2013) nos dice que: “La abrasividad es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro, en el proceso de rozamiento durante el movimiento”.

Según (Umasi, 2013), “los factores que elevan la capacidad abrasiva de las rocas son las siguientes”:

- ✓ La dureza de los granos constituyentes de las rocas. Las rocas que contienen granos de cuarzo son sumamente abrasivas.
- ✓ La forma de los granos. Los más angulosos son más abrasivos que los redondeados.
- ✓ El tamaño de los granos.
- ✓ La porosidad de las rocas. Da lugar a superficies de contacto rugosas con concentraciones de tensiones locales.
- ✓ La heterogeneidad de las rocas poliminerales aunque estos tengan igual dureza, son más abrasivas, pues van dejando superficies ásperas con presencia de granos duros, por ejemplo, los granos de cuarzo en un granito.
- ✓ Esta propiedad influye mucho en la vida de los útiles de perforación.

2.11. TIPOS DE TRICONO

2.11.1. Triconos para formaciones blandas

Según (Jimeno, 2003): “Los triconos para formaciones blandas tienen rodamientos pequeños compatibles con dientes largos y el bajo Pulldown aplicado, para perforar formaciones blandas y fracturadas”.

Para (Jimeno, 2003), “La distancia entre dientes es considerable. Los conos tiene gran desviación, lo que resulta en un efecto de raspado considerable”.

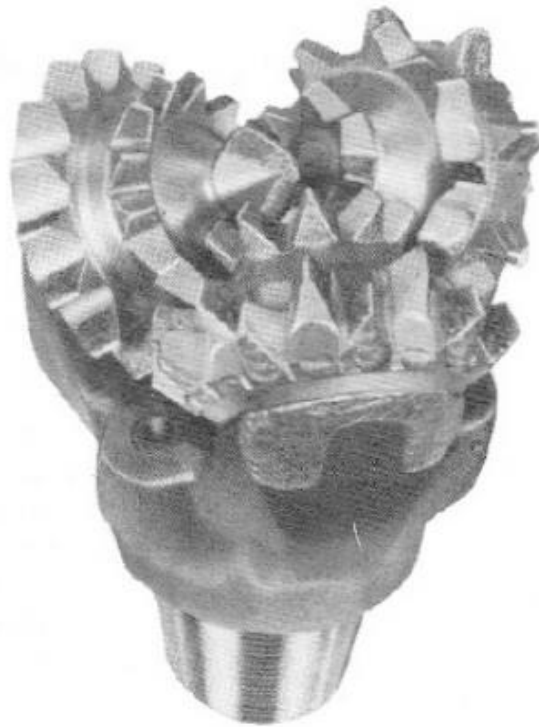


Ilustración 23: Tricono de dientes para formación blanda

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

2.11.2. Triconos para formaciones medianas

(Jimeno, 2003) nos dice que: “Los triconos para formaciones medianas tienen rodamientos de tamaño mediano, compatibles

con la longitud mediana de los dientes y el moderado Pulldown aplicado para perforar formaciones medianas”.

Según (Jimeno, 2003) “Tanto la longitud de los dientes con los mismos factores que para un tricono de formaciones blandas. La estructura de corte está moderadamente reforzada y la carga lateral sobre los dientes se reduce disminuyendo el desplazamiento del cono”.



Ilustración 24: Tricono de dientes para formación media

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

2.11.3. Triconos para formaciones duras

Para (Jimeno, 2003). “Los triconos para formaciones duras tienen rodamientos grandes, compatibles con dientes cortos y fuertes y el alto Pulldown necesario para perforar formaciones duras”.

Las distancias entre dientes es pequeña, los conos tienen un desplazamiento mínimo para incrementar la carga de trituración en la roca y reducir la carga lateral en los dientes. Algunos fabricantes tienen normas para la configuración de los cojines dentro de cada grupo de diámetros. (Jimeno, 2003).

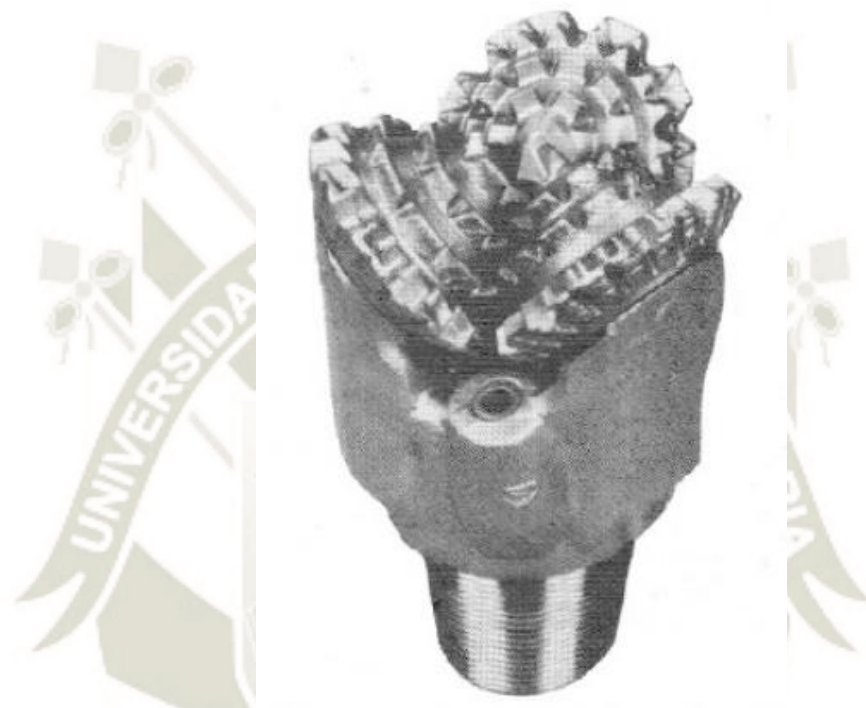


Ilustración 25: Tricono para formaciones duras

Fuente: Manual de perforación y voladura López Jimeno.

2.12. CARBURO DE TUNGSTENO

Las primeras herramientas para minería con carburo de tungsteno fueron fabricadas por Widia de Alemania durante los años 30. En 1940 aparecieron bits de percusión con insertos de carburo de tungsteno soldados con bronce. En 1951 aparecieron las primeras brocas triconicas fabricadas con insertos de carburo de tungsteno, introducidos a presión en los conos. (Placencio, 2011).

2.12.1. Proceso de Fabricación

Según (Placencio, 2011) “El “Carburo” o frecuentemente llamado “carburo de tungsteno” (es una combinación, símbolo químico WC, formado con tungsteno “W” y carbono “C”) dentro de un material aglomerante de cobalto (símbolo químico “CO”). El proceso de fabricación requiere”:

1. Carbonización del tungsteno a 1.500 °C (2.732 °F), para formar carburo de tungsteno.
2. Mezclar carburo de tungsteno en forma de polvo con cobalto.

2.12.2. Propiedades Físicas

- (Placencio, 2011) nos dice: “El carburo de tungsteno cementado tiene la más alta resistencia a la compresión de cualquier metal sintético comercialmente disponible”.
- El mismo mantiene su alto nivel de resistencia, dureza y rigidez de una amplia gama de temperaturas. Debido a su resistencia a la abrasión combinada con su resistencia al impacto, no hay nada igual para ser empleado como herramientas cortante para la perforación y trituración de roca. Las propiedades del carburo de tungsteno más importantes para la minería son resistencia a la abrasión y al impacto. (Placencio, 2011).



Ilustración 26: Broca tricónica 12 ¼” AP7

Fuente: Presentación Ams – Rotacan II

2.13. TOTAL DRILLING COST (COSTO TOTAL DE PERFORACIÓN)

Como señala (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto) “el motivo principal de tener un plan de control de aceros de perforación es tener información real del costo total de una perforación además del costo individual de cada componente de perforación”.

Con un buen plan de control de aceros podremos tener información en tiempo real y además podremos obtener información predictiva de aceros, para eso debemos llevar un control metódico de los metrajes que perfora cada acero de perforación. (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto).

2.13.1. Información del costo en tiempo real:

El costo de perforación es medida por metros/dólar y es dada por el metraje perforado dividido por la suma de los costos en dólares. Para (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto): “Los costos totales de perforación son”:

- Costo de combustible o energía eléctrica
- Precios de los aceros
- Costo Horas hombre
- Costo de la mantención de las maquinarias

2.13.2. Información del costo de cada acero de perforación:

Como dice el artículo (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto) “El costo de los componentes también se mide en metros/dólar, pero es diferente al costo total porque es solo el metraje perforado acumulado del componente dividido por el precio del componente en dólar”.

Según (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto) “Los aceros de perforación son los siguientes”:

- Amortiguador
- Adaptador superior
- Barra de perforación
- Adaptador inferior o de broca
- Broca, tricono o trepano
- Anillo guía

El contar con un plan eficaz de control de aceros nos permitirá además tener una data de las fallas comunes, durabilidad máxima, durabilidad promedio, durabilidad de acuerdo a ubicación, durabilidad de acuerdo a exposición ha determinado sector, etc. Si generamos una buena data de toda la información posible nos podrán ayudar a predecir fallas y problemas futuros y tomar decisiones acertadas para nuestro negocio que es la perforación. (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto).

<u>Total Drill Cost per foot or meter</u>			
TDC=	<u>Cost of Bit</u>	+	<u>Cost of Rig / Hour</u>
	<u>Total Feet or Meters =</u>		<u>Bit Penetration Rate</u>

Ilustración 27: Formula del TDC

Fuente: Perforación - Costos de perforación

2.14. VARIABLES

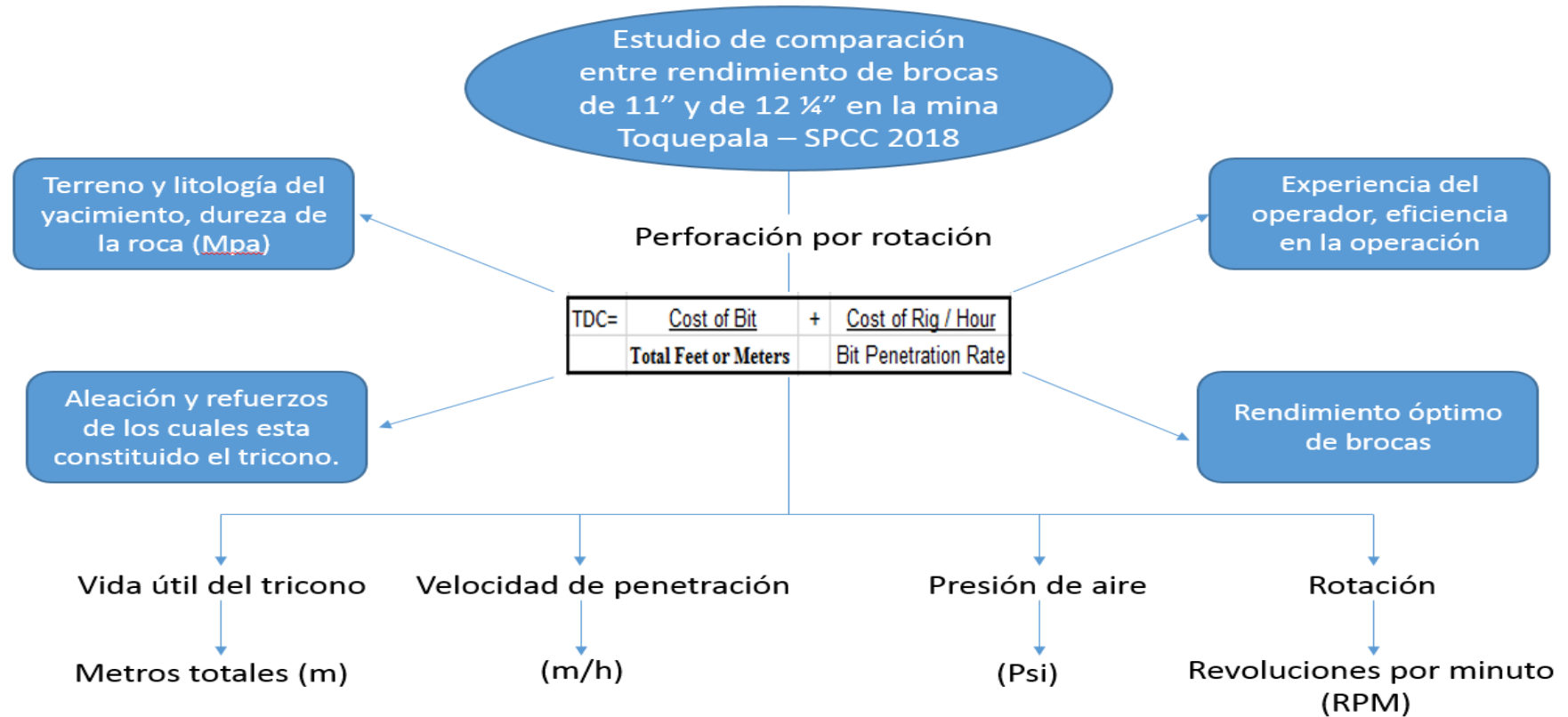
2.14.1. Variables dependientes, independientes e indicadores

VARIABLE INDEPENDIENTE Rendimiento óptimo de brocas	Terreno y litología del yacimiento	Dureza de la roca (Mpa)
	Aleación y refuerzos que constituyen el tricono	Aceros
	Vida útil del tricono	Metros totales
VARIABLE DEPENDIENTE Selección de brocas	Velocidad de penetración	(m/h)
	Presión de aire	Psi
	RPM (Rotación)	Revoluciones por minuto
	TDC (Total Drilling Cost)	Dólares por metro (\$/m)

Tabla 9: Variables dependientes, independientes e indicadores

Fuente: Elaboración propia

2.15. GRAFICO DEL MODELO



Gráfica 2: Perforación por rotación – Grafico del modelo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. MATERIAL DE ESTUDIO

3.1. EMPRESA MINERA: SOUTHERN COPPER CORPORATION.

Como señala (Huisacayna et al., 2013) es una empresa minera fundada originalmente en 1952. La actual encarnación Southern Copper se remonta a la adquisición en 2005 de la mexicana cuprífera Minera México por Southern Perú Copper Corporation.

Actualmente, el 75,1 por ciento de Southern Copper es propiedad del conglomerado minero mexicano Grupo México. Sobre la base de datos de 2007 las reservas, de la Southern Copper son las más grande del mundo que cotiza en bolsa minería del cobre y séptima mayor compañía minera de cobre del mundo basado en las ventas de 2007.(Huisacayna et al., 2013)

Según (Huisacayna et al., 2013) actualmente la compañía es un importante productor y refinador de cobre, molibdeno, zinc, plata, plomo y oro, y opera minas y fundiciones en México y en Perú, en los Andes las montañas al sureste de Lima.

3.1.1. Operaciones de la southern Copper Corporation.



Ilustración 28: Operaciones de la Southern Copper Corporation en el mundo

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.2. Operaciones en Perú

En Perú la empresa se dedica a la extracción, molienda y flotación de mineral de cobre para producir concentrados de cobre y de molibdeno; la fundición de concentrados de cobre para producir ánodos de cobre; y la refinación de ánodos de cobre para producir cátodos de cobre. Asimismo, procesa minerales sulfurados y de óxidos de cobre de baja ley por el método de lixiviación para producir cobre en forma de cátodos de alta pureza a un costo muy bajo. Como parte de estos procesos de producción, Southern Copper Perú produce cantidades significativas de concentrados de molibdeno y plata refinada como sub productos de los procesos de cobre. Las minas que operan son dos en Perú: Toquepala y Cuajone, ambas ubicadas en las alturas de la cordillera de los Andes. La mina Toquepala fue la primera mina de la compañía que inició operaciones hace 52 años. "Todavía tiene sus reservas para unos 35 años más, en adición a los 50 que ya lleva. Es una mina emblemática para la empresa y para todo el Perú "dice Oscar González Rocha, Presidente Ejecutivo y CEO de Southern Copper Corporation. (Huisacayna et al., 2013).

Además de las minas, la minera opera una fundición y una refinería ubicadas al oeste de las minas de Toquepala y Cuajone en la ciudad costera de Ilo, donde además tiene su propio ferrocarril. El sistema ferrocarrilero es de aproximadamente 204 kilómetros de vía, uniendo el puerto, la fundición y las dos minas Cuajone y Toquepala. El ferrocarril se utiliza para subir los insumos, equipo y repuestos, el diésel que consumen los camiones y el ácido sulfúrico que se utiliza en la planta de LESDE en Toquepala. Adicionalmente se utiliza para trasladar el concentrado de cobre y de molibdeno de las minas hasta la fundición y al embarque para su exportación y venta principalmente a Europa y Oriente. (Huisacayna et al., 2013).

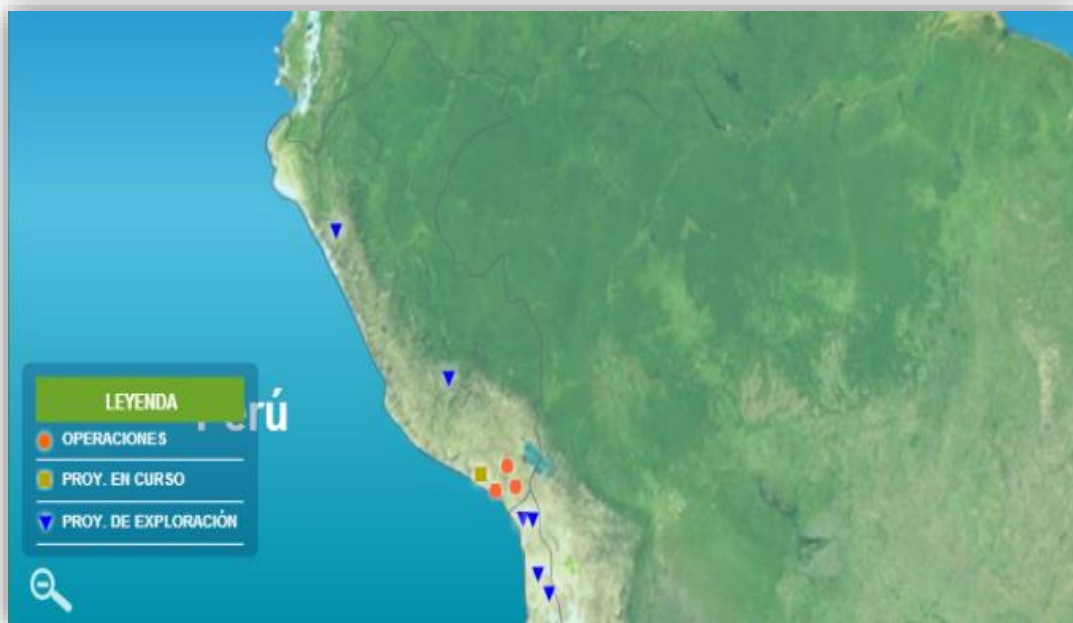


Ilustración 29: Operaciones de la Southern Copper Corporation en el Perú

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.3. Unidad Minera: Toquepala

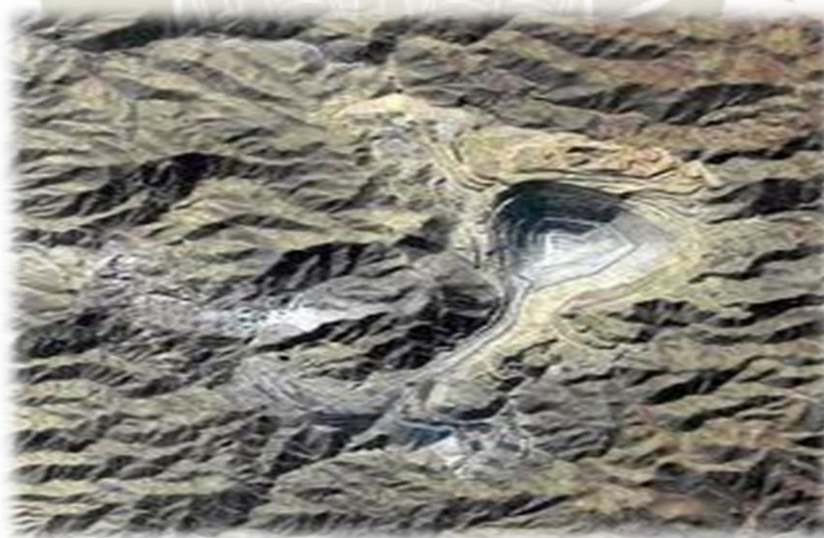


Ilustración 30: Mina Toquepala

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.4. Ubicación y Acceso

El yacimiento minero de Toquepala, se encuentra ubicado en el sur del Perú, en el Departamento de Tacna entre las cotas 3,100 a 3,600 msnm. La zona en general es montañosa y semi-desértica con parámetros anuales de 80 mm de precipitación y 1,500 mm de evaporación. En dirección Noroeste se encuentran los yacimientos de Quellaveco y Cuajone a una distancia de 20 y 30 Km respectivamente, dicho yacimiento se encuentra localizado en una región de topografía accidentada, debido a innumerables quebradas profundas que en su recorrido desde la sierra hacia los desiertos de la costa, cortan transversalmente el flanco occidental de los andes sur-occidentales. (Huisacayna et al., 2013).

3.1.5. Ubicación Política. (Huisacayna et al., 2013).

De acuerdo a la división política, Toquepala está ubicado en el sur del Perú en el Distrito de Ilabaya, Provincia de Tacna, del Departamento de Tacna. Paisa



Ilustración 31: Ubicación política del distrito de Ilabaya

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.6. Ubicación Geográfica: (Huisacayna et al., 2013).

- Coordenadas UTM: 294400 Coordenada Este, 8098819
- Altitud: 3100 a 3600 m.s.n.m.
- Latitud: Sur 17°13"
- Longitud: Oeste 70°36"



Ilustración 32: Ubicación de la mina toquepala

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

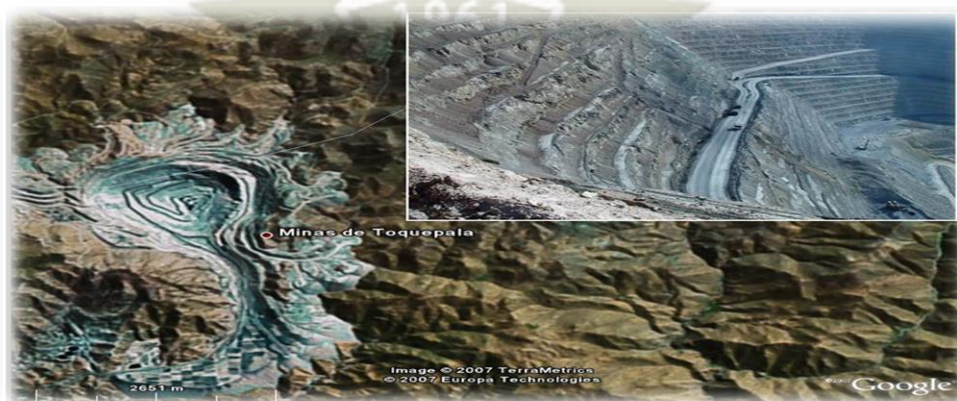


Ilustración 33: Imagen satelital de la mina Toquepala

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.7. Geología Regional y Local

El yacimiento está situado en un área que fue sometida a intensa actividad (19) ígnea eruptiva, de magmas riolíticos y andesíticos que se registró hace 70 M.A (Cretáceo – Terciario); esta actividad produjo enormes cantidades de material volcánico, el cual se acumuló en una serie de mantos de lava, hasta completar un espesor de 1500 mts está compuesto por derrames alternados de riolitas, andesitas y aglomerados, inclinados ligeramente hacia el oeste y que constituyen el llamado “Grupo Toquepala”. La última fase de vulcanismo en el sistema. A esa actividad volcánica le siguieron etapas sucesivas de intensa erosión, asociadas a variaciones del nivel freático que ocasionaron el lavado (Lixiviación) de la parte superior de la zona mineralizada y una concentración de minerales de cobre en profundidad (Zona de Enriquecimiento Secundario). En Toquepala no se tiene cubierta de volcánico joven. (Huisacayna et al., 2013).



Ilustración 34: Geología regional de Tacna

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.8. Geología

Geológicamente, Toquepala constituye un yacimiento porfirítico de cobre molibdeno diseminado, donde la mineralización está subordinada a una chimenea de brecha y a un intrusivo de dacita, ambos genéticamente relacionados a la actividad intrusiva hidrotermal calco alcalina datada de fines del Cretáceo superior - Terciario inferior. El yacimiento de Toquepala junto con Quellaveco y Cuajone pertenecen al metalotecto denominado Sub Provincia Cuprífera del Pacífico que tiene dirección NW-SE en Perú y N-S en Chile. (Huisacayna et al., 2013).

Económicamente, Toquepala beneficia, sulfuros de cobre como calcopirita, calcosita, bornita por concentración y lixiviación con un cut-off de 0.40% y 0.1% Cu respectivamente. Secundariamente beneficia molibdenita como un subproducto de la concentración del cobre. (Huisacayna et al., 2013).

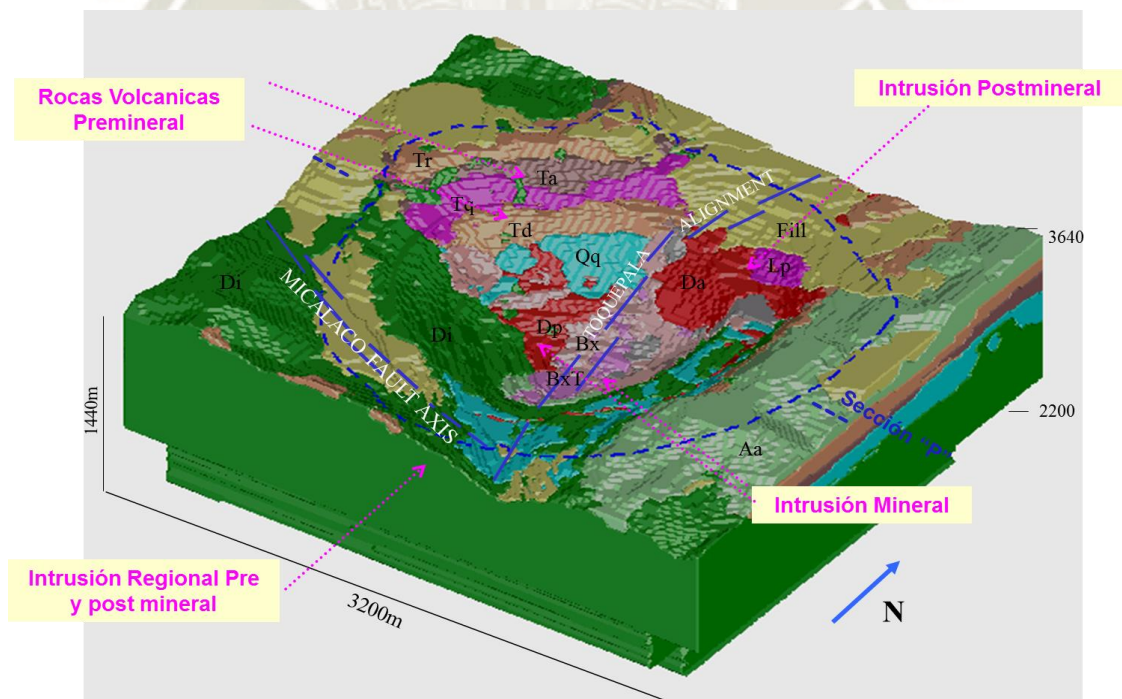


Ilustración 35: Geología de la mina Toquepala

Fuente: Superintendencia de Geología, Mina Toquepala 2018.

3.1.9. Litología de Depósitos

Los Depósitos de desmonte están conformado principalmente por rocas volcánicas estériles aflorantes en la parte superior de la mina. Y pertenecen dentro de la columna estratigráfica a la serie Alta y a la Serie Toquepala, Cuyas Características petrográficas las detallamos a continuación: (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- **Alta andesita (Aa)**

Es una roca andesítica, que se la encuentra en la pared Este de la Mina, formado por derrames intercalados de andesitas y aglomerado a manera de enclaves volcánicos, de textura afanítica o porfiritica y casi siempre con textura fluidal. No tiene minerales metálicos de importancia económica.

Composición: % Cu, %Fe, % S, %Ca, %MoS₂

- **Riolita Toquepala (Tr)**

Es roca volcánica, que tiene como principal característica un flujo bandeado, que contiene fenocristales de feldespatos y cuarzo en una matriz fina, ocasionalmente aparece turmalina fina. La roca presenta una amplia gama de colores entre el blanco, gris a marrón. En ciertos sectores tiene presencia de pirita diseminada. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Andesita Toquepala (Ta)**

Roca volcánica de color verde oscura. De textura afanítica, se presenta densa y por sectores posee un flujo bandeado. Se resquebraja fácilmente sobre todo cuando está muy alterada. Tiene escasa cantidad de pirita. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Pórfido Cuarcífero Toquepala (Tq)**

Es una roca volcánica llamada riolota, su característica principal son los fenocristales de cuarzo en una matriz blanca o marrón, usualmente afanítica. La roca es dura formando grandes bloques y los fenocristales de cuarzo son bastantes irregulares en tamaño y distribución. Algunas muestras tienen presencia de pirita muy diminuta y cristalizada. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Dolerita Toquepala (Td)**

Son andesitas de grano medio a fino de color verde, melanocratia y magnética. La unidad central es una andesita con matriz tufácea, y algunas capas de brechas volcánicas y aglomerados de similar composición. Existe un horizonte caracterizado por la presencia de fenocristales de feldespatos plagioclasas en una matriz densa. Algunas rocas poseen diminutos cristales de pirita diseminada. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Pórfido Cuarcífero Quellaveco (Qq).**

Son rocas de composición riolítica, de textura porfiritica, altamente fracturada. Su masa es afanítica, densa, dura y silicificada, de color blanco lechoso, presenta pequeños fenocristales de cuarzo. A veces, presenta estructura bandeada y es extremadamente quebradiza. Es la roca más antigua que aflora en el yacimiento de Toquepala. Esta intruida por apófisis de diorita y dacita porfiritica. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Latita Porfiritica (Lp)**

Esta roca se presenta como diques delgados verticales e inclinados. Su textura es porfiritica, siendo los fenocristales de ortoza y feldespatos plagioclasas en un matriz fina. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Dacita Aglomerada (Da)**

Es una roca dacítica, de color blanco cuando está fresca y pardo rosáceo en superficie intemperizada, holocristalina, fanerítica de grano fino a medio, como principales minerales tiene plagioclasa subhedral y cuarzo anhedral. En la mina, tiene forma groseramente cilíndrica y por partes se observa fragmentos de brechas, andesinitas y otros tipos de roca producto de haberlos englobados y engullidos en un proceso de intrusión. Se le considera como postmineral, por esa razón contiene poca cantidad de mineral. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- **Dacita Porfiritica (Dp)**

Esta roca es de textura porfiritica, de grano fino y los fenocristales ocurren en una matriz finamente granuda. El color de su afloramiento es marrón parduzco a pardo, en fractura fresca es blanca a gris claro. La textura porfiritica muestra cristales subhedrales y anhedrales de anfíboles, biotita, plagioclasa y cuarzo. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- **Diorita (Di)**

Es una roca de grano medio a fino, cuarzo relleno intersticios y en intercrecimientos con ortoza, dentro de los ferromagnesianos están la biotita y la hornblenda, también es notorio observar con turmalina en algunos sectores de la mina. Los afloramientos presentan un color gris verdoso a verde claro, y en superficie el color es de gris claro a gris. En toda la zona se presenta parcialmente alterada y reemplazada con clorita, pero en el área de la mina se le encuentra bastante alterada, los feldespatos han sido alterados a arcillas, también a sericita, el cuarzo no se puede distinguir solo en zonas fuertemente sericitadas y argilizadas, donde se observa

pequeños fenocristales. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- **Brechas (Bx, Px)**

En forma general, las brechas se pueden agrupar en dos tipos: Brechas Angulares y Pebble Brecha. Las brechas, ocupan la parte central del depósito y se encuentran ampliamente mineralizadas con sulfuros. Estas Brechas son pre-mineralización, y están constituidas por fragmentos angulares de tamaño variable dentro de una matriz de cuarzo-turmalina y sulfuros. Las pebbles brecha, son de menor extensión que las brechas angulares y están compuestas de fragmentos heterogéneos de roca, redondeados causados por una continua rotación y traslación de los mismos, en amplia variación de tamaños y cementados en una matriz fina generalmente constituida por la misma roca pulverizada. En textura y color las brechas de gujarros han sido descritas acertadamente como una superficie de concreto recién fracturada. La brecha de gujarros no contiene mineralización económica. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

3.1.10. Mineralogía

(Huisacayna et al., 2013) señala que: La mineralogía de Toquepala está representado por:

- Zona lavada: limonita jarosita goetitha en fracturas.
- Zona de óxidos: prácticamente si existe.
- Zona de enriquecimiento secundario: calcosina, digenita, cubelina, bornita, perita, chalcoperita, molebdinita, relleno del stockwork y en forma decimada.
- Zona primaria: calcoperita, perita, bornita, molibdenita, tetraedrita, enargita, galena; relleno del stockwork en forma diseminada.

ZONA MINERAL	MINERALES PREDOMINANTES	OCURENCIA
LEACHED CAPPING	Limonitas, Jarosita 30%, Hematita 60%, Goethita 10%	Diseminado mayormente y en fracturas
OXIDOS	Practicamente no existe	
ENRIQUECIDO	Calcosita 90% y otros 10% Digenita, Pirita, Covelita, Bornita, Cu nativo	Rellenando espacios en las brechas, diseminado y como vetas
TRANSICIONAL	Calcopirita 60%, Calcosita 25% , otros 15% Molibdenita, Pirita, Bornita	Rellenando espacios en las brechas, diseminado y en venas, asociado al Cuarzo
PRIMARIO	Calcopirita 90% y otros 10%, Pirita, Bornita, Molibdenita, Tetrahedrita, Enargita, Glna.	Rellenando espacios vacíos de las brechas, diseminado y en vetas.

Gráfica 3: Mineralogía de Toquepala

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.11. Mineralogía de los Depósitos

- **Calcopirita (CuFeS₂)**

Se encuentra a manera de agregados masivos inalterados dentro de la roca, y como agregados diseminados en muy poca cantidad. Este mineral se encuentra rellenando fracturas que se observan dentro de la brecha. Pero también se observan delgadas vetillas de calcopirita alteradas a óxidos de hierro. Cuando su ley es mayor que 0.4% Cu, tiene como destino final planta Concentradora. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- **Calcosita (Cu₂ S)**

Se presenta masivo, cristalizado en las zonas de enriquecimiento. Su color es gris plomo y se presenta formando vetillas a largo de fracturas delgadas, generalmente en los niveles superiores teniendo como roca encajonante a la diorita, pórfido cuarcífero quellaveco y andesita Toquepala. Cuando no va acompañado de mucho óxido, es enviado a concentradora, en caso contrario su destino son los botaderos de lixiviable. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- **Covelina (CuS)**

Se presenta asociada a la calcosina, pero en menor cantidad. Se encuentra como mineral supergénico, recubriendo a los sulfuros con un color azul marino. Recibe el mismo tratamiento que la calcosina. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Turmalina (AlSi₂O₉)₃WNa₃B₃Al₃. (O, OH, F)₄**

Se encuentra en agregados masivos como cemento de brecha con fragmentos angulosos de cuarzo, pero en muy poca cantidad. Este material es considerado como ganga, y cuando está en las brechas volcánicas es enviado a los botaderos. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Calcantita (CuSO₄.5H₂O)**

Este material se encuentra como patinas, asociado a los óxidos de hierro (limonitas) y formado posiblemente por la alteración de los sulfuros de cobre que se encuentran masivos con un grado de oxidación moderado. Asimismo se encuentra intercedido con la sericita. Este mineral es un óxido que tiene beneficio perjudicial en el proceso de planta concentradora, por lo que es enviado a botaderos de lixiviable. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Cuarzo (SiO₂)**

Este mineral se encuentra de dos maneras, como producto de alteración hidrotermal que silifica la roca, y en un segundo caso como diminutos agregados cristalizados dentro de las oquedades de la roca asociado a sulfuros diseminados (cp-py-mo) y a veces intercedido con la bornita en agregados masivos. Dependiendo de la ley de corte tiene destino variable. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

- **Óxidos de Hierro**

Estos minerales producto de alteración de algunos sulfuros entre los que se encuentran las hematinas y jarositas, se encuentran de manera abundante intercedidos con la calcantita.

Y como relleno de fracturas ya que anteriormente estas fracturas estuvieron rellenas por sulfuros como la calcopirita intercedida con la pirita. Tiene como destino los botaderos de lixiviable y desmonte. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

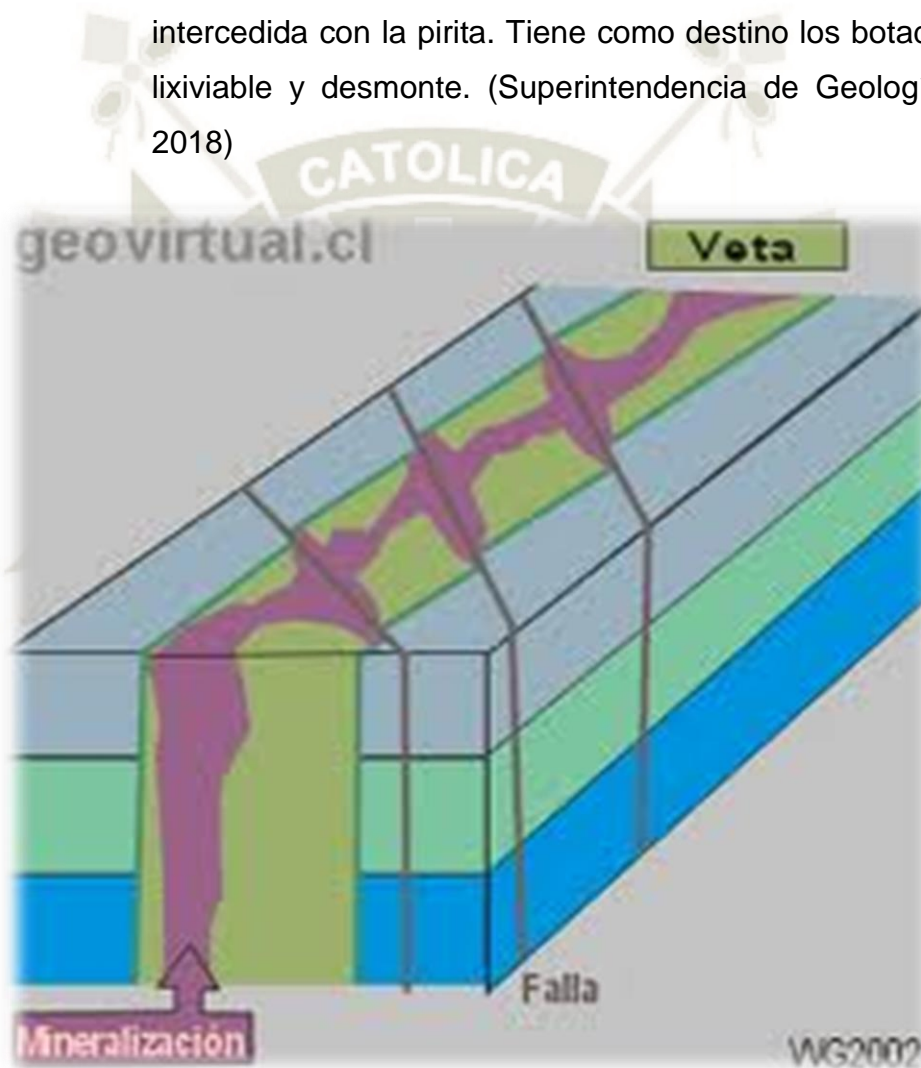


Ilustración 36: Mineralización en Toquepala

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.12. Estructuras

Enmarcadas regionalmente dentro del alineamiento tectónico NOSE formado durante el Cretáceo superior - Terciario inferior y

que tiene orientación paralela a la Cordillera Andina (Falla Micalaco y Alineamiento Toquepala.) Relacionadas con la formación de brechas y fractura miento tipo stockwork en áreas amplias de debilitamiento constituyendo en conjunto chimenea de brecha (breccia pipe). Las principales fallas cartografiadas en el tajo coinciden con las quebradas de la topografía original, siendo las más representativas: Sargento, Yarito y Toquepala que en general son fallas de alto ángulo. (Huisacayna et al., 2013).



Ilustración 37: El Stockwork

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

3.1.13. La alteración según (Huisacayna et al., 2013):

- Presenta los cuatro tipos de alteración más comunes: Alteración propi lítica: epidota – clorita – calcita – pirita. Presente en diorita mayormente.
- Alteración argílica-supérgena: caolín y arcillas en general. Presente en diorita y rocas volcánicas
- Alteración filica: cuarzo – sericita - pirita. Presente en el intrusivo de dacita y brechas en general.

- Alteración Fílico-potásica: biotita – clorita – sericita. Presente en el intrusivo de dacita y brecha.
- Todas las rocas del basamento, rocas intrusivas han sido alteradas, a excepción de la dacita aglomerádica y diques de latita porfirítica. Alteración a sílice ocurre mayormente en el pórfido cuarcífero.



Ilustración 38: Diorita

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013



Ilustración 39: Pirita

Fuente: PowerPoint Slides, Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala), Huisacayna et al., 2013

(Huisacayna et al., 2013) nos señala que las características Geológicas del Tajo Toquepala son:

- Yacimiento de gran tamaño (más de 1 km de diámetro, por más de 1Km de profundidad). De forma exterior cónica y de paredes verticales. Pórfido de Cobre subordinado a una chimenea de brecha y pórfido dacítico.
- Ha sufrido procesos de erosión, oxidación y enriquecimiento secundario. Su sobrecarga estéril está compuesta aproximadamente por 150 m de material lixiviado. Antes de iniciarse la explotación se calculó en más de 150 Mtc.
- Sus reservas fueron calculadas en más de 400 Mtc, con 1.00% Cu. A la fecha las reservas son 300 Mtc con 0.83% Cu y se han extraído 558 Mtc con 1.03% Cu. Explotable a bajo costo y en gran escala, por el sistema de tajo a cielo abierto..

3.1.14. Fases Mineras

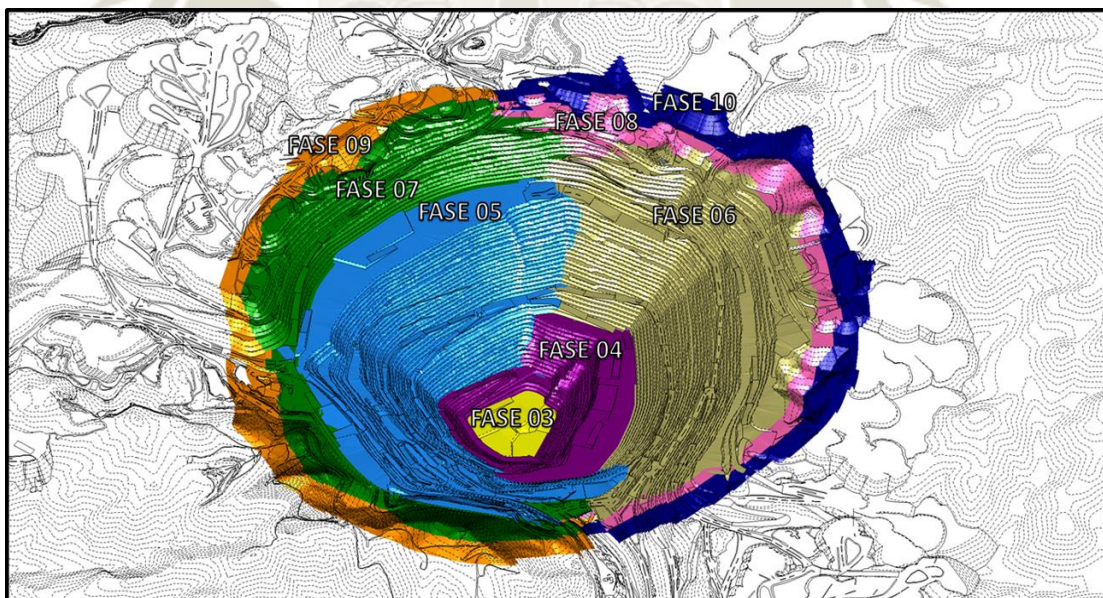


Ilustración 40: Fases mineras Mina Toquepala

Fuente: Superintendencia de Geología, Mina Toquepala 2018.

Fases en las que se realizó la prueba de triconos.

(Superintendencia de Geología Mina, 2018).

FASE 4: (soft a médium), perforadora 5, perforadora 3.

- ✓ **Dacita Aglomerada (Da)**
- ✓ **Dacita Porfiritica (Dp)**
- ✓ **Brechas (Bx, Px)**

En forma general, las brechas se pueden agrupar en dos tipos: Brechas Angulares y Pebble Brecha.

FASE 5: (soft a médium), perforadora 3, perforadora 8, perforadora 5.

- ✓ **Pórfido Cuarzífero Toquepala (Tq)**
- ✓ **Dolerita Toquepala (Td)**
- ✓ **Diorita (Di)**

FASE 6: (hard a médium), perforadora 16, perforadora 12, perforadora 11.

- ✓ **Pórfido Cuarzífero Toquepala (Tq)**
- ✓ **Dolerita Toquepala (Td)**
- ✓ **Latita Porfiritica (Lp)**
- ✓ **Dacita Aglomerada (Da)**
- ✓ **Brechas (Bx, Px)**

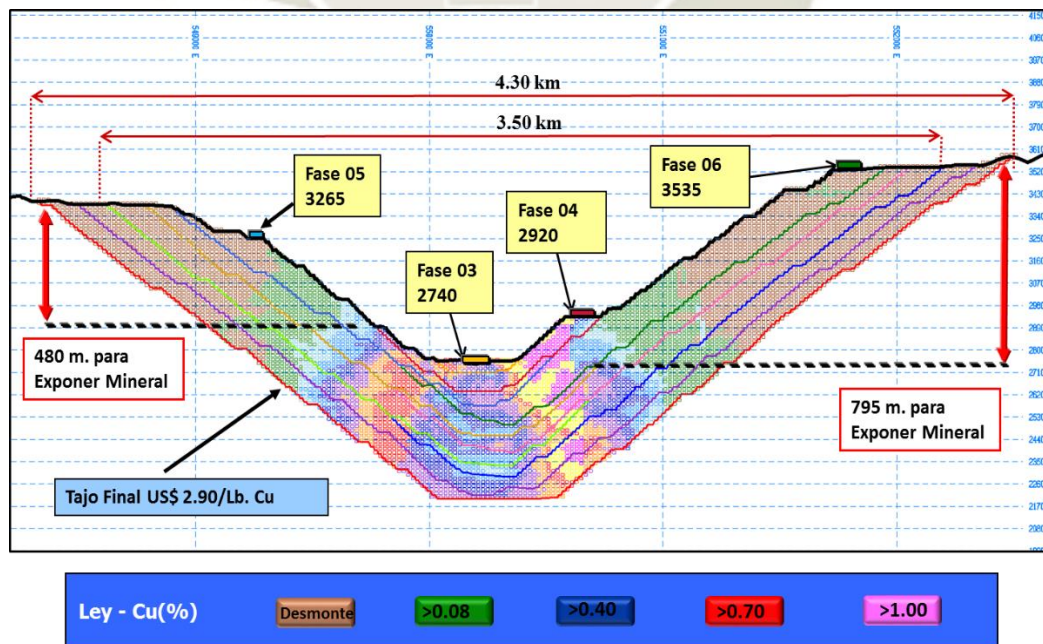


Ilustración 41: Fases mineras y sus respectivas leyes

Fuente: Superintendencia de Geología, Mina Toquepala 2018.

3.1.15. Flujoograma de Operaciones Mina

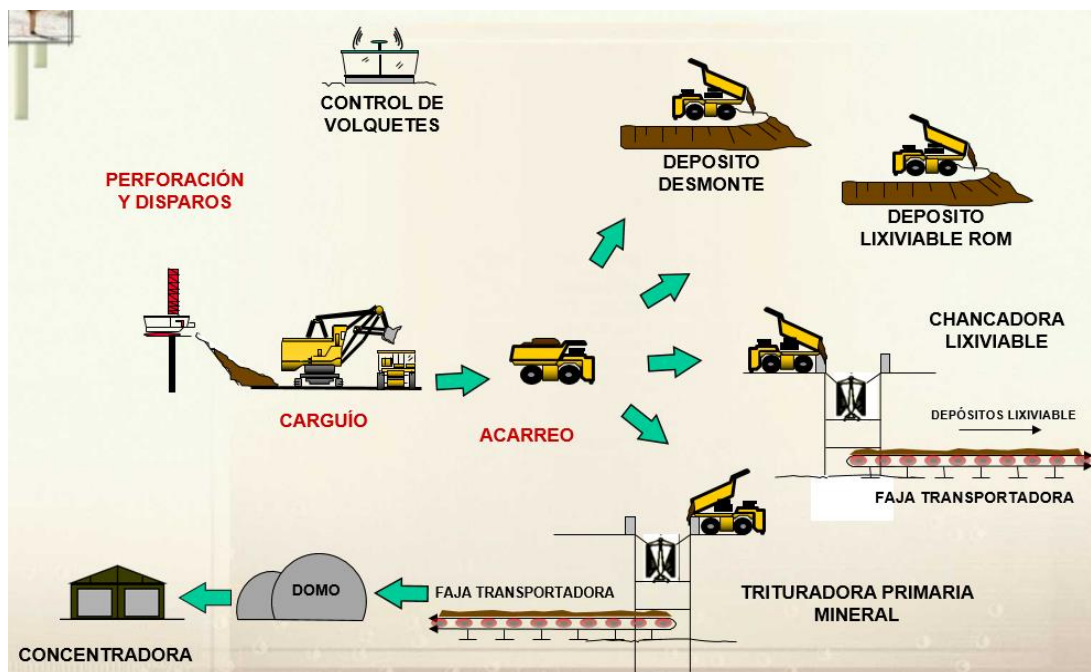


Ilustración 42: Flujoograma de Operaciones Mina

Fuente: Superintendencia de Geología, Mina Toquepala 2018.

3.1.16. APUNTES. (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

- Los trabajos de minado se iniciaron en 1957 y la producción de mineral en 1960.
- A Diciembre 2017 se movió:
 - ✓ Total Material: 4,396 Mt.
 - ✓ Total de Mineral: 882 Mt. @ 0.88% Cu

3.1.16.1. Producción (Plan 2018)

- Diaria: 630,853 t
- Anual: 230.3 Mt
 - ✓ Mineral: 30.2 Mt
 - ✓ Lixiviable y Desmonte: 200.1 Mt
- Relación de Desbroce (D+L)/M: 6.63:1

3.1.16.2. Diseño

- Ángulo Interrampa: Variable (37° a 45°)
- Rampas de Volquetes: 8 %
- Altura de Banco: 15 m.

3.1.16.3. Dimensiones de la Mina

- Largo del Tajo: 2.9 km (E-W)
- Ancho del Tajo: 2.6 km (N-S)
- Profundidad: 2,725 – 3,600 m.s.n.m.
(830 m)

3.1.16.4. Altura: 3,318 m.s.n.m. (Mirador Mina)

3.1.16.5. Perforación y Voladura (Superintendencia de Geología Mina, 2018).

Equipo de Perforación (14)

MARCA / MODELO

- 02 Perforadoras P&H - 100XP
- 01 Perforadora P&H - 120A
- 02 Perforadoras Bucyrus - 49RIII
- 03 Perforadoras Bucyrus - 49HR
- 04 Perforadoras P&H – 320XPC
- 02 Perforadoras CAT – MD6640

3.1.16.6. Control de Pared Final (Pre-Corte) (4)

- 01 Perforadora Cubex 560 DR
- 03 Perforadora Cubex 580 DR

3.1.16.7. Diseño de Perforación

- Diámetro de Taladro: 11", 12¼" y 5"(Titon y Cubex)
- Diseño Malla de Perforación: 6.5 x 6.5 m, 12 x 12 m
- Malla de Perforación Control de Pared Final: 2.0 - 4.0 m

3.1.17. Parámetros de diseño

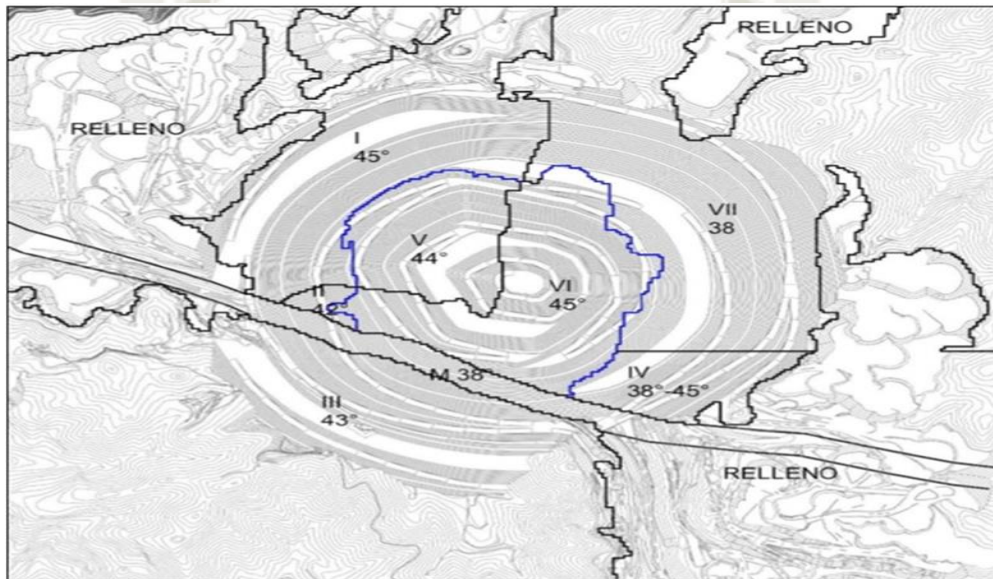


Ilustración 43: Zonas de diseño definidas según los criterios actualizados de diseño interrampa propuestos por el GRT (Geotechnical Review Team) año 2017.

Fuente: Superintendencia de Geología, Mina Toquepala 2018.

3.2. EMPRESAS DE ACEROS DE PERFORACIÓN (Mincon, Ryder y Varel)

3.2.1. Mincon

Mincon Group PLC es una compañía de ingeniería que se especializa en el desarrollo, fabricación y servicio de herramientas de perforación de roca dura para una variedad de aplicaciones. Originalmente fundada en 1977 en Shannon, Irlanda, ahora tiene presencia mundial con oficinas en 15 países de los cinco continentes. (Mincon Perú S.A.C, 2018).

3.2.1.1. Brocas rotativas

Mincon es la única empresa de diseño y fabricación en Canadá, totalmente dedicada a las brocas de perforación, a la tubería de perforación ya otros componentes de cadenas. La "innovación y el rendimiento" son la base de nuestros esfuerzos para producir productos robustos, confiables y de calidad, proporcionando un rendimiento óptimo de perforación para nuestros clientes. Nuestra capacidad y voluntad de trabajar directamente con nuestros clientes para generar soluciones personalizadas para sus duras y variadas condiciones de perforación es nuestra ventaja competitiva en el segmento a cielo abierto de la industria minera. (Mincon Perú S.A.C, 2018).

3.2.1.2. Características

Las brocas de perforación rotativa Advanced Performance (AP) de Mincon se fabrican con acero de calidad de aviación y calidades de carburo de primera calidad desarrolladas para adaptarse a las aplicaciones más difíciles. Los diseños computarizados que utilizan modelado sólido, los procesos de fabricación computarizados que usan lo último en equipos de CNC y el tratamiento térmico controlado por procesos computarizados aseguran brocas de perforación consistente y de alta calidad. (Mincon Perú S.A.C, 2018).

Las brocas Mincon Rotacan AP están disponibles en modelos estándar y personalizados en cuatro series distintas de AP4 a AP7. Para proporcionar capacidades de perforación de roca que van desde el carbón hasta el hierro. Datos de desempeño recolectados de cada taladro y condición del terreno. Se utiliza para ajustar y modificar parámetros de diseño críticos y lograr un verdadero rendimiento avanzado para nuestros clientes. (Mincon Perú S.A.C, 2018).



Ilustración 44: Broca Mincon de 11" en plena operación - tajo Toquepala

Fuente: Elaboración propia

12-1/4"	ROTARY BIT SPECIFICATIONS	
	IADC Code	632
	Rows	13 - 10 Inner, 3 Gauge
	Insert Count	170
	Gauge Insert	Semi-Spherical
	Inner Insert	Conical
	Pin Connection	6-5/8" API Regular
	Product Weight	220 lbs
	Bearing	Air Cooled
	OPERATING SPECIFICATIONS	
Recommended Bit Weight	49,000 to 85,750 lbs	
RPM	50 to 110	
OPTIONS		
Arm Protection	Standard or Extended Shirrtale	
Gauge Protection	Single or Double Back Row	

Ilustración 45: Catalogo de brocas Mincon 12 1/4"

Fuente: Mincon_Rotary_Catalog

3.2.2. Ryder

Ryder Enterprises Perú es una empresa de capitales 100% peruanos quien a su vez forma parte de un Grupo Empresarial Ryder Transnational Enterprises con presencia en Canadá, E.E.U.U., España, Colombia y México. (Ryder Perú, 2018). Ryder Perú ha sido establecido con un solo propósito, servir a nuestros clientes con las mejores herramientas y la mejor tecnología para la industria de perforación minera en el Perú. Comienza sus operaciones el año 2012 en una exclusiva zona de exportaciones de Hyderabad – India. Capacidad instalada de 15,000 bits / año. (Ryder Perú, 2018).

Amplia variedad de tipos de triconos para varias aplicaciones. (Ryder Perú, 2018):

- Pozos para tronadura
- Pozos de agua
- Construcción
- Petróleo
- Exploración y perforación direccionada
- Geotermia

3.2.2.1. Triconos en minería

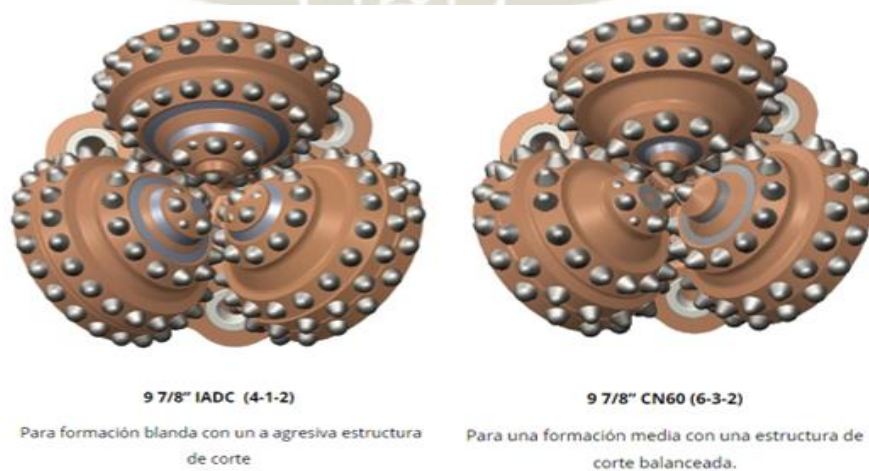
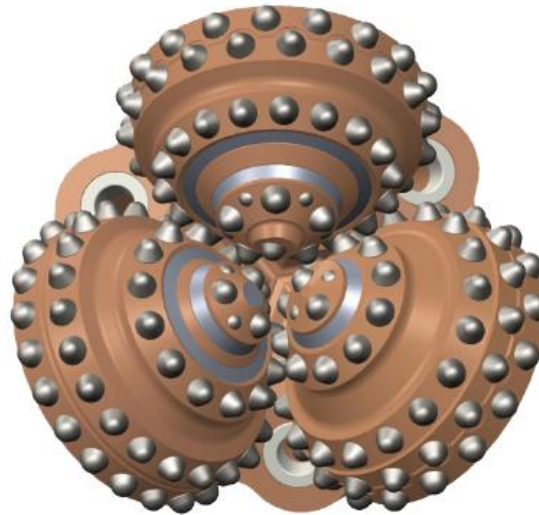


Ilustración 46: Triconos Ryder para minería, formaciones blandas y medias.

Fuente: Ryder Perú, 2018 - Productos



9 7/8" CN70 (7-2-2)

Para una formación dura fuerte carga de peso y
estructura de corte acorde

Ilustración 47: Tricono Ryder para minería, formaciones duras.

Fuente: Ryder Perú, 2018 - Productos

3.2.3. Varel International

Varel International Energy Services (VIES) se dedica a proporcionar soluciones de perforación y de fondo de pozo a los mercados de petróleo y gas, minería e industrial. Las capacidades de diseño, fabricación eficiente y fuerza de ventas global les posicionan de manera única para proporcionar soluciones confiables más rápido que cualquier otra persona. (Varel International, 2018).

Es una empresa enfocada en el cliente con un equipo innovador que realiza negocios de una manera responsable con una pasión por ganar. Con más de 1,000 empleados en los principales mercados de perforación en todo el mundo, VIES está listo para entregar las mejores soluciones de energía en cualquier momento. (Varel International, 2018).

VIES se compone de tres unidades de negocio: (Varel International, 2018).

Las Brocas de petróleo y gas de Varel proporcionan brocas de corte fijo y de cono de rodillo de calidad superior para las industrias de petróleo y gas.

Varel Mining and Industrial ofrece lo mejor en brocas de cono de rodillo y herramientas de percusión rotativa para las industrias de minería y construcción.

Downhole Products ofrece accesorios de revestimiento y cementación de primera calidad para las industrias del petróleo y el gas.

3.2.3.1. Productos en minería – triconos



Ilustración 48: Tricono Varel para minería, 11 y 12 1/4"

Fuente: Varel International, Products

3.3. VARIABLES GEOMECÁNICAS QUE AFECTAN A LA PERFORACIÓN

Los elementos básicos de geología según (Correa, 2009), que tienen incidencia en la perforación y voladura son:

- 1) las características físicas y mecánicas de las rocas que conforman el macizo rocoso.
- 2) La estratigrafía, esto es, la presencia de estratos menos resistentes, y eventualmente más delgados, y presencia de cavidades y
- 3) Los rasgos estructurales, esto es, la presencia de planos de estratificación, diaclasas principales y secundarias, en lo que tiene que ver fundamentalmente con sus actitudes.

El principio de una buena voladura se fundamenta en una buena supervisión al proceso de perforación.

A continuación se presenta un resumen extraído del manual de perforación y voladuras de rocas del ITGM. Las propiedades físicas y mecánicas más importantes de las rocas que influyen en la perforación, son:

3.3.1. La densidad.

En general, las rocas de baja densidad se deforman y rompen con facilidad, requiriendo un factor de energía relativamente bajo, en tanto que las rocas más densas demandan de una mayor cantidad de energía para lograr una fragmentación satisfactoria así como un buen desplazamiento y esponjamiento del material volado. En rocas con alta densidad, para que el empuje impartido por los gases sea el adecuado, deben tomarse las siguientes precauciones: aumentar el diámetro de perforación para elevar de esta manera la presión de barreno, reducir el esquema y modificar la secuencia de encendido, mejorar la efectividad del retaque con la finalidad de aumentar el tiempo de actuación de los gases y obligarlos a que escapen por el frente libre y no por el mismo barreno y utilizar explosivos con una alta energía de empuje. Este

parámetro es quizá el más utilizado en las expresiones que permiten determinar parámetros geométricos tales como el burden, pero también en la determinación de la impedancia. (Correa, 2009).

3.3.2. Las resistencias estáticas.

Las resistencias estáticas a la compresión y a la tracción, se utilizan como parámetros indicativos de la aptitud de la roca a la voladura. De esta forma, Hino, 1959, definió el índice de volabilidad, como la relación resistencia a la compresión /resistencia a la tracción, de modo que un mayor valor de esta relación estaría asociado con una mayor facilidad para fragmentar la roca. Conviene igualmente determinar las resistencias a la compresión triaxial estáticas para tener una idea del incremento de esfuerzo de la roca producto de dicho confinamiento. Estos parámetros ingresan en un sinnúmero de formulaciones asociadas con el consumo de aceros de perforación y con el consumo específico, entre otros de los parámetros más importantes de la voladura. (Correa, 2009).

3.3.3. Tenacidad

La tenacidad refleja fundamentalmente la capacidad de un material para absorber energía durante la deformación plástica. En una prueba estática, esta energía se mide por el área bajo la curva esfuerzo - deformación, la cual representa el trabajo requerido para fallar la muestra. El módulo de tenacidad, es la máxima cantidad de energía de deformación por unidad de volumen que el material puede absorber sin fracturarse; se expresa en $\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$. El módulo de tenacidad, M_t , puede estimarse, para materiales que tienen un comportamiento parabólico en la curva esfuerzo - deformación, como las rocas, mediante la expresión: (Correa, 2009).

$$M_t = \frac{2}{3} \sigma_c \cdot \varepsilon_f$$

Donde:

Mt: módulo de tenacidad

σ_c : esfuerzo de la compresión simple

ϵ_f : deformación unitaria en la falla

Puede deducirse entonces, que los materiales con una alta tenacidad deben ser muy resistentes y exhibir una alta ductilidad. Los materiales frágiles, por su parte, usualmente tienen baja tenacidad dado que sólo muestran una pequeña deformación plástica antes de la fractura. Un método simple para medir la tenacidad al impacto de la roca, es el que se realiza en la máquina de impacto Page. La prueba de impacto se realiza sobre núcleos de roca intacta cuidadosamente preparados, de 25 mm de altura por 25 mm de diámetro, relación H/D =1. Una masa de 2 kg cae verticalmente entre unas guías paralelas, hasta un émbolo terminado en forma esférica que pesa 1kg el cual permanece en contacto con el núcleo. La altura de caída del primer golpe es de 1cm y cada golpe sucesivo posterior, va aumentando 1 cm en altura. La altura en centímetros del golpe que produzca la ruptura del material, se registra como el valor de su tenacidad. (Correa, 2009).

3.3.4. Resiliencia

La capacidad de un material para absorber energía en el rango elástico, se conoce como su resiliencia. El módulo de resiliencia es la máxima cantidad de energía de deformación por unidad de volumen que el material puede absorber hasta el límite elástico; se expresa en $\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$ y está representado por el área bajo la curva, esfuerzo - deformación, en la zona elástica. Las dos propiedades, esfuerzo en el límite elástico y elasticidad, que al parecer influyen, en gran parte, sobre la resistencia a la compresión, intervienen en

la determinación del módulo de resiliencia, tal como se aprecia en la siguiente expresión: (Correa, 2009).

$$M_r = \frac{\sigma_l^2}{2E}$$

Donde:

Mr: módulo de resiliencia

σ_l : esfuerzo en el límite elástico

E: módulo de deformación

ϵ_l : deformación unitario en el límite elástico

Esta ecuación indica que para un alto módulo de resiliencia, el material debería exhibir un alto esfuerzo en el límite elástico. El término resiliencia no debe confundirse con el módulo de resiliencia. Dentro del límite proporcional, la resiliencia es igual al trabajo externo realizado sobre un material durante la deformación. De este modo, la resiliencia total de un material es el producto de su volumen por el módulo de resiliencia. Una baja resiliencia es conveniente para una buena amortiguación de la amplitud de las ondas, y una alta resiliencia para la baja generación de calor interno. Los valores del módulo de resiliencia en compresión, de algunas rocas típicas ensayadas por la oficina de Minas de los Estados Unidos, se indican en la Tabla 10. (Correa, 2009).

Roca	M_r (in-lb/in ³)
Jaspilita	448,0
Hematita	134,0
Anfibolita	124,5
Mármol	66,3
Arena	62,5
Concreto	5,0

Tabla 10: Módulo de resiliencia de algunas rocas típicas

Fuente: La geomecánica en la perforación y voladura de rocas

El concepto de energía de deformación expresado por el Mr, muestra claramente la influencia de las dos variables, esfuerzo y elasticidad, sobre la falla del material. Aunque el mármol y la arenisca tienen aproximadamente el mismo módulo de resiliencia, es evidente que los minerales que conforman el mármol ofrecen una mayor resistencia a la carga (una deformación más baja) no obstante, la energía total en ambos casos es teóricamente la misma. Cabe anotar, además, que sólo en casos excepcionales (en la determinación estática del módulo de elasticidad del material), existen relaciones lineales entre el esfuerzo y la deformación (Correa, 2009).

3.3.5. Rigidez

La rigidez está caracterizada por el módulo de deformación o módulo de elasticidad, el cual es el factor de proporcionalidad entre el esfuerzo normal y la deformación relativa que sufre la muestra de roca; su valor en la mayoría de las rocas varía entre 0.3×10^5 y 1.7×10^5 MPa, dependiendo fundamentalmente de la composición mineralógica, la porosidad, el tipo de deformación, y la magnitud de la carga aplicada. También influye en dicho parámetro la estructura de la roca, ya que el módulo de deformación en la dirección de la estratificación o la esquistosidad es generalmente mayor que en la dirección perpendicular a ésta. El coeficiente de poisson, por su parte, es el factor de proporcionalidad entre las deformaciones transversales relativas y las deformaciones longitudinales. Para la mayoría de las rocas y minerales está comprendido entre 0,2 y 0,4 y sólo el cuarzo exhibe un coeficiente de poisson anormalmente bajo, alrededor de 0,07. (Correa, 2009).

3.3.6. Las resistencias dinámicas.

El tratamiento racional de los problemas reales obliga a considerar las resistencias dinámicas. Las resistencias de las rocas aumentan con la velocidad de carga pudiendo llegar en algunos casos a alcanzar valores entre 5 y 13 veces superiores a las estáticas. Es por ello que puede ser bastante conveniente, determinar en el laboratorio las resistencias al impacto, (a fin de determinar, por ejemplo, el índice de impacto, relación trabajo específico de impacto a resistencia a la compresión simple) a fin de seleccionar explosivos que desarrollen en las paredes del barreno, esfuerzos inferiores o iguales a la resistencia a la compresión dinámica de la roca o provocar una variación en la curva Presión-Tiempo, mediante el desacoplamiento de la carga dentro del barreno. La comparación entre algunas de las propiedades estáticas y dinámicas de las rocas, se presenta en la Tabla 11. (Correa, 2009).

Ensayos Dinámicos	Mármol	Arenisca A	Arenisca B	Granito
Velocidad de aplicación del esfuerzo, kg/cm ² /seg	1,7 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁶
Esfuerzo de rotura, kg/cm ²	215	220	190	170
Deformación en la falla, d, micras	490	610	460	630
E, kg/cm ²	51 x 10 ⁴	64 x 10 ⁴	40 x 10 ⁴	30 x 10 ⁴

Ensayos Estáticos	Mármol	Arenisca A	Arenisca B	Granito
Velocidad de aplicación del esfuerzo, kg/cm ² /seg	1,1	1,8	0,5	2,2
Esfuerzo de rotura, kg/cm ²	53	80	29	53
Deformación en la falla, d, micras	145	410	370	510
E, kg/cm ²	47 x 10 ⁴	19 x 10 ⁴	10 x 10 ⁴	12 x 10 ⁴

Tabla 11: Comparación de algunas propiedades dinámicas y estáticas de algunos tipos de rocas, según Coates.

Fuente: La geomecánica en la perforación y voladura de rocas

De la anterior tabla se desprende que para una velocidad de aplicación de la carga de un millón de veces superior, es decir, ensayos de impacto (o de corta duración),

- 1.- Se obtiene una resistencia entre 2,75 y 6,55 veces superior a la estática, según el tipo de roca.
- 2.- El módulo de deformación, aumenta entre 1,08 y 4,00 veces, según el tipo de roca.

3.3.7. La porosidad.

Se trata de la porosidad intergranular, primaria o de formación, cuya distribución en el macizo pudiera considerarse uniforme y que genera efectos como la atenuación de la energía de la onda de choque y la reducción de la resistencia dinámica a la compresión y, consecuentemente, un incremento de la trituración y porcentaje de finos. El trabajo de fragmentación en rocas muy porosas, se realiza, casi en su totalidad, por la energía de empuje, lo que obliga a utilizar explosivos con una elevada energía de empuje, sacrificando la energía de tensión, mediante el desacoplamiento de las cargas ya retener los gases de las voladuras a alta presión con un adecuado dimensionamiento de la longitud y tipo de retaque. (Correa, 2009).

Clasificación	Choquette y Pray	IUPAC	Movilidad del agua	Microscopía óptica
Megaporos:			$d > 100 \mu\text{m}$	
Macroporos	$r > 4\text{mm}$	$d > 50 \text{ nm } (0,05 \mu\text{m})$	1 - 100	$r > 2,5 \mu\text{m}$
Mesoporos:	4 mm - 60 μm	50 nm y 2 nm	0,01 - 1	
Microporos	$r < 60 \mu\text{m}$	$d < 2 \text{ nm } (0,002 \mu\text{m})$	$d < 0,01 \mu\text{m}$.	$r < 2,5 \mu\text{m}$.

Tabla 12: Clasificación de la porosidad en función de su tamaño

Fuente: La geomecánica en la perforación y voladura de rocas

3.3.8. Dureza y penetración

La fracturación eficiente y económica del material rocoso, se rige en gran parte por la aplicación exitosa de taladros perforadores,

ya sean de percusión o rotación. A causa de las muchas variables involucradas, este tema ha sido algo difícil de interpretar, por la diversidad de reglas que sugieren la cantidad de energía que debe utilizarse para perforar cualquier banco de roca en particular. Las llamadas “rocas duras” han sido perforadas fácilmente, en comparación con las rocas menos duras, por sus características de fragilidad y desmoronamiento. Por ejemplo, una roca ígnea dura o una metamórfica, puede ser perforada con mayor eficiencia que una caliza compacta. (Correa, 2009).

La palabra dureza como se emplea en la industria de la perforación, tiene una variedad de significados que dependen incluso del método de perforación utilizado. El término, “roca dura”, se usa generalmente para describir una formación geológica que por alguna razón es difícil de perforar. En la perforación con broca de diamantes, la dureza se interpreta como la resistencia a la abrasión. En la perforación por percusión, el término implica la resistencia al impacto, mientras que con las perforadoras de rotación, la dureza se considera análoga al esfuerzo de compresión. Aunque éstas se consideren variables enfrentadas para los diferentes tipos de roca, el término dureza se aplica indiscriminadamente por la industria, como la resistencia de la roca a la penetración por cualquier tipo de técnica de perforación (Correa, 2009).

(Correa, 2009) indica que la causa principal de confusión, en la literatura de perforación de rocas, puede atribuirse a las diferentes definiciones del concepto de dureza de las rocas y sus promedios. Aunque ninguna de las investigaciones han estado directamente relacionadas con un estudio de propiedades de dureza, de por sí el uso de microbrocas, involucra los tres tipos de dureza, es decir, dureza a la abrasión, dureza a la penetración y dureza dinámica o de impacto.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El siguiente trabajo tendrá un carácter de **investigación Transversal**, ya que se recaban datos en un momento único, con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, en este caso las pruebas realizadas en la mina comenzaron a partir del mes de agosto del presente año, hasta el mes de octubre.

Así mismo esta investigación es **cuantitativa** ya que se maneja una data la cual se puede medir y por lo tanto mejorar.

El nivel de la siguiente **investigación es descriptiva** ya que busca identificar propiedades del fenómeno de estudio, mide y evalúa datos sobre diversos conceptos y luego se procede a correlacionar la interacción de dichas variables.

4.2. POBLACIÓN/MUESTRA

Para analizar la data que se utilizara en este proyecto es necesario conocer la información existente en mina, para así poder evaluarla y proceder a su mejora, actualmente southern cuenta con:

4.2.1. Perforadoras

- 02 Perforadoras P&H - 100XP
- 01 Perforadora P&H - 120A
- 02 Perforadoras Bucyrus - 49RIII
- 03 Perforadoras Bucyrus - 49HR
- 04 Perforadoras P&H – 320XPC
- 02 Perforadoras CAT – MD6640
- 01 Perforadora Cubex 560 DR
- 03 Perforadora Cubex 580 DR

4.2.2. Triconos

1. **Mincon:** 10 Triconos de 11" y 10 triconos de 12 1/4"
2. **Varel:** 10 Triconos de 11" y 10 triconos de 12 1/4"
3. **Ryder:** 10 Triconos de 11" y 10 triconos de 12 1/4"

Población: Esta mina cuenta con 14 perforadoras para perforación primaria y 4 perforadoras Cubex para el precorte, sin contar con las perforadoras para el control de taludes (precorte), nos da un total de 14 perforadoras en las cuales se realizara la prueba de brocas, siendo estas un total de 30 brocas de 11" y 30 brocas de 12 1/4" entre las tres marcas. Siendo dos turnos al día, por 90 días, nos da como resultado un total de 2520 datos.

Muestra: Se analizará los 6 parámetros esenciales que nos permitirán comparar el rendimiento de los triconos siendo estos: revolución por minuto, velocidad de penetración, presión de aire, tiempo efectivo por taladro, duración y el costo, y siendo un total de 60 brocas nos da como resultado un total de 360 datos.

4.3. FUENTES Y TÉCNICAS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El tipo de fuente que se utilizó para la recolección de información en este trabajo es de tipo primaria, ya que se obtuvo la data directamente del trabajo de campo y de información proporcionada de la empresa en cuestión.

4.3.1. Técnicas

4.3.1.1. Trabajo de Gabinete

- **Estudio de reportes o data del mes de Julio a Diciembre del 2018**

Para realizar esta investigación se hizo estudio de la base de datos del departamento de perforación y voladura que se tiene desde el mes de julio del presente año.

➤ **Factores influyentes en el rendimiento de brocas de 11” y de 12 ¼”**

Los factores operacionales que afectan la perforación y rendimiento de las brocas son los siguientes:

- ✓ Pulldown
- ✓ RPM
- ✓ Inyección de Agua y Aceite
- ✓ Aire: Presión y Volumen
- ✓ Accesorios y Herramientas para la Perforación
- ✓ Formación de equipos

a) Peso sobre la broca – Pull Down

El peso óptimo depende de la formación geológica (particularmente la resistencia a la compresión), diámetro del pozo, modelo del tricono y su estructura de corte. Para penetrar la roca, la carga impuesta sobre la roca por cada inserto del tricono debe exceder la resistencia a la compresión de la roca. Las resistencias de compresión de la roca varían desde 7 Mpa hasta 414 Mpa. (Umasi, 2013).

Según (Umasi, 2013): “Desde las 1000 libras por pulgada de diámetro del tricono (pequeño en roca blanda) hasta 8000 libras por pulgada de diámetro de tricono (grande en terreno duro)”.

b) Velocidad de Rotación – RPM

(Umasi, 2013) nos dice que: “El RPM óptimo se determina considerando la formación geológica de la roca, el

diámetro de la roca, el diámetro del pozo, el tipo de brocas, su estructura de corte, etc.”

Max: 200 RPM para brocas pequeñas en roca blanda, hasta un mínimo de 40 RPM para unas brocas grandes en roca dura. Los pesos y las RPM recomendadas por fabricantes, representan no más que una guía o sugerencia. Se puede aplicar estos parámetros como puntos de referencia y variarlos hasta establecer la combinación para el mejor rendimiento de perforación en una mina determinada. En la práctica, son los operadores quienes con su experiencia pueden determinar pesos y velocidades de rotación adecuados en función de una mayor velocidad y/o vida útil. (Umasi, 2013).

c) Presión y Volumen de aire

La presión de aire debe ser suficiente como para que saque los recortes o fragmentos de roca cuando se está perforando. El aire también debe tener la presión suficiente para que enfríe los roles de la broca, esta presión es controlada por el tamaño de los orificios de donde sale el aire (toberas) (Umasi, 2013).

Para (Umasi, 2013). “La velocidad con la cual sube el aire hacia superficie se denomina Velocidad de Barrido, cuyos valores óptimos están entre los 5000 pie/min y 9000 pie/min”.

Para la refrigeración de los cojinetes se usa aire comprimido soplado hacia abajo a través del centro de la barra para enfriar los rodamientos de las brocas y para barrer el detritus desde el fondo del pozo hacia la superficie, a través del espacio anular. (Umasi, 2013).

d) Capacidad del Operador

Este es un factor que influye mucho en los costos de operación, un operador con experiencia cuidara de las variables mencionadas anteriormente, haciendo buena combinación de las variables críticas de perforación y esto hará que se alargue la vida optima de los accesorios de perforación. (Umasi, 2013).

e) Formación geológica

La geología influye mucho sobre la duración de la broca, pues depende de la dureza de la roca para perforar, si es roca dura se aplicara poca presión sobre la broca y mayor rotación, y la roca es blanda se aplicara mayor presión sobre la broca y rotación moderada con suficiente presión de aire. (Umasi, 2013).

➤ Diseño de mallas de perforación primaria

a. Datos de perforación

Como señala (Umasi, 2013), “La perforación rotativa, es el primer paso en las operaciones de toda mina a tajo abierto, ello va de la mano con la operación de voladura, para asegurar el material adecuadamente fracturado para un acarreo eficiente y seguro”.

b. Diseño de malla en minesight

Para el diseño de mallas en mina, se utiliza el software Minesight y para cargar los taladros y que esta data

aparezca en las pantallas de las perforadoras se utiliza el Jig-saw (Mine-ops), además de exportación de datos, variedad de colores, etc. (Umasi, 2013).

En la siguiente figura se puede observar el diseño de malla para el nivel 3100, los puntos verdes representan los taladros de producción, mientras que los puntos rojos son los taladros de precorte para el cuidado de taludes. (Umasi, 2013).

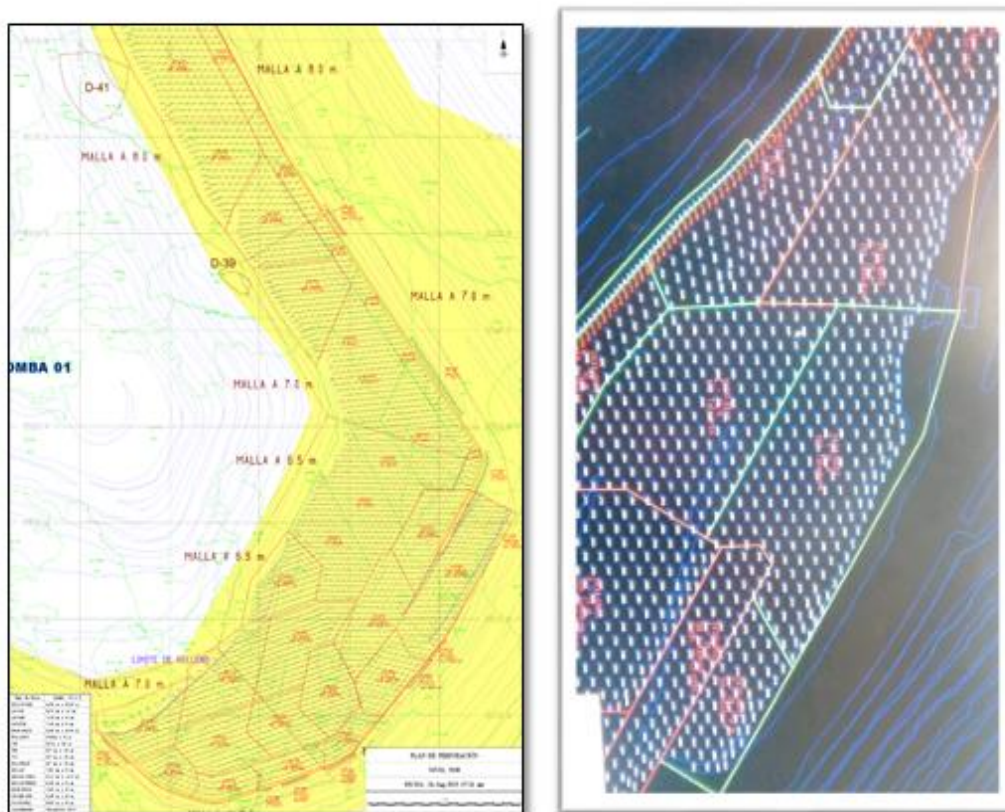


Ilustración 49: Diseño de mallas de perforación en el Minesight

Fuente: Superintendencia Mina

➤ Estándares de seguridad de un equipo de perforación

Se debe contar con los equipos de perforación en óptimas condiciones de uso para realizar la operación de perforación considerando los riesgos inherentes a la operación con ellos,

estos riesgos pueden ser los siguientes, incendios, volcamientos, accidentes por atrapamiento de partes en movimiento, golpes contra putos expuestos del equipo, caídas desde altura, etc. (Umasi, 2013).

Por tal razón los operadores de estos equipos siempre deben tener presente que los estándares de operación de un equipo son el conjunto de requisitos que este debe cumplir para ser operado en el área de la mina de manera segura para él. (Umasi, 2013).

Antes de iniciar la perforación, se debe comprobar que los niveles de cabina y el diagrama de volteo del equipo no están sobrepasando los grados en que se encuentra. (Umasi, 2013).

4.3.1.2. Trabajo de Campo

➤ Ciclo de perforación

La perforación de taladros es el objetivo y tarea principal del operador del equipo, esta se debe ejecutar de forma segura y eficiente, el trabajo se inicia cuando el operador instala en posición en el lugar iniciado y termina cuando se ha sacado totalmente las barras de perforación del taladro perforado. (Umasi, 2013).

Procure no operar el equipo dentro de un área de carguío, en el evento que se requiera avise al jefe de turno o jefe directo del área y tome todas las medidas preventivas establecidas según el estándar de la mina. (Umasi, 2013).

(Umasi, 2013) nos señala los siguientes pasos a seguir para operar un equipo con efectividad y eficiencia:

1. Ubique el equipo en posición de trabajo en el lugar señalado por las estacas, de acuerdo al plan, perforo en orden ascendente y en filas completas.
2. Nivele el equipo con las gatas y déjelo descansar sobre ellos, trate de dejar las orugas haciendo contacto con el suelo.
3. Levante la torre de perforación y verifique que quede asegurada.
4. Retire la primera barra desde el cargador o porta barrenos.
5. Baje la primera barra (Patera o iniciadora) hasta que toque el suelo, aplique aire y rotación y aumente gradualmente la presión y el empuje.
6. Aplique agua si las condiciones lo exigen
7. Tenga en cuenta el tipo de material y condiciones del área a perforar, a mayor dureza aplique mayor presión de empuje y menor rotación, en terrenos blandos aplique menor presión de empuje y mayor rotación, con base en lo anterior gradúe la válvula de empuje automático si el equipo la tiene disponible.
8. Cuando el extremo superior (lado de hilo pin) de la primera barra llegue hasta la plataforma de trabajo del equipo, asegúrela con la llave de sujeción.
9. Si la profundidad del taladro es mayor a la longitud de la primera barra se requiere el uso de una segunda barra

- (seguidora), centre el cargador de barras con el cabezal de rotación.
10. Tome la barra haciendo rotar y avanzar lentamente el cabezal de rotación y continúe con la perforación.
 11. Pare la rotación y el avance cuando el cabezal llegue a los topes inferiores de la torre de perforación.
 12. Cuando haya llegado a la profundidad del taladro especificada, detenga primero el empuje, luego el avance y finalmente el aire y/o agua, sostenga la barra (seguidora) con la llave de sujeción y desenrósquela lentamente con baja rotación y bajo avance, luego guárdela en el cargador de barras, posteriormente y en las mismas condiciones tome la primera barra (Patera) guárdela y cierre el cargador, el taladro con el aire de barrido aplicándolo desde el fondo.
 13. Anote en la hoja de registro la profundidad real perforada.
 14. Verifique que la llave de sujeción este totalmente retirada y guardada cuando levante las barras.
 15. Levante las gatas hidráulicas de soporte, libere los frenos y mueva el equipo hacia el siguiente taladro a perforar.
 16. Verifique que las barras estén totalmente enrocadas al cabezal de rotación antes de levantarlas del taladro perforado.

17. Verifique esporádicamente la profundidad real perforada, este debe ser a la especificada más menos 0.50 m.
18. El equipo de perforación puede desplazarse con la torre de perforación en posición vertical dentro del área delimitada por los avisos de seguridad si el terreno esta plano y las condiciones lo permiten.
19. Ponga la torre (castillo) de perforación en posición horizontal para trasladar el equipo cuando las condiciones de terreno sean irregulares o no den seguridad para el traslado en posición vertical.
20. Permanezca en la cabina mientras este perforando.
21. Verifique permanentemente el estado de los triconos y los aceros de perforación, barras, adaptadores, anillos guías, tazas porta barras y amortiguadores.
22. Este atento y reporte cualquier anomalía mecánica o eléctrica que observe durante la operación.
23. Aplique grasa lubricante cada cuatro o cinco pozos a los hilos de cada acero de perforación que se necesite acoplar.
24. Totalice los metros perforados, tiempos de paradas, tiempos de espera y operativos al final de cada turno e informe a su supervisor.

➤ **Vida útil de los accesorios de perforación**

El rendimiento de una broca se ve afectado por varias características de la formación rocosa incluyendo su resistencia. Quizás la manera más simple de seleccionar el tricono adecuado sea determinar el tipo de formación que se va a perforar, en cualquier caso el método final para determinar el tipo de tricono es la experiencia que está dando la actual perforación. (Umasi, 2013).

En las formaciones muy blandas los pesos se pueden reducir y todavía producir un buen rendimiento, el mejor método de determinar el peso óptimo sobre el tricono es dictado por la práctica de la perforación en cada caso. (Umasi, 2013).

La velocidad de rotación variara en cada caso entre 50 a 80 r.p.m. el aumento de la velocidad de rotación aumentara la velocidad de penetración, pero al mismo tiempo aumentara el desgaste de los rodamientos y la estructura de corte, este efecto deberá ser observado en el proceso de evaluación de los resultados de variaciones de velocidad. (Umasi, 2013).

También en este caso la experiencia de terreno será el mejor camino para determinar la mejor combinación de los resultados de peso y velocidad de rotación. El diámetro de las toberas de un tricono dependerá de eficiencia volumétrica del compresor y de su capacidad de presión de operación, el tamaño de la boquilla deberá permitir el paso de aire a través de la broca y además mantener una contra presión que permita forzar una adecuada cantidad de aire por los rodamientos a fin de mantenerlos refrigerados y limpios, las pruebas de

laboratorio y la experiencia en terreno han demostrado que la vida de los rodamientos se reduce por la presencia de agua para el control del polvo ser con algunas restricciones en las cantidades a usar. (Umasi, 2013).

➤ **Organización de perforación**

(Umasi, 2013). Señala que: “Una adecuada organización y dirección técnica de los trabajos de perforación y voladura debe prever”:

- ✓ Mantener suficiente material fragmentado en todos los frentes de minado.
- ✓ Proyección controlada de partículas de la voladura.
- ✓ Obtención de fragmentación homogénea en la voladura.
- ✓ Se considera mantener material en proceso de voladura en tres etapas:
 - Material fragmentado en proceso de carguío.
 - Material fragmentado listo para el carguío (en reserva).
 - Material en proceso de perforación.

4.3.1.3. Instrumentos

- **(DS N° 024-2016-EM, y Modificación de artículos DS N° 023-2017-EM)**

Capítulo II, Estándares de las operaciones Mineras a Cielo Abierto, Subcapítulo II: Perforación y Voladura, art 267, 268, 269 y 270.

Artículo 267.- En operaciones mineras a cielo abierto, para la ejecución de perforación y voladura se tendrá en consideración lo siguiente:

a) El carguío de taladros podrá hacerse tanto de día como de noche, mientras que el armado y el disparo solo podrá realizarse durante el día.

El disparo será hecho a una misma hora y de preferencia al final de la guardia, siempre que dicho disparo sea de día; teniendo especial cuidado de comprobar que los trabajadores hayan sido evacuados fuera del área de disparo en un radio de seguridad de quinientos (500) metros.

b) Se indicara la hora y el lugar del disparo en carteles debidamente ubicados para conocimiento de la supervisión y trabajadores. Esta obligación podrá ser complementada con otros sistemas de comunicación.

c) En caso de presentarse circunstancias climáticas tales como tormenta eléctrica, neblina, nevada, lluvia y otros, el titular de actividad minera deberá reprogramar el horario de carguío y actuar de acuerdo a los procedimientos específicos que hayan sido establecidos para estos casos.

d) El ingeniero supervisor de operaciones procederá a entregar la mina al responsable de la voladura con las líneas eléctricas des energizadas, la maquinaria en lugares preestablecidos y los trabajadores evacuados a lugares seguros.

e) Antes de la ejecución del disparo emitirá señales preventivas por diez (10) minutos con todas las

sirenas activadas en forma continua hasta su finalización. Sus sonidos deben tener un alcance no menos de quinientos (500) metros. Esta obligación podrá ser complementada con otros sistemas de comunicación.

- f) El ingeniero supervisor y los encargados de la voladura verificaran por última vez que toda el área haya sido evacuada, haciendo un recorrido final por la zona de los equipos e instalaciones cercanas al área de disparo.
- g) Previo a la señal establecida, y con la autorización del caso, se procederá al encendido del disparo ordenando el toque continuo de las sirenas. Cuando haya pasado el peligro después de la voladura, se verificara que hayan detonado en su totalidad todos los taladros para después reabrir nuevamente el tránsito y proceder al recojo de los vigías.
- h) Se verificara nuevamente el estado de los cables eléctricos, postes, aisladores y equipos para ordenar la reconexión de la energía eléctrica al tajo, siempre que estuviesen en buen estado y que el disparo no los haya afectado.
- i) Cuando los disparos se realicen en lugares próximos a edificios o propiedades, el jefe de perforación y voladura diseñara las mallas de perforación, profundidad del taladro y cálculo de carga, debiendo utilizar sistemas de “voladura controlada” de modo que el efecto de los disparos no cause daño a dichas edificaciones cercanas.

- j) Se establecerá un procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS) de inspección a las labores, antes y después del disparo.

Artículo 268.- El titular de actividad minera está obligado a monitorear las vibraciones resultantes de la voladura para tomar medidas correctivas, de ser necesario.

Artículo 269.- En función de las necesidades operativas, en salvaguarda de la salud de los trabajadores y en resguardo de los riesgos que pueda ocasionarse a los pobladores del entorno, es obligación del titular de actividad minera fijar sus horarios de disparo.

Artículo 270.- La reglamentación interna sobre voladura deberá considerar los criterios de disparo primario como voladura principal y disparo secundario como los utilizados en cachorreos, calambucos, desquinches, plastas y eliminación de tiros cortados.

4.3.2. Costos de perforación en minería a Cielo Abierto

Como señala (Umasi, 2013). “Los costos de perforación son calculados en base del costo por metro, estos costos pueden ser calculados de una forma exacta, considerando los siguientes parámetros”:

- ✓ Costo de perforación por hora
- ✓ Costo de la broca
- ✓ Vida de la broca en horas
- ✓ Vida de la broca en metros perforados

(Umasi, 2013). Nos dice que el utilizar una hora máquina de un equipo perforador, tiene un costo para cada una de las empresas

involucradas, este costo considera entre otras cosas; la mano de obra, costo de capital, aceros, mantención, etc.

Por lo anterior, la organización debe velar por que la utilización del equipo sea óptima, esto significa: (Umasi, 2013).

- Reducir al máximo las pérdidas operacionales
- Incrementar la penetración instantánea
- Velar por que el equipo este en perfectas condiciones
- Realizar una programación óptima de la perforación
- Disminuir los traslados innecesarios
- Tener todas las herramientas mínimas, etc.

Esto significa que todos deben ayudar y programarse para maximizar su uso y evitar las pérdidas de tiempo.

Costo total de perforación por metro

El coste de perforación por metro perforado se calcula con la siguiente formula: (Umasi, 2013).

$$TDC = \frac{B}{M} + \frac{D}{ROP}$$

Donde:

B = Costo de la broca (US\$)

M = Total metros perforados (metros)

D = Costo horario de la perforadora (US\$/Hr)

ROP = Velocidad de Perforación (mt/Hr)

- El Costo/Metro es inversamente proporcional al metraje y a la penetración
- El precio del tricono y el costo horario de la perforación son valores fijos.
- El Costo Métrico está más influenciado por lo que hace el tricono en metros y penetración que por su propio peso.

- Se deben diferenciar 2 tipos de costo para los costos horarios de operación del equipo.

Costos directos: Encontramos aquí lo siguientes costos: (Umasi, 2013).

- Costo de Mano de obra
- Costos relacionados con la mano de obra (Bonos, asignaciones, etc.)
- Costo de la energía y/o combustible
- Costo del Acero
- Costo de la mantención y reparación

Costos indirectos

El costo horario en Southern Perú Cooper Corporation – Toquepala es de **D=US\$ 160 /horas operativas**.

MINCON	
BROCA	COSTO
BROCA TRICONICA 11IN	3250
BROCA TRICONICA 12-1/4IN	3800

Tabla 13: Costo de Brocas Mincon de 11 y de 12”

Fuente: Mincon Perú S.A.C, 2018 – Catalogo, Elaboración Propia

VAREL	
BROCA	COSTO
BROCA TRICONICA 11IN	3230
BROCA TRICONICA 12-1/4IN	3800

Tabla 14: Costo de Brocas Varel de 11 y de 12 ¼”

Fuente: Varel International 2018, Productos, Elaboración propia

RYDER	
BROCA	COSTO
BROCA TRICONICA 11IN	3260
BROCA TRICONICA 12-1/4IN	3800

Tabla 15: Costo de Brocas Ryder de 11 y de 12 ¼”

Fuente: Ryder Perú, 2018 – Productos, Elaboración Propia

4.3.3. Procedimientos

➤ **Revisión del marco teórico**

Se establecieron que existen cuatro variables críticas como son; empuje, velocidad de rotación, barrido y refrigeración, los cuales se deben combinar en forma armónica para incrementar el rendimiento de la vida útil de brocas y aceros de perforación.

➤ **Comparación de rendimientos de variables críticas de brocas en función a tipo de litología.**

- ✓ En la tabla adjunta se muestra el resumen de las variables críticas de brocas de 11” y de 12 ¼”.
- ✓ Haciendo la comparación de parámetros (velocidad de penetración, PSI, RPM y Pulldown), respectivamente para la marca Mincon de 11” y 12 1/4 fue: 29.37, 53.07, 64.41 y 71157 respectivamente en 11” y 30.69, 49.69, 61.93 y 76180 respectivamente para 12 ¼”. Para la marca Ryder fue: 28.13, 54.10, 63.28 y 74610 respectivamente para en 11” y 30.01, 52.15, 61.93 y 77630 respectivamente para 12 ¼”. Para la marca Varel fue: 27.25, 53.73, 64.61 y 72605 respectivamente en 11” y 29.68, 51.96, 62.90 y 74250 respectivamente para 12 1//4”.

✓ Cuadro resumen de los parámetros de perforación por la litología en Toquepala.

N° de Broca	Serie	Pulg	Metros	Perfo	RPM	Vel. PEN	Pull Down	Presión de aire	Terreno
Broca 1	AP64-608216	11	2348	5	63.49	29.78	70300	59.18	R. Regular
Broca 2	AP64-608217	11	2237	5	63.85	27.62	73200	51.27	Roca Dura
Broca 3	AP64-608211	11	2386	5	63.68	25.82	73700	50.52	R. Suave
Broca 4	AP64-608210	11	2264	5	63.53	26.46	76900	50.23	Roca Dura
Broca 5	AP64-608215	11	2148	5	64.72	31.52	65500	63.05	R. Regular
Broca 6	APS7-405-17203001	11	2487	5	64.21	28.81	73170	50.16	Roca Dura
Broca 7	AP64-608212	11	2423	3	66.59	31.56	68700	50.17	R. Suave
Broca 8	AP64-608208	11	2451	8	65.36	32.44	70900	52.23	Roca Dura
Broca 9	AP64-608214	11	2198	8	64.72	29.55	69200	52.1	R. Regular
Broca 10	AP64-608213	11	2154	8	64.02	30.22	70000	51.84	R. Regular
PROMEDIO			2309.6		64.417	29.378	71157	53.075	

Tabla 16: Resumen de parámetros de brocas Mincon de 11"

Fuente: Elaboración propia

N° de Broca	Serie	Pulg	Metros	Perfo	RPM	Vel. PEN	Pull Down	Presión de aire	Terreno
Broca 1	APS6-313-17203084	12 1/4	1362	16	62.84	26.64	78800	49.58	Roca Dura
Broca 2	APS6-313-17203092	12 1/4	1457	16	65	37.13	80000	51.2	Roca Dura
Broca 3	APS6-313-17203083	12 1/4	1422	16	64.14	39	80000	50	Roca Dura
Broca 4	APS6-313-17203082	12 1/4	1145	11	56.92	21.09	72300	49.84	Roca Dura
Broca 5	APS6-313-17203085	12 1/4	1228	11	60.76	29.8	72400	49,59	R. Regular
Broca 6	APS6-313-17203090	12 1/4	1156	12	60.5	22.91	72800	50.73	R. Regular
Broca 7	APS6-313-17203086	12 1/4	1247	12	63.18	30.04	77500	48.55	Roca Dura
Broca 8	APS6-313-17203087	12 1/4	1433	12	62.22	33.73	75500	48.59	R. Regular
Broca 9	APS6-313-17203089	12 1/4	1084	12	62.28	34.16	80000	49	Roca Suave
Broca 10	APS6-313-17203088	12 1/4	1524	12	61.46	32.49	72500	49.75	Roca Suave
PROMEDIO			1305.8		61.93	30.699	76180	49.69	

Tabla 17: Resumen de parámetros de brocas Mincon de 12 1/4”

Fuente: Elaboración propia

N° de Broca	Serie	Pulg	Metros	Perfo	RPM	Vel. PEN	Pull Down	Presión de aire	Terreno
Broca 1	IADC 35669	11	2153	5	60.24	24.16	75000	54.27	Roca Dura
Broca 2	IADC 35676	11	1957	8	61.16	28.51	73500	53.15	Roca Dura
Broca 3	IADC 35672	11	2176	8	63.12	30.14	71900	51.87	Roca Dura
Broca 4	IADC 35678	11	2235	8	65.27	29.87	76400	50.72	Roca Dura
Broca 5	IADC 35674	11	2187	5	64.16	28.64	76000	55.79	R. Regular
Broca 6	IADC 35670	11	2346	5	65.87	29.15	75000	57.17	R. Regular
Broca 7	IADC 35677	11	2293	5	60.71	25.36	77300	56.34	R. Regular
Broca 8	IADC 35671	11	1942	5	63.47	31.85	78200	51.46	Roca Dura
Broca 9	IADC 35673	11	2092	3	63.24	26.12	72500	53.45	R. Suave
Broca 10	IADC 35675	11	2134	5	65.58	27.59	70300	56.81	R. Regular
PRMEDIO			2151.5		63.282	28.139	74610	54.103	

Tabla 18: Resumen de parámetros de brocas Ryder de 11"

Fuente: Elaboración propia

N° de Broca	Serie	Pulg	Metros	Perfo	RPM	Vel. PEN	Pull Down	Presión de aire	Terreno
Broca 1	CN70 - 46228	12 1/4	1992	12	61.46	29.82	7200 0	53.46	Roca Dura
Broca 2	CN70 - 46231	12 1/4	1734	12	62.22	32.91	7800 0	55.18	Roca Dura
Broca 3	CN70 - 46236	12 1/4	1628	16	64.14	32.37	8000 0	49.36	R. Regular
Broca 4	CN70 - 46234	12 1/4	1754	12	63.18	30.04	7300 0	57.68	R. Regular
Broca 5	CN70 - 46233	12 1/4	1529	12	66.19	29.24	7900 0	52.22	Roca Dura
Broca 6	CN70 - 46237	12 1/4	1846	11	60.76	33.16	8000 0	51.97	Roca Suave
Broca 7	CN70 - 46229	12 1/4	1876	12	60.5	27.61	7780 0	55.16	R. Regular
Broca 8	CN70 - 46232	12 1/4	1687	16	62.84	23.73	8000 0	46.14	Roca Dura
Broca 9	CN70 - 46235	12 1/4	2008	16	65	34.58	7650 0	52.07	R. Regular
Broca 10	CN70 - 46230	12 1/4	2157	11	56.92	26.64	8000 0	48.33	R. Regular
PROMEDIO			1821.1		62.32	30.01	7763	52.157	

Tabla 19: Resumen de parámetros de brocas Ryder de 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

N° de Broca	Serie	Pulg	Metros	Perfo	RPM	Vel. PEN	Pull Down	Presión de aire	Terreno
Broca 1	7608212	11	1845	3	62.87	24.19	73000	50.23	R. Suave
Broca 2	7608215	11	1654	3	61.24	22.47	70000	52.1	R. Regular
Broca 3	7608214	11	1548	5	66.91	30.48	75000	52.23	Roca Dura
Broca 4	7608219	11	1758	5	63.14	29.54	72800	51.84	Roca Dura
Broca 5	7608217	11	1963	1	65.27	27.86	77500	59.18	R. Regular
Broca 6	7608220	11	1727	1	65.18	26.72	73600	50.52	R. Regular
Broca 7	7608218	11	1358	3	64.83	25.64	70400	51.27	Roca Dura
Broca 8	7608213	11	1599	3	66.79	26.34	71450	54.51	R. Regular
Broca 9	7608221	11	1465	5	64.51	30.16	69800	55.33	Roca Dura
Broca 10	7608216	11	1312	1	65.36	29.18	72500	60.18	Roca Dura
PRMEDIO			1622.9		64.61	27.258	72605	53.739	

Tabla 20: Resumen de parámetros de brocas Varel de 11”

Fuente: Elaboración propia

N° de Broca	Serie	Pulg	Metros	Perfo	RPM	Vel. P	Pull Down	Presion de aire	Terreno
Broca 1	1580923	12 1/4	1460	19	60.18	30.47	72800	50.24	Roca Dura
Broca 2	1580929	12 1/4	1528	17	59.36	31.18	75000	51	Roca Dura
Broca 3	1580924	12 1/4	1365	16	65.34	33	70000	52	R. Regular
Broca 4	1580930	12 1/4	1350	16	62.05	31.84	80000	50.33	Roca Dura
Broca 5	1580926	12 1/4	1705	12	61.84	35.16	76500	55	R. Regular
Broca 6	1580932	12 1/4	1368	11	60.76	28	80000	53.85	R. Regular
Broca 7	1580927	12 1/4	1449	18	65.32	23.42	73200	50	Roca Dura
Broca 8	1580928	12 1/4	1599	16	64.16	27.33	70000	55	Roca Suave
Broca 9	1580925	12 1/4	1465	11	65	35.14	71600	53	Roca Suave
Broca 10	1580931	12 1/4	1312	18	65	21.35	73400	49.18	Roca Dura
PROMEDIO			1460.1		62.901	29.689	74250	51.96	

Tabla 21: Resumen de parámetros de brocas Varel de 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Procesamiento de la información recolectada

Para el siguiente trabajo el procedimiento a seguir para poder procesar e interpretar toda la información recolectada previamente fue ordenando los datos en una primera instancia mediante el uso de tablas y cuadros para cada variable y luego se procedió al procesamiento en el cual se utilizó técnicas estadísticas para analizar datos como la presión de aire, velocidad de perforación, PullDown, Vita útil, etc.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1.1. T Student como técnica estadística para determinar la mejor opción de triconos usando: rendimiento y la velocidad de penetración (Rop) que son las variables más determinantes a la hora de seleccionar un tricono.

En las siguientes tablas se muestra el análisis estadístico con T Student de los rendimientos y velocidades de las brocas Mincon, Ryder y Varel de 11", con una muestra de 10 brocas por marca.

Considerando la siguiente hipótesis:

- H_0 = no hay diferencia entre medias.
- H_a = si hay diferencia entre medias.

	Metros MINCON	Metros RYDER
Media	2309.6	2151.5
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	2.766075458	
P(T<=t) dos colas	0.012727904	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.01272), P<0.05	Por lo tanto si es significativo	

Tabla 22: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Ryder de 11"

Fuente: Elaboración Propia

	Metros MINCON	Metros VAREL
Media	2309.6	1622.9
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	8.908559906	
P(T<=t) dos colas	0.0000001	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.0000001), P<0.05	Por lo tanto si es significativo	

Tabla 23: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Varel de 11"

Fuente: Elaboración Propia

	Metros RYDER	Metros VAREL
Media	2151.5	1622.9
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	6.791254704	
P(T<=t) dos colas	0.000002	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.000002), P<0.05	Por lo tanto si es significativo	

Tabla 24: Análisis estadístico de rendimiento entre Ryder y Varel de 11”

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto se cumple la segunda hipótesis (H_a = si hay diferencia entre medias) ya que T en todos los casos es menor a 0.05, que es nuestro grado de significancia, es decir que la diferencia de metraje entre Mincon, Ryder y Varel de 11” estadísticamente es significativo debido a la aleación, refuerzos y materiales de los que están constituidos cada uno de los triconos.

Ahora analizaremos las velocidades de las diferentes marcas para 11”:

	ROP MINCON	ROP RYDER
Media	29.378	28.139
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	1.210240473	
P(T<=t) dos colas	0.241840179	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.24184), P>0.05	Por lo tanto no es significativo	

Tabla 25: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Ryder de 11”

Fuente: Elaboración Propia

	ROP MINCON	ROP VAREL
Media	29.378	27.258
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	1.932005462	
P(T<=t) dos colas	0.069255196	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.06925), P>0.05	Por lo tanto no es significativo	

Tabla 26: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Varel de 11”

Fuente: Elaboración Propia

	ROP RYDER	ROP VAREL
Media	28.139	27.258
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	0.781862843	
P(T<=t) dos colas	0.444458866	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.44445), P>0.05	Por lo tanto no es significativo	

Tabla 27: Análisis estadístico de velocidad entre Ryder y Varel de 11”

Fuente: Elaboración Propia

En este caso se cumple la primera hipótesis (H0 = no hay diferencia entre medias) ya que T en todos los casos es mayor a 0.05, que es nuestro grado de significancia, es decir que la diferencia de velocidades entre Mincon, Ryder y Varel estadísticamente no es significativa.

Las pruebas se realizaron sobre un terreno con dureza media, donde las rocas predominantes son la Dacita y las Brechas sobre las fases 4, 5 y 6 del tajo, teniendo una **RC = 92 Mpa**.

Utilizando la fórmula de la Velocidad de Penetración tenemos:

$$VP = \left(\frac{63.9 \times E \times N}{RC^2 \times D^{0.9}} \right)$$

Donde:

- E = Empuje en Kg.
- N = Velocidad de rotación en rpm.

- RC = Resistencia a la compresión de la roca en Mpa.
- D = Diámetro de la broca en mm.

Por lo tanto tenemos:

MINCON 11"	
DATOS	
E	98000.85
N	64.41
RC	92
D	279.4
VP real	29.37
VP teórica	29.96

Tabla 28: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Mincon de 11"

Fuente: Elaboración Propia

RYDER 11"	
DATOS	
E	98000.85
N	63.28
RC	92
D	279.4
VP real	28.13
VP teórica	29.43

Tabla 29: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Ryder de 11"

Fuente: Elaboración Propia

VAREL 11"	
DATOS	
E	98000.85
N	64.61
RC	92
D	279.4
VP real	27.25
VP teórica	30.05

Tabla 30: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Varel de 11"

Fuente: Elaboración Propia

En las siguientes tablas se muestra el análisis estadístico con T Student de los rendimientos y velocidades de las brocas Mincon,

Ryder y Varel de 12 1/4", con una muestra de 10 brocas por marca.

Considerando la siguiente hipótesis:

- H_0 = no hay diferencia entre medias.
- H_a = si hay diferencia entre medias.

	Metros MINCON	Metros RYDER
Media	1305.8	1821.1
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-6.630438823	
P(T<=t) dos colas	0.000003	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.000003), P<0.05	Por lo tanto si es significativo	

Tabla 31: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Ryder de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

	Metros MINCON	Metros VAREL
Media	1305.8	1460.1
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-2.488837374	
P(T<=t) dos colas	0.022831329	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.02283), P<0.05	Por lo tanto si es significativo	

Tabla 32: Análisis estadístico de rendimiento entre Mincon y Varel de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

	Metros RYDER	Metros VAREL
Media	1821.1	1460.1
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	5.00140631	
P(T<=t) dos colas	0.00009	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.00009), P<0.05	Por lo tanto si es significativo	

Tabla 33: Análisis estadístico de rendimiento entre Ryder y Varel de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto se cumple la segunda hipótesis (H_a = si hay diferencia entre medias) ya que T en todos los casos es menor a 0.05, que es nuestro grado de significancia, es decir que la diferencia de metraje entre Mincon, Ryder y Varel de 12 1/4" estadísticamente es significativo debido a la aleación, refuerzos y materiales de los que están constituidos cada uno de los triconos.

Ahora analizaremos las velocidades de las diferentes marcas para 12 1/4":

	ROP MINCON	ROP RYDER
Media	30.699	30.01
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	0.323867794	
P(T<=t) dos colas	0.749770986	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.74977), P>0.05	Por lo tanto no es significativo	

Tabla 34: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Ryder de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

	ROP MINCON	ROP VAREL
Media	30.699	29.689
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	0.428214946	
P(T<=t) dos colas	0.673574678	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.67357), P>0.05	Por lo tanto no es significativo	

Tabla 35: Análisis estadístico de velocidad entre Mincon y Varel de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

	ROP RYDER	ROP VAREL
Media	30.01	29.689
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
Estadístico t	0.176616431	
P(T<=t) dos colas	0.861781696	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	
T=(0.86178), P>0.05	Por lo tanto no es significativo	

Tabla 36: Análisis estadístico de velocidad entre Ryder y Varel de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

En este caso se cumple la primera hipótesis (H0 = no hay diferencia entre medias) ya que T en todos los casos es mayor a 0.05, que es nuestro grado de significancia, es decir que la diferencia de velocidades entre Mincon, Ryder y Varel de 12 1/4" estadísticamente no es significativa.

Utilizando la fórmula de la Velocidad de Penetración tenemos:

$$VP = \left(\frac{63.9 \times E \times N}{RC^2 \times D^{0.9}} \right)$$

Donde:

- E = Empuje en Kg.
- N = Velocidad de rotación en rpm.
- RC = Resistencia a la compresión de la roca en Mpa.
- D = Diámetro de la broca en mm.

Por lo tanto tenemos:

MINCON 12 1/4"	
DATOS	
E	121000
N	61.93
RC	92
D	311.15
VP real	30.69
VP teórica	32.28

Tabla 37: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Mincon de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

RYDER 12 1/4"	
DATOS	
E	121000
N	62.32
RC	92
D	311.15
VP real	30.01
VP teórica	32.48

Tabla 38: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Ryder de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

VAREL 12 1/4"	
DATOS	
E	121000
N	62.9
RC	92
D	311.15
VP real	29.68
VP teórica	32.79

Tabla 39: Datos para hallar la velocidad teórica en Brocas Varel de 12 1/4"

Fuente: Elaboración Propia

RESUMEN DE RENDIMIENTO, VELOCIDAD DE PENETRACIÓN Y TDC DE LAS BROCAS 11"					
MARCA	RENDIMIENTO (m)	ROP (m/hr)	TDC (\$/m)	V. MEDIA	TDC (\$/m)
MINCON	2309.6	29.378	6.85	14.12	12.74
RYDER	2151.5	28.139	7.19	13.73	13.17
VAREL	1622.9	27.258	7.88	13.45	13.89

Tabla 40: Resumen de los rendimientos en la perforación de 11

Fuente: Elaboración propia

RESUMEN DE RENDIMIENTO, VELOCIDAD DE PENETRACIÓN Y TDC DE LAS BROCAS 12 1/4"					
MARCA	RENDIMIENTO (m)	ROP (m/hr)	TDC (\$/m)	V. MEDIA	TDC (\$/m)
MINCON	1305.8	30.69	8.12	14.53	13.92
RYDER	1821.1	30.01	7.41	14.32	13.26
VAREL	1460.1	29.68	7.99	14.22	13.85

Tabla 41: Resumen de los rendimientos en la perforación de 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Comparación de rendimientos óptimos de brocas según las diferentes marcas Mincon, Varel y Ryder.

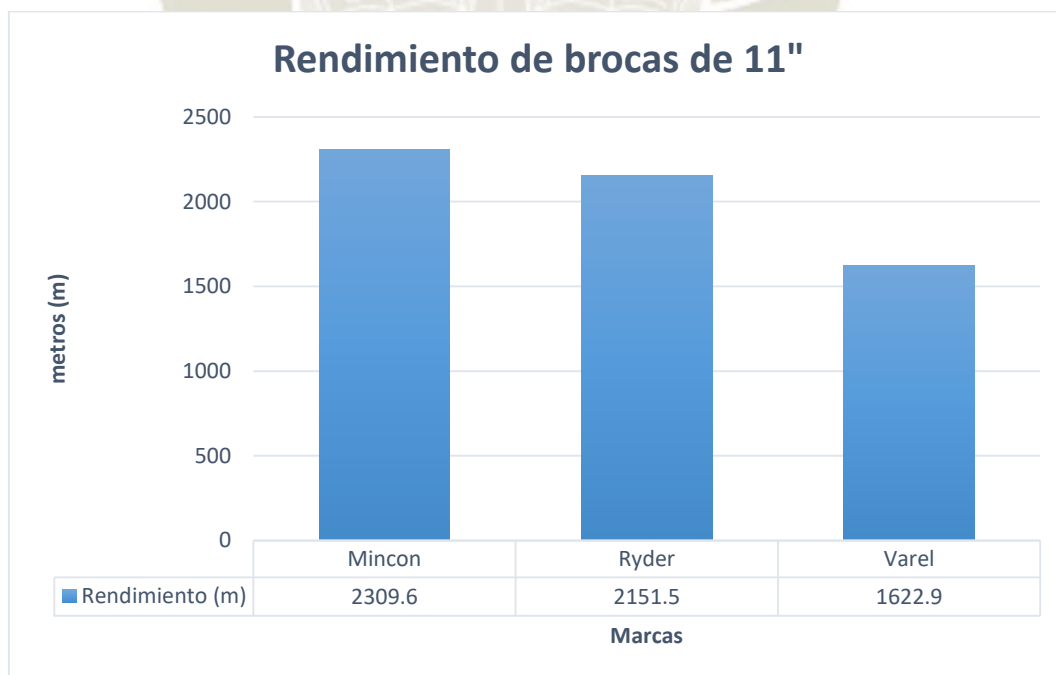
5.1.2.1. La comparación según las marcas de brocas de 11" de diámetro, resultado:

- Mincon: 2309.6 m (1°)
- Ryder: 2151.5 m (2°)
- Varel: 1622.9 m (3°)

Marca	Rendimiento (m)
Mincon	2309.6
Ryder	2151.5
Varel	1622.9

Tabla 42: Resumen de rendimientos de la vida útil promedio de las brocas de 11" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4: Rendimientos de brocas según marcas 11"

Fuente: Elaboración propia

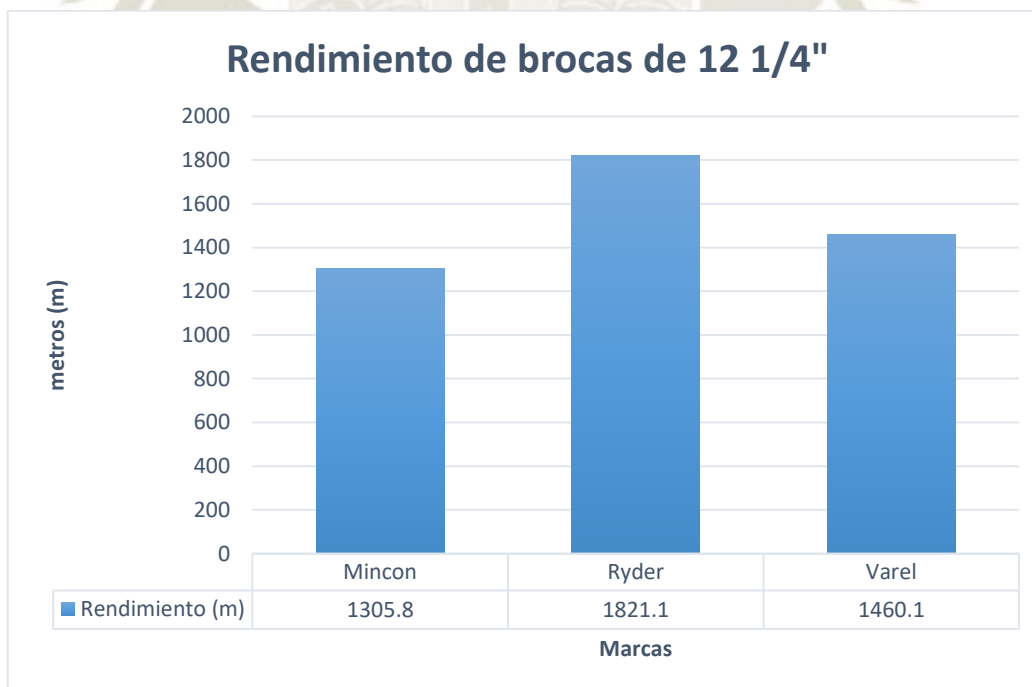
5.1.2.2. La comparación según las marcas de brocas de 12 1/4” de diámetro, resultado:

- Mincon: 1305.8 m (3°)
- Ryder: 1821.1 m (1°)
- Varel: 1460.1 m (2°)

Marca	Rendimiento (m)
Mincon	1305.8
Ryder	1821.1
Varel	1460.1

Tabla 43: Resumen de rendimientos de la vida útil promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 5: Rendimientos de brocas según marcas 12 1/4”

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Comparación entre rango de velocidad de penetración a la roca según marcas Mincon, Ryder y Varel.

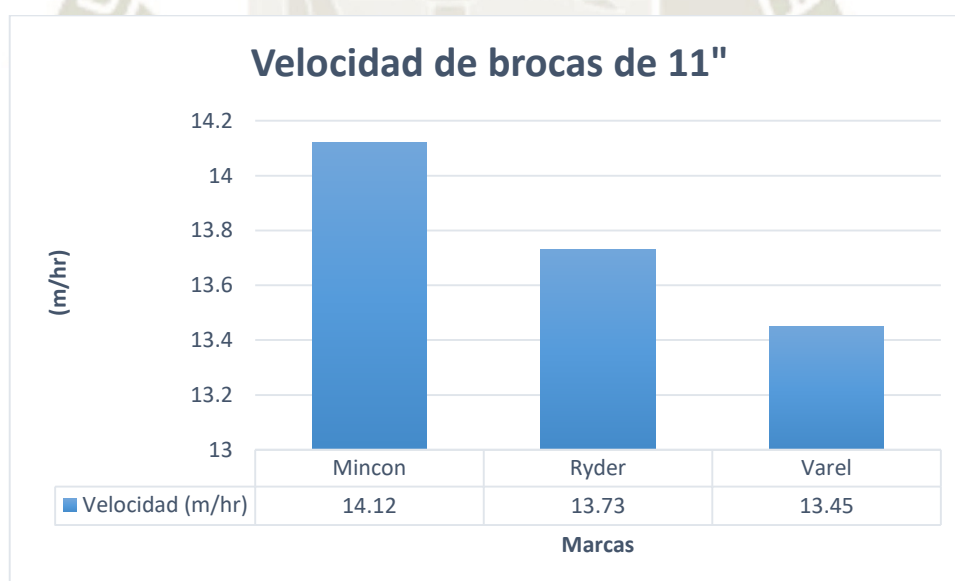
En los gráficos siguientes se presenta la distribución normal de la velocidad de penetración de las brocas.

5.1.3.1. La comparación entre rango de velocidad de penetración para brocas de 11" de diámetro.

Marca	Velocidad (m/hr)
Mincon	14.12
Ryder	13.73
Varel	13.45

Tabla 44: Resumen de Velocidad de penetración promedio de las brocas de 11" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 6: Velocidad de penetración de brocas según marcas 11"

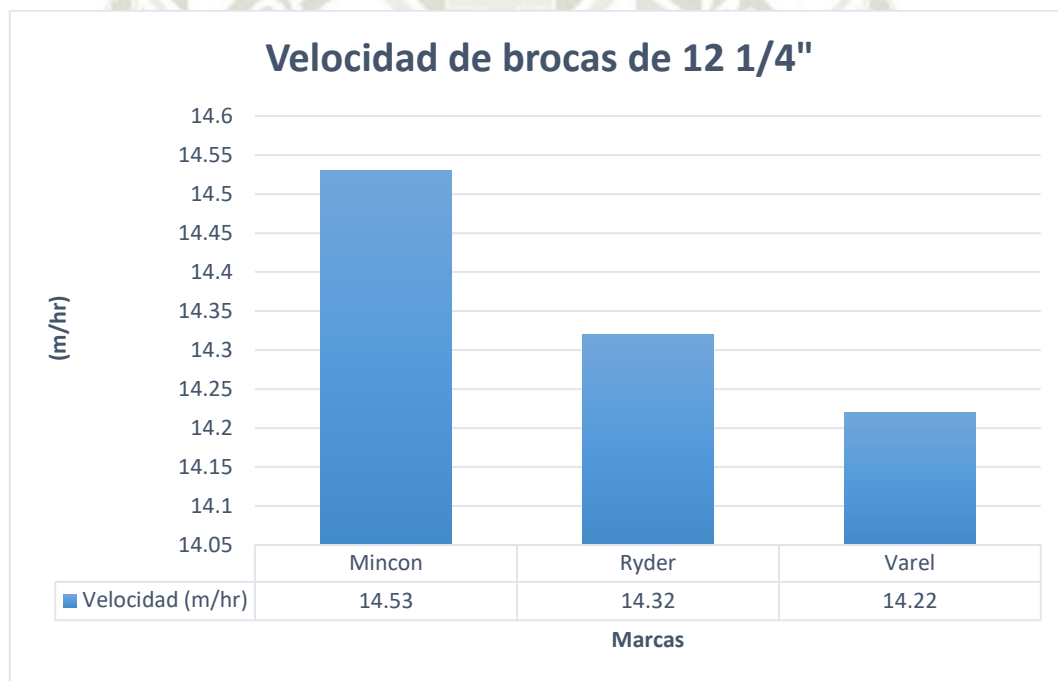
Fuente: Elaboración propia

5.1.3.2. La comparación entre rango de velocidad de penetración para brocas de 12 1/4" de diámetro.

Marca	Velocidad (m/hr)
Mincon	14.53
Ryder	14.32
Varel	14.22

Tabla 45: Resumen de Velocidad de penetración promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 7: Velocidad de penetración de brocas según marcas 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

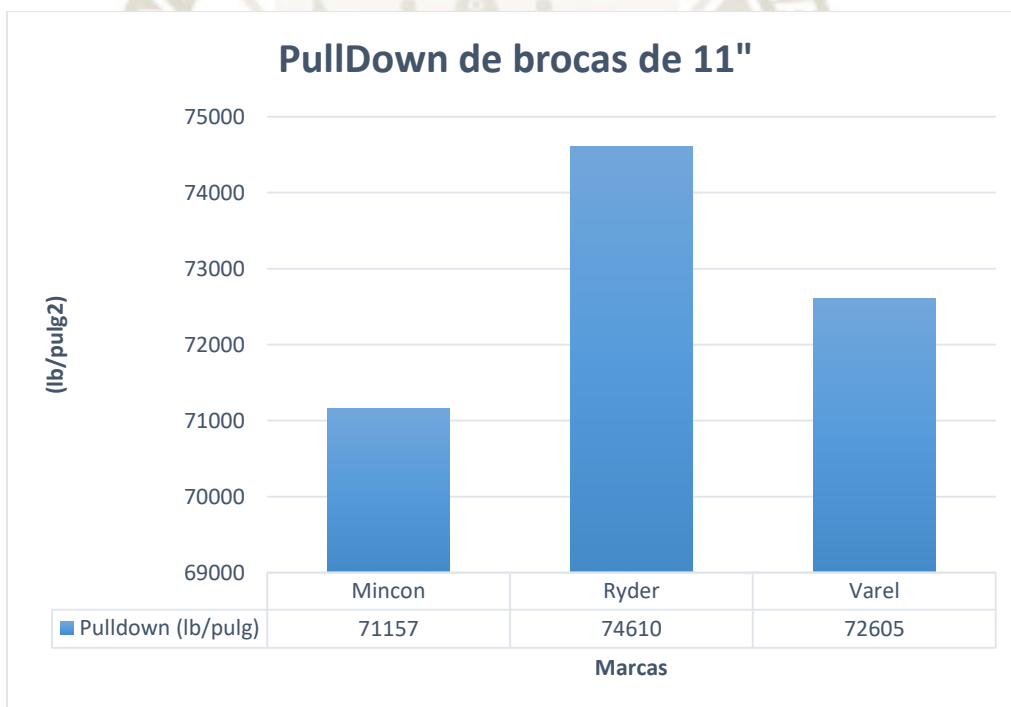
5.1.4. Comparación entre PullDown según marcas Mincon, Ryder y Varel.

5.1.4.1. La comparación entre PullDown para brocas de 11" de diámetro.

Marca	Pulldown (lb/pulg)
Mincon	71157
Ryder	74610
Varel	72605

Tabla 46: Resumen de Pulldown promedio de las brocas de 11" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 8: Pulldown de brocas según marcas 11"

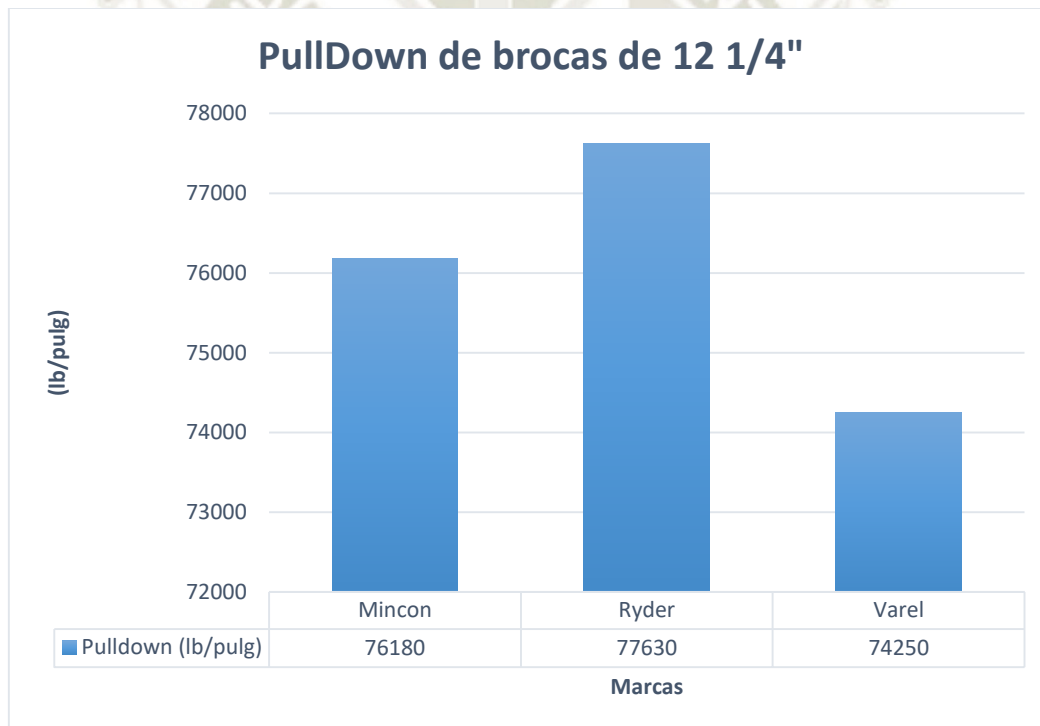
Fuente: Elaboración propia

5.1.4.2. La comparación entre PullDown para brocas de 12 1/4” de diámetro.

Marca	Pulldown (lb/pulg2)
Mincon	76180
Ryder	77630
Varel	74250

Tabla 47: Resumen de Pulldown promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 9: Pulldown de brocas según marcas 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

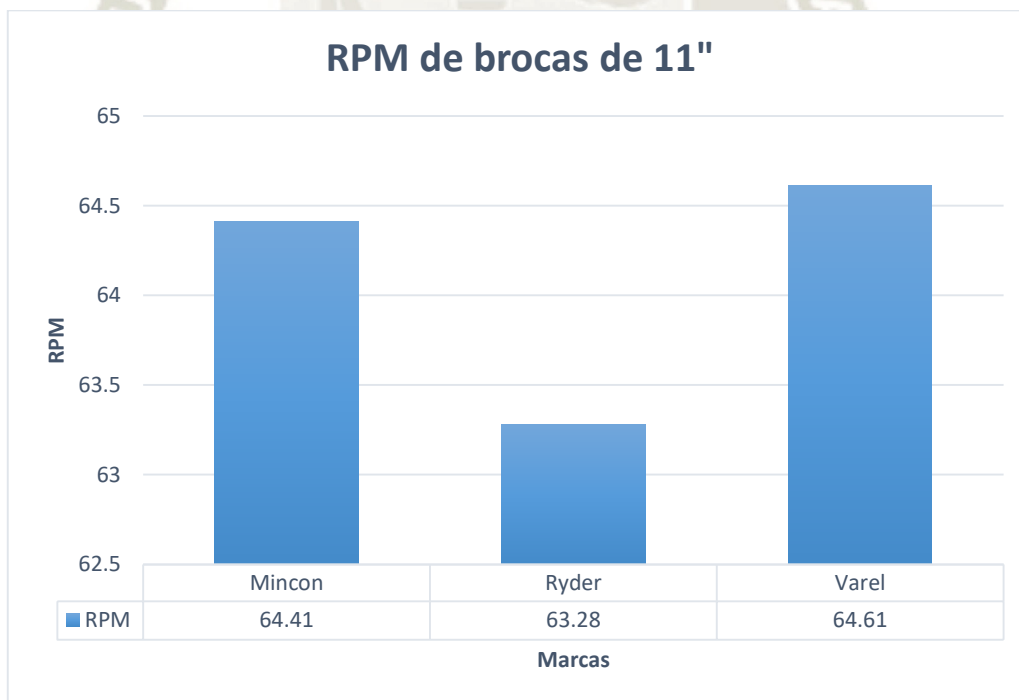
5.1.5. Comparación entre RPM (rotación) según marcas Mincon, Ryder y Varel.

5.1.5.1. La comparación entre RPM para brocas de 11" de diámetro.

Marca	RPM
Mincon	64.41
Ryder	63.28
Varel	64.61

Tabla 48: Resumen de RPM promedio de las brocas de 11" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 10: RPM de brocas según marcas 11"

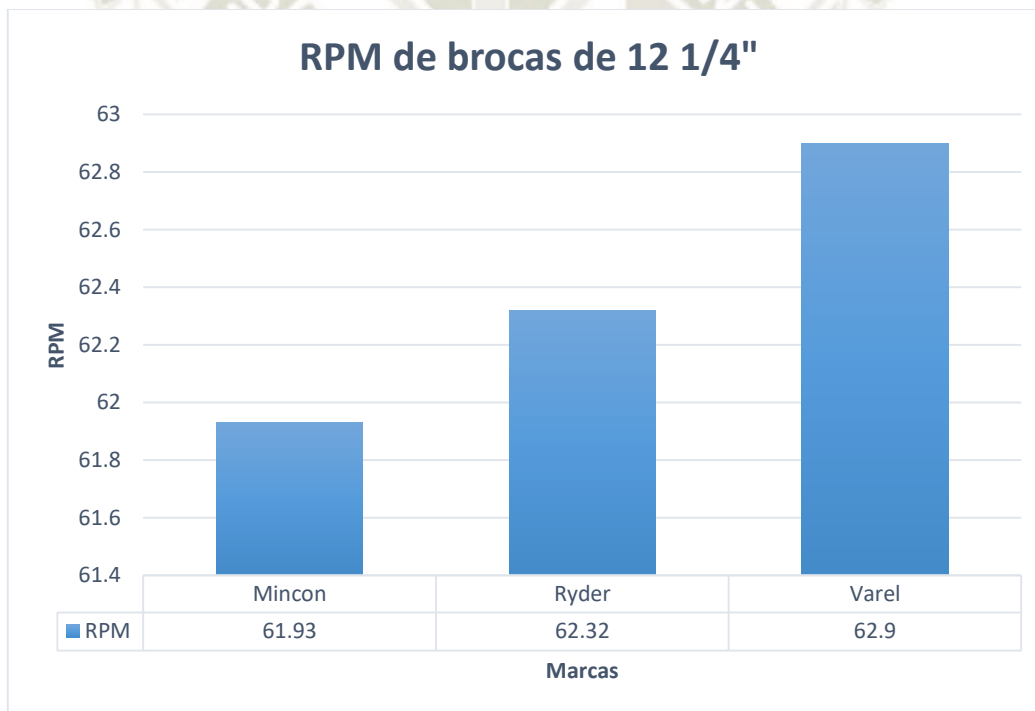
Fuente: Elaboración propia

5.1.5.2. La comparación entre RPM para brocas de 12 1/4" de diámetro.

Marca	RPM
Mincon	61.93
Ryder	62.32
Varel	62.9

Tabla 49: Resumen de RPM promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 11: RPM de brocas según marcas 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

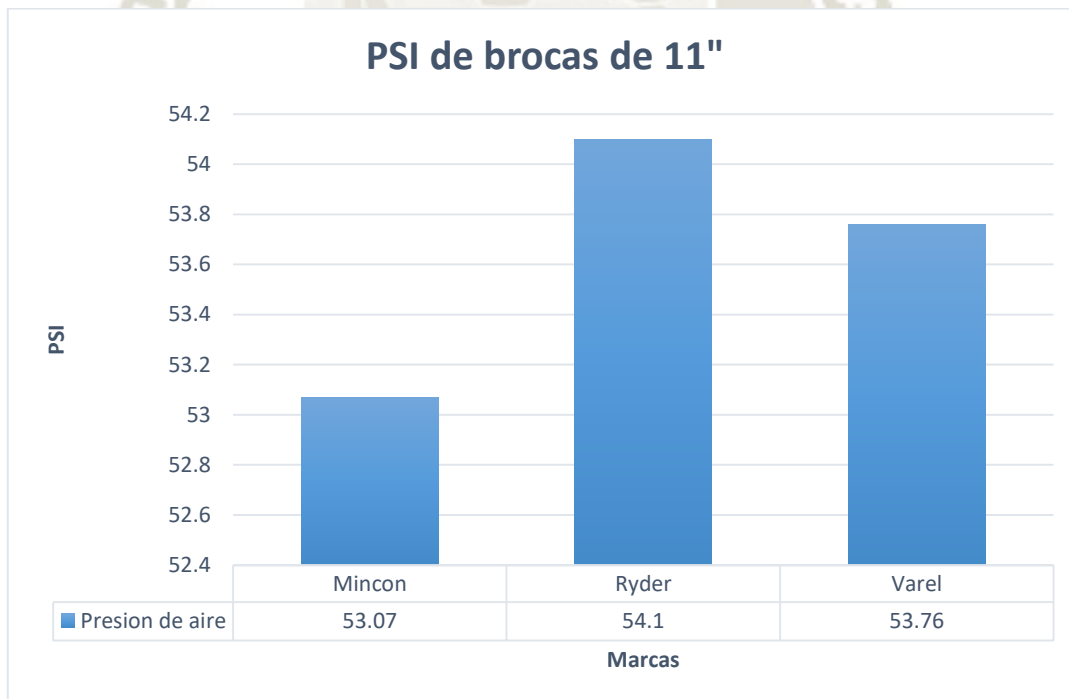
5.1.6. Comparación entre presión de aire según marcas Mincon, Ryder y Varel.

5.1.6.1. La comparación entre presión de aire para brocas de 11" de diámetro.

Marca	Presión de aire
Mincon	53.07
Ryder	54.1
Varel	53.76

Tabla 50: Resumen de PSI promedio de las brocas de 11" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 12: PSI de brocas según marcas 11"

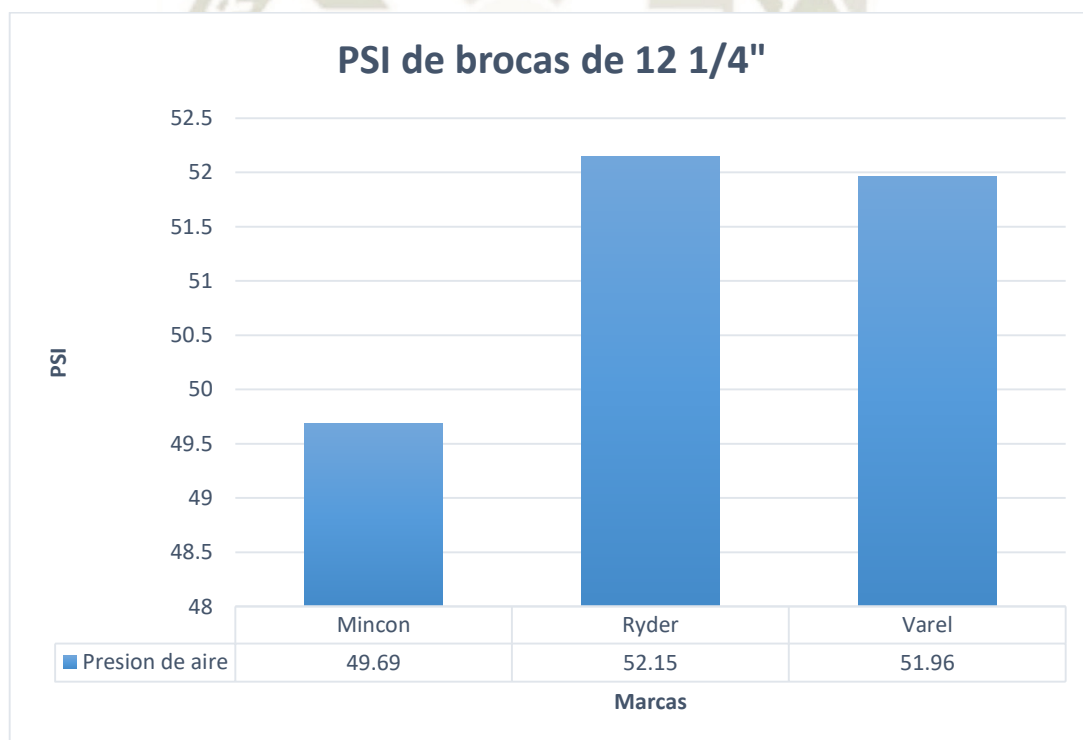
Fuente: Elaboración propia

5.1.6.2. La comparación entre presión de aire para brocas de 12 1/4" de diámetro.

Marca	Presión de aire
Mincon	49.69
Ryder	52.15
Varel	51.96

Tabla 51: Resumen de PSI promedio de las brocas de 12 1/4" según las marcas.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 13: PSI de brocas según marcas 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

5.1.7. Comparación entre TDC según marcas Mincon, Ryder y Varel.

5.1.7.1. La comparación entre TDC para brocas de 11" de diámetro.

Marca	Mincon	Ryder	Varel
Costo de Bit	3250	3260	3230
Metros perforados	2309.6	2151.5	1622.9
Costo horario de perf.	160	160	160
Velocidad de perf.	14.12	13.76	13.45

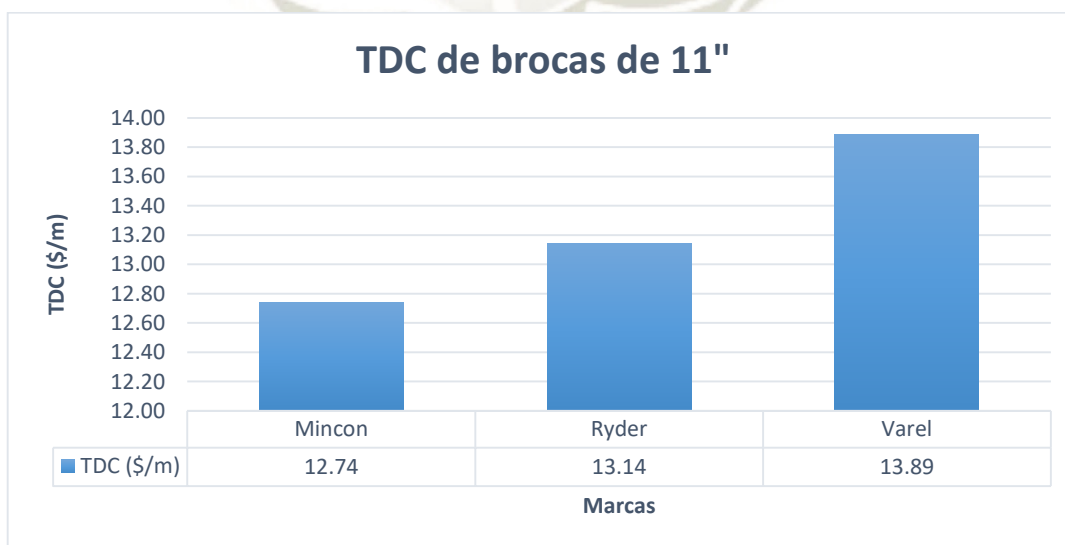
Tabla 52: Ítems para calcular el TDC 11"

Fuente: Elaboración propia

Marca	TDC (\$/m)
Mincon	12.74
Ryder	13.14
Varel	13.89

Tabla 53: Resumen de TDC de las brocas de 11" según las marcas

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 14: TDC de brocas según marcas 11"

Fuente: Elaboración propia

5.1.7.2. La comparación entre TDC para brocas de 12 1/4" de diámetro.

Marca	Mincon	Ryder	Varel
Costo de Bit	3800	3800	3790
Metros perforados	1305.8	1821.1	1460.1
Costo horario de perf.	160	160	160
Velocidad de perf.	14.53	14.32	14.22

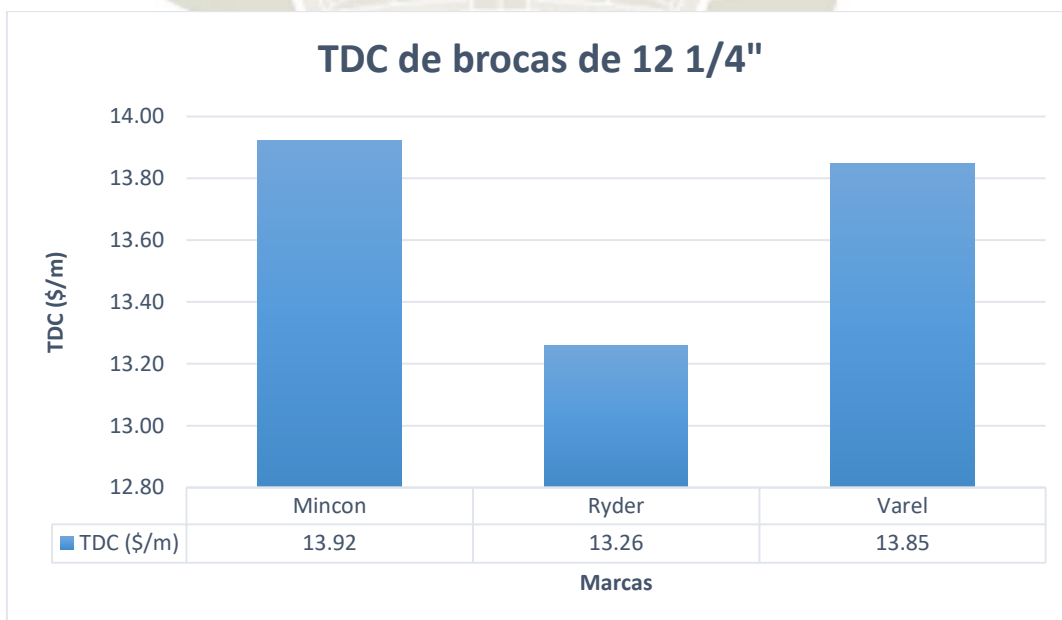
Tabla 54: Ítems para calcular el TDC 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

Marca	TDC (\$/m)
Mincon	13.92
Ryder	13.26
Varel	13.85

Tabla 55: Resumen de TDC de las brocas de 12 1/4" según las marcas

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 15: TDC de brocas según marcas 12 1/4"

Fuente: Elaboración propia

5.2. Comparación de TDC, ahorro mensual y anual.

El TDC actual en la mina Toquepala para brocas de 11" es de **13.89 \$/m**, y el TDC para brocas de 12 ¼" es de **13.85 \$/m**, siendo Varel la marca utilizada por la empresa Southern Perú.

Luego del estudio de comparación de brocas en cuanto a rendimientos y costos, se seleccionó la broca marca Mincon para brocas de 11" y la broca marca Ryder para brocas de 12 ¼", siendo sus TDC: **12.74 \$/m** y **13.26 \$/m** respectivamente.

Por lo tanto, haciendo la diferencia nos da como resultado un ahorro de **1.15 \$/m** en brocas de 11" y **0.59 \$/m** para brocas de 12 ¼".

Datos de la Mina

- Profundidad de taladros: 17 metros
- Taladros por turno: 20
- Turnos por día: 2
- Número de perforadoras: 7 perforadoras de 11" y 7 perforadoras de 12 ¼".
- Metros por día: 4760 m.
- Metros por mes: 142800 m.
- Metros por año: 1713600 m.

Por lo tanto, el costo actual mensual en la mina Toquepala para brocas de 11" es de **1, 982,874.21 \$/mes**, y para brocas de 12 ¼" es de **1, 977,894.54 \$/mes**.

Luego del Test de brocas triconicas que se realizó en la mina Toquepala, se obtuvo lo siguiente:

Para brocas de 11" de la marca Mincon, el costo mensual es de: **1, 818,890.72 \$/mes**, y para brocas de 12 ¼" de la marca Ryder, el costo mensual es de: **1, 893,690.47 \$/mes**.

Haciendo la diferencia tendríamos un ahorro mensual de **163,983.49 \$/mes**, anual de **1, 967,801.93 \$/año** para brocas de 11" y un ahorro

mensual de **84,204.07 \$/mes**, anual de **1, 010,448.83 \$/año** para brocas de 12 ¼”.

5.3. Optimización del costo total de perforación de brocas según litología.

5.3.1. Cuadro Resumen para brocas de 11”

MARCA	Parámetros de Perforación	Tipo de Roca		
		Roca Dura	R. Regular	R. suave
MINCON	Velocidad de penetración (m/hr)	28.83	30.26	31.25
	PSI	50.97	56.54	50.345
	RPM	64.23	64.23	65.135
	PULL DOWN	73542.5	72750	71200
RYDER	Velocidad de penetración (m/hr)	26.12	27.685	28.90
	PSI	52.294	56.5275	53.45
	RPM	62.652	64.08	63.24
	PULL DOWN	75000	74650	72500
VAREL	Velocidad de penetración (m/hr)	24.19	25.84	29
	PSI	54.17	54.077	50.23
	RPM	64.95	64.62	62.87
	PULL DOWN	74100	73137.5	73000

Tabla 56: Resumen de brocas de 11" de parámetros de perforación para optimizar el costo total de perforación

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Cuadro Resumen para brocas de 12 ¼”.

MARCA	Parámetros de Perforación	Tipo de Roca		
		Roca Dura	R. Regular	R. suave
MINCON	Velocidad de penetración (m/hr)	30.78	31.355	33.325
	PSI	49.834	50.73	49.375
	RPM	62.416	60.63	61.87
	PULL DOWN	77720	72600	71250
RYDER	Velocidad de penetración (m/hr)	28.952	30.248	33.16
	PSI	51.75	52.52	51.97
	RPM	63.177	61.948	60.76
	PULL DOWN	80000	77460	77250
VAREL	Velocidad de penetración (m/hr)	27.652	32.053	33.23
	PSI	50.15	53.61	54
	RPM	62.382	62.64	64.58
	PULL DOWN	74880	73500	70800

Tabla 57: Resumen de brocas de 12 1/4" de parámetros de perforación para optimizar el costo total de perforación

Fuente: Elaboración propia

A mayor velocidad de penetración, menor TDC. Por lo tanto, la velocidad de penetración es el factor que más influye en la formula.

En los cuadros adjuntos se observa que para aumentar la velocidad de penetración es necesario aumentar el Pull down en roca suave y disminuir en roca dura, mientras que las RPM se debe de aumentar en roca dura y disminuir en roca suave y así poder obtener una perforación optima de taladros.

En los siguientes cuadros se muestra la diferencia que existe si se aplican los parámetros de manera óptima, para aumentar la velocidad de penetración y disminuir el costo total de perforación por cada tipo de roca.

MARCA	Parámetros de Perforación	VALORES	Tipo de Roca		
			Roca Dura	R. Regular	R. suave
MINCON	Velocidad de penetración (m/hr)	ANTES	28.83	30.26	31.25
		AHORA	29.58	31.94	33.16
	TDC (US\$/m)	ANTES	6.93	6.76	6.47
		AHORA	6.79	6.48	6.18
RYDER	Velocidad de penetración (m/hr)	ANTES	26.12	27.685	28.906
		AHORA	27.87	28.75	30.28
	TDC (US\$/m)	ANTES	7.68	7.23	7.09
		AHORA	7.30	7.02	6.84
VAREL	Velocidad de penetración (m/hr)	ANTES	24.19	25.84	29
		AHORA	25.66	27.32	30.94
	TDC (US\$/m)	ANTES	8.78	8.05	7.27
		AHORA	8.41	7.72	6.92

Tabla 58: Comparación de los valores del antes y después de la velocidad de penetración y del TDC para brocas de 11"

Fuente: elaboración propia

MARCA	Parámetros de Perforación	VALORES	Tipo de Roca		
			Roca Dura	R. Regular	R. suave
MINCON	Velocidad de penetración (m/hr)	ANTES	30.78	31.355	33.325
		AHORA	31.82	32.65	34.89
	TDC (US\$/m)	ANTES	8.06	8.29	7.72
		AHORA	7.89	8.09	7.50
RYDER	Velocidad de penetración (m/hr)	ANTES	28.952	30.248	33.16
		AHORA	30.17	31.81	34.62
	TDC (US\$/m)	ANTES	7.72	7.31	6.88
		AHORA	7.49	7.05	6.68
VAREL	Velocidad de penetración (m/hr)	ANTES	27.652	32.053	33.23
		AHORA	28.93	33.64	34.76
	TDC (US\$/m)	ANTES	8.46	7.55	7.29
		AHORA	8.20	7.32	7.08

Tabla 59: Comparación de los valores del antes y después de la velocidad de penetración y del TDC para brocas de 12 1/4"

Fuente: elaboración propia

El TDC Optimizado para brocas de la marca Mincon de 11" en roca dura, regular y suave es de: 6.79 \$/m, 6.48 \$/m y 6.18 \$/m respectivamente.

Haciendo la diferencia:

$$6.93 - 6.79 = 0.14 \text{ para roca dura}$$

$$6.76 - 6.48 = 0.28 \text{ para roca regular}$$

$$6.47 - 6.18 = 0.29 \text{ para roca suave}$$

Si los metros programados para perforar en mina es de: 142800 m/mes.

Por lo tanto:

El ahorro sería: 20,094.01 \$/mes, para roca dura.

El ahorro sería: 39,714.91 \$/mes, para roca regular.

El ahorro sería: 42,113.08 \$/mes, para roca suave.

El TDC Optimizado para brocas de la marca Ryder de 12 1/4" en roca dura, regular y suave es de: 7.49 \$/m, 7.05 \$/m y 6.68 \$/m respectivamente.

Haciendo la diferencia:

$$7.72 - 7.49 = 0.22 \text{ para roca dura}$$

$$7.31 - 7.05 = 0.26 \text{ para roca regular}$$

$$6.88 - 6.68 = 0.20 \text{ para roca suave}$$

Si los metros programados para perforar en mina es de: 142800 m/mes.

Por lo tanto:

El ahorro sería: 31,859.69 \$/mes, para roca dura.

El ahorro sería: 37,091.03 \$/mes, para roca regular.

El ahorro sería: 29,057.58 \$/mes, para roca suave.

5.4. Velocidad media de perforación traducida en costos

Para obtener la Velocidad media de perforación, tenemos que considerar las demoras por cambio de posición de la perforadora de taladro a taladro, por lo tanto utilizamos la fórmula:

$$VM = (ROP \times 2)^{0.65}$$

Donde:

- ROP = Velocidad de penetración en el campo.

Y luego tenemos:

MARCA/MEDIDA	11"	12 1/4"	11"	12 1/4"
	ROP (m/h)	ROP (m/h)	V. MEDIA (m/h)	V. MEDIA (m/h)
MINCON	29.37	30.69	14.12	14.53
RYDER	28.14	30.01	13.73	14.32
VAREL	27.25	29.68	13.45	14.22

Tabla 60: Velocidad de penetración ideal para las marcas

Fuente: Elaboración propia

Luego calculamos el TDC antes y después de las pruebas con la velocidad media:

Marca	TDC (\$/m)	COSTO MENSUAL (\$)	COSTO ANUAL (\$)
Mincon 11"	12.74	1818890.72	21826688.61
Mincon 12 1/4"	13.92	1988206.40	23858476.84
Ryder 11"	13.17	1880276.92	22563323.05
Ryder 12 1/4"	13.26	1893690.47	22724285.68
Varel 11"	13.89	1982874.21	23794490.53
Varel 12 1/4"	13.85	1977894.54	23734734.51

Tabla 61: TDC con la velocidad de penetración media

Fuente: Elaboración propia

Por último, calculamos el ahorro mensual y anual que nos genera trabajar con las marcas de menor TDC (Mincon 11" y Ryder 12 1/4") utilizando la velocidad de penetración media:

MARCAS	MENSUAL	ANUAL
Mincon 11" con velocidad media:	163,983.49	1,967,801.93
Ryder 12 1/4 con velocidad media:	84,204.07	1,010,448.83

Tabla 62: Diferencia entre el costo mensual y anual de velocidades

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Ahorro mensual con Mincon de 11": 163,983.49 \$/mes.
- ✓ Ahorro anual con Mincon de 11": 1,967, 801.93 \$/año.
- ✓ Ahorro mensual con Ryder de 12 1/4": 84,204.07 \$/mes.
- ✓ Ahorro anual con Ryder de 12 1/4": 1, 010,448.83 \$/año.

5.5. Flujo de caja económico

5.5.1. Costos Fijos

COSTOS FIJOS				
ITEM	Cantidad	Sueldo mensual (us\$)	Costo unitario (us\$)	Costo total
Broca tricónica de 11" Mincon	10		3250	32500
Broca tricónica de 12 1/4" Mincon	10		3800	38000
Broca tricónica de 11" Ryder	10		3260	32600
Broca tricónica de 12 1/4" Ryder	10		3800	38000
Soporte Técnico en campo Mincon	1	1000		3000
Soporte Técnico en campo Ryder	1	1000		3000
Camioneta Hilux (Mincon)	1		activo fijo de contrata	0
Camioneta Hilux (Ryder)	1		activo fijo de contrata	0
TOTAL				147100

Tabla 63: Costos fijos

Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Costos Variables

COSTOS VARIABLES				
ITEM	Cantidad	Costo mensual (us\$)	Costo unitario (us\$)	Costo total
Diésel (galones)	160		3.82	611.2
Alimentación		600		1800
Vivienda		400		1200
Casco	2		15	30
Lentes	4		6	24
Zapatos de seguridad	2		50	100
Orejas	5		10	50
Bloqueador	2		4	8
Mamelucos	3		10	30
Aceite lubricador de pin de broca	3		70	210
TOTAL				4063.2

Tabla 64: Costos variables

Fuentes: Elaboración propia

Inversión total: 151163.2 US\$

Tiempo de pruebas: 3 meses

Resultados en campo

Broca elegida para diámetro de 11"

Costo total brocas de 11" actual	32300 \$
Costo total brocas de 11" Mincon	32500 \$
TDC actual en Mina	7.86 US\$/m
TDC MINCON	6.85 US\$/m
Requerimiento de metraje mensual	142800 m
Costo total actual	1122408 \$
Costo total por prueba Mincon	978180 \$
Diferencia de costos	144228.0 \$
Ingresos (Proveedor Mincon)	
Ventas	70500 \$

**Egresos (Proveedor
Mincon)**

Gastos (Aceite)	210 \$
Costos (Vivienda, Diésel, Alimentación, EPPS, Sueldos)	6853.2 \$
Total egresos	7063.2 \$

Flujo de caja económico 63436.8 \$

Broca elegida para diámetro de 12 1/4"

Costo total brocas de 12 1/4" actual	37900 \$
Costo total brocas de 12 1/4" Ryder	38000 \$
TDC actual en Mina	7.99 US\$/m
TDC Ryder	7.42 US\$/m
Requerimiento de metraje mensual	142800 m
Costo total actual	1140972.0 \$
Costo total por prueba Ryder	1059576.0 \$

Diferencia de costos 81396.0 \$

**Ingresos (Proveedor
Ryder)**

Ventas	70600 \$
--------	----------

**Egresos (Proveedor
Ryder)**

Gastos (Aceite)	210 \$
Costos (Vivienda, Diésel, Alimentación, EPPS, Sueldos)	6853.2 \$
Total egresos	7063.2 \$

Flujo de caja económico 63536.8 \$

**Por lo tanto se tiene un flujo de caja económico para Mincon de 63436.8
US\$ y un flujo de caja económico para Ryder de 63536.8 US\$.**

5.6. Plan operativo para la optimización de los procesos en perforación:

Para poder ejecutar un plan operativo el cual mejore los rendimientos en cuanto a la perforación en Toquepala, reduciendo tiempos y disminuyendo costos, se deben analizar todas las áreas involucradas en la perforación: Geología, Geotecnia, Planeamiento mina, empresa proveedora y por ultimo operaciones mina, esta última siendo el área que va a ejecutar los trabajos en el campo.

Por lo tanto es necesario establecer un Feedback operativo constante, el cual se realizará todas las semanas en el cambio de guarda de supervisores el cuál llevará como contenido:

- ✓ **Geología:** mineralogía, estratigrafía, litología, dureza de la roca y alteraciones donde se realizará la perforación semanal.
- ✓ **Geotecnia:** fallas, diaclasas y las variables geomecánicas que alteran la perforación semanal en las zonas asignadas a la operación.
- ✓ **Planeamiento mina:** cantidad de mallas, ubicación de mallas, número de taladros, metros proyectados, ley, ubicación de desmote y mineral.
- ✓ **Empresa proveedora:** uso adecuado de los aceros, Stock en mina y almacén de proveedor, parámetros ideales que se usarán de acuerdo a la litología de la zona.
- ✓ **Operaciones mina:** Ubicación de todas las perforadoras en la guardia del supervisor anterior, metros perforados en la guardia anterior, supervisión constante en campo, mantenimiento de perforadoras al día.

Estos temas se abordarán todas las semanas en una charla con todo el personal involucrado en las operaciones.

5.7. Aporte del trabajo de investigación

Aplicación de la metodología cuantitativa y un modelo para acceder a la construcción de criterios involucrados en la perforación a minería a cielo abierto.

Frente a la línea y cultura minera, nos permite comprender qué tipo de prácticas y costumbres deberán ser tomadas a la hora de ejecutar un trabajo de perforación, sea DTH, Rotary o Top Hammer.

A nivel personal fue poder vivenciar la operación en el campo, complementado mis conocimientos teóricos con la práctica, y así poder analizar y diferencias los parámetros de diferentes proveedores de aceros de perforación y ayudar a la optimización del proceso.

A la minería le permite tener una visión de cuán importante es la integración de todas las áreas sea geología, geotecnia, planeamiento y operaciones mina para poder seleccionar un proveedor adecuado el cual permita optimizar procesos y reducir los costos.

A la facultad le provee del conocimiento que produce un ejercicio de práctica como esta prueba de aceros de perforación que se realizó en la mina Southern Perú Cooper Corporation – Toquepala.

A los proveedores les permite tener una guía de como evaluar el rendimiento de los triconos y cuál es el impacto que tienen estos parámetros sobre los procesos en una minera.

A demás abre la puerta para que continúen los ejercicios de análisis de parámetros en campo no solo en Toquepala, si no en las diferentes minas del Perú, y sea un desarrollo constante tanto para la minera como para la empresa proveedora.

CONCLUSIONES

- ✓ Se redujo el Costo total de perforación (TDC \$/m) en la mina Toquepala – Southern Perú, y se optimizó la perforación reduciendo tiempos, con la ayuda de un test de brocas triconicas en un periodo de 3 meses, dando como resultado **Mincon** y **Ryder** con los mejores resultados.
- ✓ Se seleccionaron las marcas de brocas según los costos totales de perforación: Ryder 12 ¼” y Mincon 11”, siendo los costos de: **7.42 \$/m** y **6.85 \$/m** respectivamente, y con un rendimiento de **2309.6 m** para las brocas Mincon de 11” y **1821.1 m** para brocas Ryder de 12 ¼”.
- ✓ El costo total de perforación en brocas de 12 ¼” se reducirá en un **7.13%** y en brocas de 11” en un **12.85%** con un margen de error de $\pm 0.05\%$, utilizando las brocas Ryder 12 ¼” y brocas Mincon 11” a partir de la siguiente campaña
- ✓ Haciendo la diferencia del costo entre brocas, se obtendrá un ahorro mensual de **144,228.00 \$/mes**, anual de **1,730,736.00 \$/año** para brocas de 11” y un ahorro mensual de **81,396.00 \$/mes**, anual de **976,752.00 \$/año** para brocas de 12 ¼”.
- ✓ Los principales factores de éxito para concretar la optimización de los estándares de perforación y en general del ciclo de minado, son el seguimiento y el control operativo y la capacitación y creación de conciencia.
- ✓ Para controlar cualquier actividad, esta debe ser medida, es así que este tipo de pruebas, demuestra que es factible medir los tiempos, y parámetros operacionales en la perforación y en base a ellos, realizar el cálculo del TDC y elegir el que sea más adecuado para una empresa.

RECOMENDACIONES

- ✓ Mejorar la automatización para realizar el cálculo de manera más rápida y que se puedan realizar pruebas de aceros con mayor frecuencia y así la empresa en cuestión pueda comparar resultados y elegir la mejor marca.
- ✓ El cálculo correcto del TDC ayuda a mantener en optimas relaciones la condición \$/m para el costo de operaciones mina. El exceso o falta de triconos incurre directamente en los costos unitarios.
- ✓ Realizar las pruebas de los aceros de perforación en todo tipo de terreno, ya que si solo se realiza esta prueba en terreno suave o de mediana dureza, los resultados que se obtendrán no serán los reales, ya que las brocas en este tipo de terreno, en la mayoría de casos obtienen un buen rendimiento.
- ✓ Usar el TDC para determinar qué tipo y marca de broca se deberá utilizar en futuros proyectos de perforación.

LIMITACIONES

- ✓ La presente investigación en el tiempo sólo alcanza o comprende el cálculo del TDC y comparacion de rendimientos para un trimestre del año (2018).
- ✓ El siguiente trabajo solo es aplicable para este yacimiento, ya que cada yacimiento cuenta con diferentes características y depende tambien de el proceso de cada empresa.
- ✓ El proceso de armado, soldadura y materiales que incurren en la fabricacion de los triconos de las diferentes marcas, es de acceso restringido ya que cada una de estas empresas cuenta con una determinada formula la cual les dan una caracteristica unica a sus triconos en cuanto a rendimiento y durabilidad.

CRONOGRAMA

Actividades	Noviembre			Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril		
Capítulo I																		
Justificación	■																	
Planteamiento del problema		■																
Sintomas			■															
Causas			■															
Pronostico			■															
Alternativas			■															
Formulacion del problema			■	■														
Objetivos			■	■														
Hipotesis			■	■														
Capítulo II																		
Modelo teorico			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Variables dependientes			■	■	■													
Variables independientes			■	■	■													
Grafico del modelo					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Capítulo III																		
Material de estudio																		
Capítulo IV																		
Tipo de investigacion											■	■	■	■	■	■	■	
Poblacion y muestra											■	■	■	■	■	■	■	
Fuentes y tecnicas de recoleccion de la informacion											■	■	■	■	■	■	■	
Capítulo V																		
Análisis de resultados																		
Recomendaciones																		
Limitaciones																		
Conclusiones																		
Bibliografía																		

BIBLIOGRAFÍA

- WILSON UMASI, Carlos. (2013). *Comparación entre rendimientos de brocas de 12 ¼ “en Yacimientos Skarn a tajo abierto. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.*
- GARRIDO LLOSA, Juan José. (2015). *Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción de costo en mina Animon. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería.*
- ROLDAN JUAREZ, Américo. (2012). *Parámetros de perforación y rendimiento de las brocas tricónicas en el tajo abierto de la mina Tintaya y propuesta para el tajo abierto Antapaccay 2012. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.*
- Tamaya Consulting. (2012). *Diseño y planificación Proyecto Mina Macumba – Proyecto a cielo abierto.* Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/99531369/Plan-minero-y-calculo-de-equipos>
- Perforación, Costos de perforación* (2011, agosto). Recuperado de: <http://perforacionytronadura.blogspot.com/2011/08/costos-de-perforacion.html>
- Placencia, Jorge. (2011). *Perforación rotativa de brocas triconicas con rodamientos refrigerados por aire.* Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/63253891/Presentacion-Ams-rotacan-II>
- LÓPEZ JIMENO, Carlos; LÓPEZ JIMENO, Emilio; PERNIA LLERA, José María y PLA ORTIZ DE URBINA, Fernando: *Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Edición Instituto Geológico y Minero de España; Madrid; 2003.*
- América Sur Internacional. (2011). *Presentacion Ams – Rotacan II.* Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/63253891/Presentacion-Ams-rotacan-II>
- Mincon Perú S.A.C. (2018). *Rotary Drill Bits.* Disponible en: <https://www.mincon.com/product-article-link.html?id=100#features>

Ryder Perú. (2018). *Cenerg Global Tools*. Disponible en:
<http://www.ryderperu.com/index.php/triconos/>

Varel International. (2018). *Roller Cone Drill Bits*. Disponible en:
<http://www.varelmining.com/>

MARMAÑA CUSTODIO, Abril Guadalupe; MATEO GOMEZ, José; NUÑEZ FUENTES, Diego Antonio; PEREZ VILLAR Alejandro; SULVARAN TORRES, Roman Alexander. (s.f.). *Perforación rotatoria, antecedentes y características*. [PowerPoint slides]. Recuperado de
<https://es.scribd.com/presentation/327204761/Perforacion-Rotatoria-Antecedentes-y-Caracteristicas>.

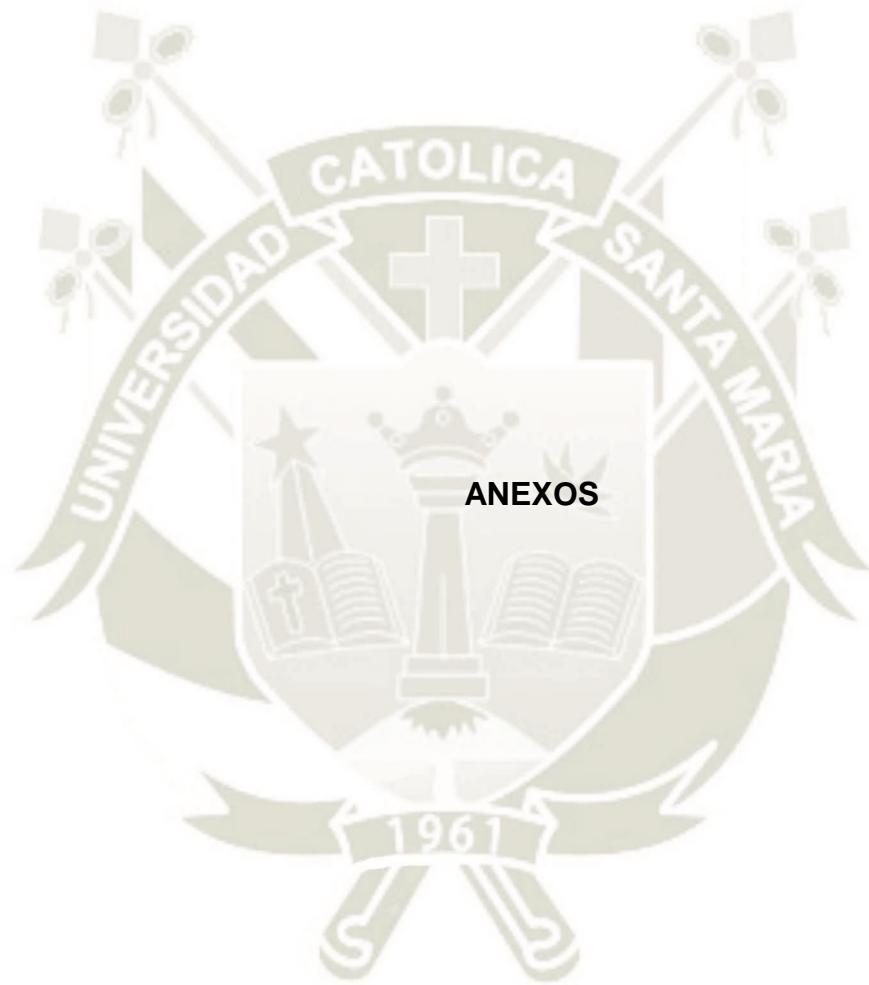
HUISACAYNA SANA, Joseph; BARRIGA RAMOS, Mayron Joel; FLORES COBOS, Daniel Octavio; SUERO CONCHA, Jesús Alejandro; GARNICA METAS, José Luis Carlos: *Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation (Toquepala)*. (2013). [PowerPoint slides]. Recuperado de:
<https://es.scribd.com/doc/169518756/minera-toquepala-pptx>

Superintendencia de Geología Mina, Southern Perú Copper Corporation – Toquepala (2018): *Mina Toquepala*. [PowerPoint slides]. Rotafolio Español.

Superintendencia de Geología Mina, Southern Perú Copper Corporation – Toquepala (2018): *Geología de los depósitos de la mina Toquepala. Informe Geológico*.

MENDEZ ORTIZ, Julián. (2006). *Perforación por rotación*. Disponible en:
<https://es.slideshare.net/miguelminero/perforacion-y-voladura-16841997>

Correa Arroyave, Álvaro. (2009). *La geomecánica en la perforación y voladura de rocas*. Disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/62235523/La-Geomecanica-El-La-Perforacion-y-Voladura-de-Rocas>



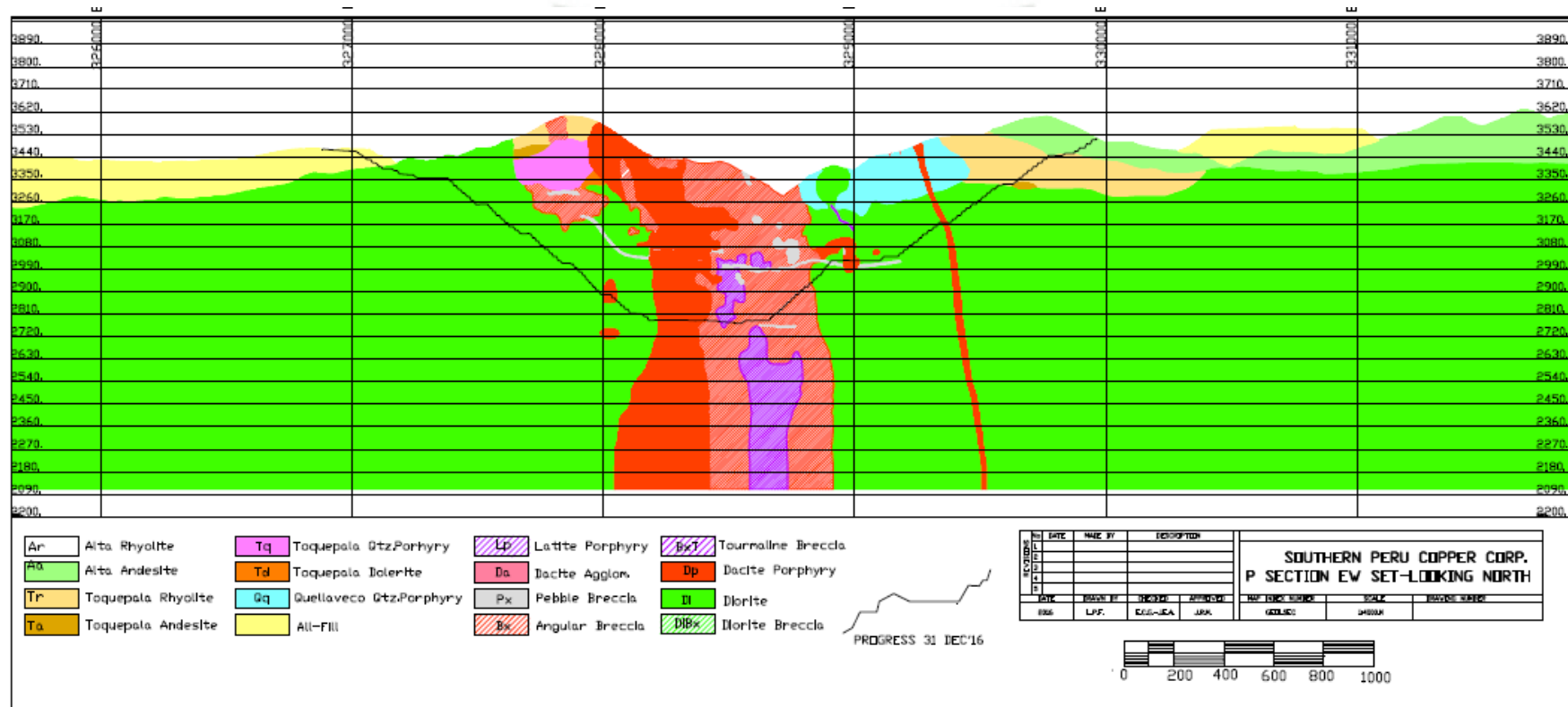
ANEXO 1

<u>COMPARACION DE TDC Y AHORRO ANUAL</u>				
TDC actual en la mina Toquepala para brocas de 11"		7.86 \$/m		
TDC actual en la mina Toquepala para brocas de 12 1/4"		7.99 \$/m		
TDC de la Marca con mejor desempeño en brocas de 11"		6.85 \$/m		
TDC de la Marca con mejor desempeño en brocas de 12 1/4"		7.42 \$/m		
Ahorro de TDC para brocas de 11"		1.01 \$/m	12.85 %	
Ahorro de TDC para brocas de 12 1/4"		0.57 \$/m	7.13 %	
Si en la mina toquepala, cada pozo tiene una profundidad de 17 metros y se perfora un promedio de 20 pozos/turno, siendo 2 turnos por día.				
<u>COSTO ACTUAL DE BROCAS EN LA MINA TOQUEPALA</u>				
Brocas de 11"		Brocas de 12 1/4"		
Profundidad de taladr	17 m	Profundidad de taladr	17 m	
taladros/turno	20	taladros/turno	20	
turnos/día	2	turnos/día	2	1 Perfo 1 11
N° de perfos	7	N° de perfos	7	2 Perfo 2 11
m/día	4760	m/día	4760	3 Perfo 3 11
m/mes	142800	m/mes	142800	4 Perfo 5 11
m/año	1713600	m/año	1713600	5 Perfo 7 11
Costo brocas 11"	1,122,408.00 \$/mes	Costo brocas 12 1/4"	1,140,972.00 \$/mes	6 Perfo 8 11
Costo brocas 11"	13,468,896.00 \$/año	Costo brocas 12 1/4"	13,691,664.00 \$/año	7 Perfo 9 11
<u>COSTO TENTATIVO PARA LA MINA TOQUEPALA</u>				
Brocas de 11"		Brocas de 12 1/4"		
Profundidad de taladr	17 m	Profundidad de taladr	17 m	8 Perfo 11 12 1/4
taladros/turno	20	taladros/turno	20	9 Perfo 12 12 1/4
turnos/día	2	turnos/día	2	10 Perfo 16 12 1/4
N° de perfos	7	N° de perfos	7	11 Perfo 17 12 1/4
m/día	4760	m/día	4760	12 Perfo 18 12 1/4
m/mes	142800	m/mes	142800	13 Perfo 19 12 1/4
m/año	1713600	m/año	1713600	14 Perfo 20 12 1/4
Costo brocas 11"	978,180.00 \$/mes	Costo brocas 12 1/4"	1,059,576.00 \$/mes	
Costo brocas 11"	11,738,160.00 \$/año	Costo brocas 12 1/4"	12,714,912.00 \$/año	
Ahorro	144,228.00 \$/mes	Ahorro	81,396.00 \$/mes	
Ahorro	1,730,736.00 \$/año	Ahorro	976,752.00 \$/año	

ANEXO 2

El TDC para brocas de la marca Mincon de 11" en roca dura es de:	6.79 \$/m	Costo mensual	969,087.17 \$/mes	Costo mensual antes	989,181.18 \$/mes
El TDC para brocas de la marca Mincon de 11" en roca regular es de:	6.48 \$/m	Costo mensual	925,151.39 \$/mes	Costo mensual antes	964,866.31 \$/mes
El TDC para brocas de la marca Mincon de 11" en roca suave es de:	6.18 \$/m	Costo mensual	882,036.02 \$/mes	Costo mensual antes	924,149.10 \$/mes
Haciendo la diferencia en roca dura tenemos:	0.14 \$/m				
Haciendo la diferencia en roca regular tenemos:	0.28 \$/m				
Haciendo la diferencia en roca suave tenemos:	0.29 \$/m				
El TDC para brocas de la marca Ryder de 12 1/4" en roca dura es de:	7.49 \$/m	Costo mensual	##### \$/mes	Costo mensual antes	##### \$/mes
El TDC para brocas de la marca Ryder de 12 1/4" en roca regular es de:	7.05 \$/m	Costo mensual	##### \$/mes	Costo mensual antes	##### \$/mes
El TDC para brocas de la marca Ryder de 12 1/4" en roca suave es de:	6.68 \$/m	Costo mensual	953,919.83 \$/mes	Costo mensual antes	982,977.42 \$/mes
Haciendo la diferencia en roca dura tenemos:	0.22 \$/m				
Haciendo la diferencia en roca regular tenemos:	0.26 \$/m				
Haciendo la diferencia en roca suave tenemos:	0.20 \$/m				
Si los metros programados para perforar en mina por mes es de:	142800 m/mes				
Por lo tanto:					
El ahorro en brocas de 11" en roca dura seria:	20,094.01 \$/mes		20,094.01 \$/mes		
El ahorro en brocas de 11" en roca regular seria:	39,714.91 \$/mes		39,714.91 \$/mes		
El ahorro en brocas de 11" en roca suave seria:	42,113.08 \$/mes		42,113.08 \$/mes		
Por lo tanto:					
El ahorro en brocas de 12 1/4" en roca dura seria:	31,859.69 \$/mes		31,859.69 \$/mes		
El ahorro en brocas de 12 1/4" en roca regular seria:	37,091.03 \$/mes		37,091.03 \$/mes		
El ahorro en brocas de 12 1/4" en roca suave seria:	29,057.58 \$/mes		29,057.58 \$/mes		

ANEXO 3



ANEXO 5

Fecha	Hora Inicio	Hora Final	Turno	Perforador	Tipo de Perforadora	Operador	Malla	Pozo	Duración	Vel. Penetración	Profundidad (m)	Materia	Broca	Serie	Diametro	Fabricante	RPM	Pres. Pulido	Pres. Air
23 de agosto de 2018	2018/08/23 16:03	2018/08/23 16:41	A	DR05	Bucyrus 49HR	J. Aguilar	2890126	145	38	26.41	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	70	54
23 de agosto de 2018	2018/08/23 16:46	2018/08/23 17:13	A	DR05	Bucyrus 49HR	J. Aguilar	2890126	78	27	38.59	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	70	54
23 de agosto de 2018	2018/08/23 17:14	2018/08/23 17:41	A	DR05	Bucyrus 49HR	J. Aguilar	2890126	77	27	37.68	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	70	54
23 de agosto de 2018	2018/08/23 17:42	2018/08/23 18:08	A	DR05	Bucyrus 49HR	J. Aguilar	2890126	76	26	38.69	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	70	54
23 de agosto de 2018	2018/08/23 18:10	2018/08/23 18:47	A	DR05	Bucyrus 49HR	J. Aguilar	2890126	75	37	27.33	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	70	54
23 de agosto de 2018	2018/08/23 20:36	2018/08/23 21:10	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	295	34	30.51	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
23 de agosto de 2018	2018/08/23 21:13	2018/08/23 21:43	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	225	30	34.15	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
23 de agosto de 2018	2018/08/23 21:47	2018/08/23 22:19	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	226	32	31.58	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
23 de agosto de 2018	2018/08/23 22:23	2018/08/23 23:01	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	223	38	27.35	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
23 de agosto de 2018	2018/08/23 23:06	2018/08/23 23:39	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	224	33	31.38	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
23 de agosto de 2018	2018/08/23 23:46	2018/08/24 00:24	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	152	38	27.31	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 00:27	2018/08/24 01:03	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	151	36	28.62	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 01:07	2018/08/24 01:46	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	150	39	25.9	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 02:36	2018/08/24 03:15	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	146	39	26.04	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 03:20	2018/08/24 04:00	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	147	40	24.98	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 04:04	2018/08/24 04:44	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	148	40	25.24	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 04:48	2018/08/24 05:24	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	149	36	27.91	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/23 20:02	2018/08/23 20:33	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	E03	31	33.32	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 05:29	2018/08/24 06:04	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	74	35	29.25	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	2018/08/24 06:10	2018/08/24 06:47	B	DR05	Bucyrus 49HR	Eusebio Torres	2890126	73	37	27.73	17	Medio	M10088	608216	11	Mincon	60	75	50
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 09:09	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	72	63	16.42	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 10:00	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	71	35	29.03	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 11:56	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	374	45	21.63	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 12:43	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	373	43	22.5	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 13:28	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	372	39	24.31	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 14:08	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	372	36	25.46	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 14:47	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	371	36	26.65	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 15:27	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	370	38	25.02	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 16:08	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	369	37	26.23	16	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 16:47	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	368	35	26.06	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 17:24	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	367	32	27.95	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 18:02	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	366	30	31.48	16	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 18:33	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	365	24	37.29	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 18:53	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890126	364	17	54.55	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 20:08	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890126	364	21	42.59	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 21:05	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890126	363	46	19.72	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 21:56	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890126	362	46	19.45	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 22:48	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890126	361	45	20.18	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	24/08/2018 23:25	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890126	360	34	26.37	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
24 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 00:16	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	387	40	22.33	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 01:02	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	386	42	21.15	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 01:42	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	385	36	24.71	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 03:22	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	384	45	20.07	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 04:34	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	383	40	22.98	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 05:21	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	382	44	20.26	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	#####	25/08/2018 06:14	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jeanpierre V.	2890125	381	51	17.98	15	Duro	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52
25 de agosto de 2018	2018/08/25 07:34	2018/08/25 07:50	A	DR05	Bucyrus 49HR	Baldi Cruz Romulo	2890125	380	16	55.67	15	Medio	M10088	608216	11	Mincon	65	70	52

ANEXO 6

Hora Final	Turno	Perforadora	Tipo de Perforadora	Operador	Malla	Pozo	Duracion	Vel. Penetracion	Profundidad (m)	Material	Broca	Serie	Diametro	Fabricante	RPM	Pres. Pulido
16:12	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	370	36	26.7	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	75	50
16:53	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	365	35	27.4	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	75	50
17:39	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	356	37	25.9	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	75	50
18:29	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	351	44	21.8	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	75	50
20:11	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	351	24	40.0	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
20:56	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	329	41	24.9	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
21:58	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	320	58	17.6	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
22:55	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	321	51	20.0	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
23:52	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	345	41	24.9	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
00:37	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	335	37	27.6	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
01:21	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	318	38	26.8	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
02:10	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	319	43	22.3	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
03:47	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	322	44	21.8	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
04:28	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	323	35	27.4	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
05:09	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	324	36	26.7	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
06:30	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	302	14	68.6	16	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
07:05	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	301	29	37.2	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
07:45	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	300	34	31.8	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	70
2018/08/30 08:46	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	300	27	37	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 09:43	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	299	50	20.4	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	80
2018/08/30 12:59	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	298	53	19.18	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 15:12	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	304	54	18.92	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 17:00	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	290	39	26.74	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 15:58	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	303	41	25.45	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 17:36	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	291	34	30.09	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 18:10	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	292	31	32.62	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	65	80
2018/08/30 18:52	A	DR05	Bucyrus 49HR	Javier Pinazo	2860096	293	28	36.43	17	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	80
2018/08/30 21:25	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	341	54	18.59	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/30 22:30	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	342	62	17.34	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/30 23:17	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	343	44	24.31	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/30 23:56	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	344	37	29.14	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 00:50	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	340	50	21.62	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 01:32	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	339	40	27.62	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 03:03	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	338	30	12.02	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 03:48	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	337	44	24.82	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 04:32	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	336	42	25.43	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 05:12	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	312	34	31.32	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70
2018/08/31 05:54	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	313	41	26.3	18	Duro	IADC	1578889	11	Ryder	60	70

ANEXO 7

Hora Final	Turno	Perforadora	Tipo de Perforadora	Operador	Malla	Pozo	Duracion	Vel. Penetracion	Profundidad (m)	Material	Broca	Serie	Diametro	Fabricante	RPM	Pres. Puldo
2018/08/26 08:24	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	363	40	27.1	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 09:22	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	284	24	44.11	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 09:50	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	255	24	42.83	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 10:19	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	218	26	41.81	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 10:56	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	189	26	41.06	17	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 11:33	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	219	30	36.8	17	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 12:01	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	285	23	47.06	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 12:26	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	254	21	50.51	17	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 16:02	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	364	43	25.41	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 16:38	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	362	28	38.23	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 17:41	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	188	26	42	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 18:19	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	220	31	34.32	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/26 18:51	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	187	28	24.54	18	Duro	V102	608212	11	Varel	65	75
2018/08/27 00:13	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	187	15	38.55	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
2018/08/26 20:42	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	251	44	20.12	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
2018/08/26 21:44	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	252	54	26.57	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
2018/08/26 22:34	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	221	40	64.15	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
26/08/2018 23:30	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	250	50	21.6	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 00:15	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	222	38	28.42	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 00:58	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	223	37	29.19	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 01:50	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	184	45	24	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 02:49	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	185	46	23.48	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 03:34	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	186	39	27.69	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 04:17	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	360	36	30	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
27/08/2018 05:03	B	DR05	Bucyrus 49HR	R. Molinedo	2890125	359	41	26.34	18	Duro	V102	608212	11	Varel	75	52
2018/08/27 08:04	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	358	26	41.5	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 05:36	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	359	32	33.75	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 09:47	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	356	49	22.0	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 10:47	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	350	47	23.0	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 11:36	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	351	40	27	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 12:22	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	352	23	46.96	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 14:07	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	355	34	31.76	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 14:49	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	354	33	32.73	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/27 15:22	A	DR05	Bucyrus 49HR	Henry Benavente	2890125	353	29	37.24	18	Duro	V102	608212	11	Varel	60	75
2018/08/28 21:08	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	361	45	14.34	17	Duro	V102	608212	11	Varel	60	70
2018/08/28 21:53	B	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	360	41	25.04	17	Duro	V102	608212	11	Varel	60	70
2018/08/28 22:45	R	DR05	Bucyrus 49HR	Jorge Fernandez	2860096	346	40	27.06	17	Duro	V102	608212	11	Varel	60	70