

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE BROCAS
TRICÓNICAS POR MEDIO DE UN ANÁLISIS
COMPARATIVO DE BROCAS TERELION
VS CENERG EN LA UNIDAD MINERA
TOQUEPALA**

TESIS

Presentada por:

Bach. Percy Enrique Chambe Bahamondes

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN


Facultad de ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE BROCAS TRICÓNICAS POR
MEDIO DE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE BROCAS
TERELION VS CENERG EN LA UNIDAD MINERA
TOQUEPALA**

Tesis sustentada y aprobada el 25 enero del 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE


.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

1er. MIEMBRO


.....
Dr. Carlos Huisa Ccoiri

2do. MIEMBRO


.....
Dr. Jorge José Segura Dávila

ASESOR


.....
Dr. Jorge José Segura Dávila

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Jorge José **SEGURA DÁVILA**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 07795-2023/FAIN/UNJBG de la tesis titulado: "OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE BROCAS TRICÓNICAS POR MEDIO DE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE BROCAS TERELION VS CENERG EN LA UNIDAD MINERA TOQUELA".

Presentado por el Bachiller Percy Enrique **CHAMBE BAHAMONDES**, Para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual Turnitin** cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 04 %**. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos, DNI


Jorge José Segura Dávila

ORCID:0009-0005-4711-6371



Huella digital

DNI: 00505290

FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos, DNI


Percy Enrique Chambe Bahamondes

Código C.U. N°: 2015-101016



Huella digital

DNI: 71799924

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi padre, mi madre, mis hermanos, mi novia y a todos aquellos que me dieron fortaleza y aliento para culminar el presente estudio.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	01

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Descripción del problema	3
1.1.1	Antecedentes del problema	3
1.1.2	Problemática de la investigación	3
1.2	Formulación del problema de investigación	4
1.3	Justificación e importancia de la investigación	4
1.4	Alcances y limitaciones	5

1.5	Objetivos	5
1.5.1	Objetivo general	5
1.5.2	Objetivos específicos	6
1.6	Hipótesis	6

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO 7

2.1	Antecedentes del estudio	7
2.2	Bases teóricas	10
2.2.1	Perforación rotatoria	10
2.2.2	Sistema rotatorio	11
2.2.3	Columna de perforación	12
2.2.4	Perforación rotativa con triconos	13
2.2.5	Mecanismo de rotación	16
2.2.6	Equipo de perforación	18
2.2.7	Elementos de la columna de perforación	18
2.2.8	Amortiguador	22
2.2.9	Adaptador superior (Top Sub)	23
2.2.10	Barrenos de perforación	26
2.2.11	Adaptador de tricono (Bit Sub)	29
2.2.12	Anillo guiador	30

2.2.13	Broca o tricono	30
2.2.14	Brocas Terelion	32
2.2.15	Brocas Cenerg	33
2.2.16	Total Drilling Cost (TDC)	33
2.2.17	Empresa minera: Southern Copper Corporation	35
2.3	Definición de términos	61

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo y diseño de investigación	63
3.2	Población y muestra	64
3.3	Operacionalización de variables	67
3.3.1	Identificación de las variables	67
3.3.2	Caracterización de las variables	68
3.3.3	Definición operacional de las variables	68
3.4	Técnicas e instrumentos para recolección de datos	69
3.5	Procesamiento y análisis de datos	70

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados	71
-----	------------	----

4.1.1	Parámetros críticos del ciclo de perforación	72
4.1.2	Evaluación de estado de equipos de perforación.	72
4.1.3	Ensayos de laboratorio: resistencia al desgaste y capacidad de corte	74
4.1.4	Dureza del terreno	75
4.1.5	Estadísticos descriptivos – triconos de 11”	76
4.1.6	T-Student para determinar el tricono de 11” con mejor performance, usando rendimiento y velocidad de penetración.	77
4.1.7	Estadísticos descriptivos – triconos de 12 ¼”	84
4.1.8	T-Student para determinar el tricono de 12 ¼” con mejor performance, usando rendimiento y velocidad de penetración.	85
4.1.9	Determinación del tricono con mejor performance de 12 ¼”.	89
4.2	Discusión de resultados	92
	CONCLUSIONES	98
	RECOMENDACIONES	99
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
	ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones de los aceros de perforación y equipos utilizados para el estudio	21
Tabla 2: Equipos de perforación evaluados en el presente estudio	21
Tabla 3: Características de barrenos en la unidad minera de Toquepala	28
Tabla 4: Características de los anillos guadores en la unidad minera Toquepala	31
Tabla 5: Características de los triconos en la unidad minera Toquepala	32
Tabla 6: Población	64
Tabla 7: Muestra	65
Tabla 8: Matriz de operacionalización de las variables	67
Tabla 9: Resultados	71
Tabla 10: Evaluación de estado de equipo de perforación	73
Tabla 11: Resultados resistencia al desgaste y capacidad de corte	74
Tabla 12: Para brocas de 11”	76
Tabla 13: Para brocas de 12 ¼ ”	76
Tabla 14: Estadísticos descriptivos – Triconos de 11”	76
Tabla 15: Estadística de grupo para rendimiento en (m)	77
Tabla 16: Prueba T-Student para rendimiento en (m)	80
Tabla 17: Prueba T-Student para velocidad de penetración en (m/h)	81

Tabla 18: Terelion en triconos de 11”	82
Tabla 19: Estadísticos descriptivos, tricono de 12 ¼”	84
Tabla 20: Estadística de grupo para rendimiento en (m)	85
Tabla 21: Prueba T-Student para rendimiento en (m)	86
Tabla 22: Prueba T-Student para velocidad de penetración en (m/h)	88
Tabla 23: Terelion en triconos de 12 ¼”	89
Tabla 24: Resultados homólogos de autores	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Columna de perforación de perforadoras rotativas en Toquepala	22
Figura 2: Operatividad de la empresa de la Southern Copper Corporation	36
Figura 3: Exploración de la SCC	38
Figura 4: Ubicación SCC	39
Figura 5: Ubicación del distrito de Ilabaya	40
Figura 6 :Ubicación de la mina Toquepala	41
Figura 7: Imagen satelital de la empresa en Toquepala	42
Figura 8: Geología de la región Tacna	43
Figura 9: Geología de la mina Toquepala	45
Figura 10: Mineralización en Toquepala	51
Figura 11: El Stockwork	53
Figura 12: Diorita	54
Figura 13: Pirita	55
Figura 14: Sistema de tajo a cielo abierto	56
Figura 15: Flujograma	57
Figura 16: Zonas de diseño definidas según los criterios actualizados de diseño interrampa propuestos por el GRT	60
Figura 17: Distribución de triconos de 11” en equipos de perforación	77
Figura 18: Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – General	78

Figura 19: Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – por proveedor	79
Figura 20: Rendimiento (m) y velocidad de penetración en (m/h).	82
Figura 21: Pulldown (Klb) y presión de aire en (PSI).	83
Figura 22: Total Drilling Cost (\$/m)	83
Figura 23: Distribución de triconos de 12 ¼” en equipos de perforación	84
Figura 24: Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – General	85
Figura 25: Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – por proveedor	86
Figura 26: Rendimiento (m) y velocidad de penetración en (m/h).	89
Figura 27: Pulldown (Klb) y presión de aire en (PSI)	90
Figura 28: Total drilling cost (\$/m)	90

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 :Matriz de consistencia	104
Anexo 2: Ficha técnica 1: broca rb67 – 11” terelion	105
Anexo 3: Ficha técnica 2: broca rb67g – 12 ¼” terelion	106
Anexo 4: Ficha técnica 3: broca cn71 – 12 ¼” ryder	107
Anexo 5: Ficha técnica 4: broca cn71 – 11” ryder	108
Anexo 6: Data 11”	109
Anexo 7: Data 12.25”	115
Anexo 8: Fallas más comunes en triconos y recomendaciones	121

RESUMEN

Este estudio propuso como objetivo general “Reducir el TDC (Costo total de perforación) para optimizar el performance de los triconos en la unidad minera Toquepala.”

La metodología empleada fue cuantitativa transversal, de nivel descriptivo. Asimismo, la población de estudio estuvo compuesta por brocas tricónicas descartadas en durante el año 2022 y la muestra fueron cada una de las brocas tricónicas descartadas. Las técnicas e instrumentos empleados fueron la observación, el trabajo de campo, ensayos de laboratorio y equipos de trabajo.

Las muestras fueron sometidas a análisis estadísticos, lo cual se pudo obtener que, el tricono Terelion presenta el mejor performance en triconos de 11” y 12 ¼”. Con Total Drilling Cost de 16,11 \$/m y 15,99 \$/m, respectivamente, lo que se traduce en un ahorro de \$0.26 por metro perforado en triconos de 11” y un \$0,05 de ahorro por metro perforado en triconos de 12 ¼”.

En base a esto se concluye que se logró reducir significativamente el Total Drilling Cost (\$/m) en la unidad minera Toquepala, por medio de un análisis comparativo de triconos en 2022.

Palabras clave: Tricónicas, brocas, costos, perforación. .

ABSTRACT

This study proposed as general objective "To reduce the TDC (Total Drilling Cost) to optimize the performance of the tricones at the Toquepala Mining Unit".

The methodology used was quantitative, cross-sectional and descriptive. Likewise, the study population was composed of tricone bits discarded in 2022 and the sample was each one of the discarded tricone bits. The techniques and instruments used were observation, field work, laboratory tests and work teams.

The samples were subjected to statistical analysis, which showed that the Terelion tricone has the best performance in 11" and 12 ¼" tricones. With Total Drilling Cost of 16,11 \$/m and 15,99 \$/m, respectively, which translates into a savings of \$0,26 per meter drilled in 11" tricones and \$0,05 savings per meter drilled in 12 ¼" tricones.

Based on this, it is concluded that a significant reduction in the Total Drilling Cost (\$/m) was achieved at the Toquepala mining unit, through a comparative analysis of tricones in 2022.

Keywords: Tricones, bits, costs, perforation.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la industria minera, la optimización del rendimiento de las brocas tricónicas desempeña un papel crucial en la eficiencia y rentabilidad de las operaciones de perforación. Estas brocas son fundamentales para la extracción de recursos naturales del subsuelo, siendo su desempeño un factor determinante en la productividad y los costos asociados a estas actividades.

El presente estudio lleva por título “Optimización del performance de brocas tricónicas por medio de un análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg en la Unidad Minera Toquepala 2022,” el cual nace de la necesidad de mejorar los performances por medio de la reducción del Total Drilling Cost (TDC) de triconos en la unidad minera de la entidad mencionada.

El estudio fue desarrollado mediante la siguiente estructura:

En primer capítulo se desarrollan aspectos como la problemática en la que se da el contexto de la entidad estudiada, los problemas identificados, la justificación, objetivos, hipótesis y las características de las variables.

En el segundo capítulo se desarrollan las variables por medio de antecedentes y el desarrollo teórico.

En el tercer capítulo se indica la metodología empleada para desarrollar el estudio, tal como el tipo y diseño, la población y muestra, los métodos empleados para el recojo de datos y el proceso para su presentación final.

En el cuarto y último capítulo se muestran los resultados obtenidos del procesamiento de los datos.

Finalmente, se presenta la discusión de los resultados, las conclusiones, recomendaciones, referencia bibliográfica y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

1.1.1 Antecedentes del problema

El último estudio de brocas tricónicas se realizó en el año 2018, en el cual se evaluaba los rendimientos de las brocas tricónicas de 11 y 12 $\frac{1}{4}$ pulgadas de la marca Terelion, que era el único proveedor de este ítem.

Actualmente, se cuenta con dos proveedores de brocas tricónicas de 11 y 12 $\frac{1}{4}$ pulgadas, Cenerg y Terelion. La importancia del presente estudio comparativo de brocas radica en el potencial ahorro económico que se puede llegar a evidenciar, si se escoge la broca adecuada de acuerdo a los parámetros estándar.

1.1.2 Problemática de la investigación

El estudio de rendimientos de aceros de perforación en la unidad minera Toquepala ha sido una constante en los últimos años, sin embargo, dichos estudios se realizaron en base a un solo tipo de broca tricónica. Lo cual hacía complicado la optimización de costos de perforación, debido a que no se tenía una línea base con

la cual evaluar los performances.

1.2 Formulación del problema de investigación

En el año 2022, se evidenció un bajo rendimiento y elevado costo total de perforación (TDC) correspondiente a brocas tricónicas de 11 y 12 ¼ pulgadas.

Los parámetros de perforación principales que repercuten en el performance de las brocas son la velocidad de penetración, y el rendimiento en metros.

Como ya se mencionó en líneas anteriores, existen muchos factores que influyen en dicho performance del acero de perforación en cuestión, pero el principal está ligado al diseño de la broca. Para lo cual, y como oportunidad de mejora, el presente estudio buscará identificar la broca tricónica idónea para la unidad minera Toquepala.

¿Será posible optimizar el performance de brocas tricónicas por medio de un análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg y un adecuado control de aceros?

1.3 Justificación e importancia de la investigación

El presente estudio surgió en respuesta a la necesidad de reducir el costo total de perforación (TDC) y mejorar los rendimientos de brocas tricónicas en la unidad minera Toquepala. Debido a que, hasta ese momento, el performance de las brocas no era el esperado.

El estudio comparativo de brocas tricónicas se llevó a cabo por medio de un exhaustivo análisis de estas, durante el año 2022. Se recopilaron las variables de perforación de cada una de las brocas descartadas durante la fecha mencionada, con el fin de identificar los mejores performances.

Los resultados de este trabajo de investigación contribuyeron en la inminente reducción de costos, lo cual generó un beneficio no solo económico sino también en el performance general de los triconos.

1.4 Alcances y limitaciones

El presente trabajo abarcó el cálculo del TDC, rendimiento en metros y parámetros de perforación durante el primer semestre del 2022.

Este estudio solo aplicó en la U.M. Toquepala, debido a que cada yacimiento presentaba características geológicas y geotécnicas distintas, así como un dimensionamiento de broca diferente.

Los precios unitarios de las brocas varían mes a mes y son materia confidencial de la empresa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Reducir el TDC (costo total de perforación) para optimizar el performance de

los triconos en la unidad minera Toquepala.

1.5.2 Objetivos específicos

Identificar la broca tricónica con mejor performance, en dimensiones de 11 y 12 ¼ pulgadas.

Realizar el cálculo de ahorro anual a partir del resultado del estudio comparativo de brocas tricónicas.

1.6 Hipótesis

Al realizar el análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg es posible mejorar el performance de las brocas

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

El consumo promedio anual de triconos en mina Toquepala durante el 2021 fue de 680 triconos entre diámetros de 11” y 12 ¼”, estas son abastecidas por las empresas Terelion y Cenerg. En los últimos años se vienen realizando pruebas con otros proveedores sin éxito alguno, a partir de la necesidad de optimizar los rendimientos, disminuir el TDC y generar un valor agregado en la perforación; buscando mejorar los performances actuales de las triconos Terelion y Cenerg. No se registra algún estudio comparativo de brocas Terelion vs Cenerg realizado en la unidad minera Toquepala.

En este sentido, citaremos algunos estudios anteriores relacionados con las variables establecidas.

a) Antecedentes internacionales

Polanco (2016), en su estudio mejoras de la gestión de perforación en mina Chuquicamata, recopila datos históricos de los equipos de perforación, y de aceros de perforación; principalmente sus indicadores operacionales, en un período de

evaluación de enero de 2012 a mayo de 2015. Para construir tres bases de datos (mensual, diaria y por turno) con la finalidad de identificar oportunidades de mejoras utilizando diferentes herramientas de gestión.

b) Antecedentes locales & regionales

Cotos (2022) indica que su estudio en Toromocho tuvo como finalidad evaluar las brocas tricónicas utilizadas durante la perforación en la unidad minera Toromocho en el año 2020. Esta evaluación se justificó debido a que permitía alcanzar los objetivos planteados por la minera y, además, asegurar la idoneidad de los modelos de brocas tricónicas empleados en el proceso de perforación.

Asimismo, a través de la metodología aplicada en el estudio, pudo concluir que cualquier modelo de broca tricónicas utilizado proporcionaría datos relevantes para la toma de decisiones futuras en el contexto minero.

Montoya (2018), este estudio evaluó la eficiencia y reducción de costos de perforación mediante el uso de diferentes marcas de brocas tricónicas en la mina Toquepala. Se analizaron brocas de las marcas Mincon y Varel.

Resultados: Se logró una reducción del costo unitario de perforación en 1,01 US\$/m para brocas de 11” y en 0,57 US\$/m para brocas de 12 ¼”, lo que representó una reducción del 12,85% y 7,13% respectivamente. El ahorro total estimado fue de 1 730 736 US\$/año para brocas de 11” y 976 752 US\$/año para brocas de 12 ¼”.

Rivera Vega (2017), "Reducción de costos de perforación rotativa mediante la optimización del rendimiento de brocas tricónicas de 6 ¾ de pulgadas de diámetro y un aumento del porcentaje de utilización de las perforadoras en una mina a cielo abierto". La investigación se centró en mejorar el rendimiento de las brocas tricónicas de 6 ¾ de pulgadas y aumentar la utilización de las perforadoras en una mina a cielo abierto.

Resultados: Se identificaron mejoras significativas en la eficiencia operativa y una reducción notable en los costos operativos mediante la optimización de los parámetros de perforación.

Paredes Muñoz (2020), "Evaluación de las brocas tricónicas WLS 50-60-70 y MT 60-70 en relación a la productividad y costos de perforación de una empresa minera, Cajamarca 2020". Este estudio comparó la productividad y los costos de perforación usando brocas tricónicas WLS 50-60-70 y MT 60-70 en una mina ubicada en Cajamarca.

Resultados: Se encontraron diferencias en la durabilidad y eficiencia de las brocas, con implicaciones directas en la reducción de costos y la mejora de la productividad de la mina.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Perforación rotatoria

La perforación rotatoria es un método utilizado en la industria minera, de petróleo y gas, así como en la construcción, para crear orificios o pozos en la tierra o en formaciones subterráneas. El proceso implica hacer girar una broca o una herramienta de corte en la punta de una sarta de perforación para cortar y triturar la roca o el suelo en el que se está trabajando. (Sánchez, 2017)

El proceso de perforación rotatoria generalmente se lleva a cabo utilizando una torre de perforación, que es una estructura metálica alta que sostiene la sarta de perforación y proporciona la potencia necesaria para girar la broca. La rotación de la broca crea una fuerza de corte que rompe y fragmenta el material de la formación subterránea, mientras que al mismo tiempo se inyecta lodo de perforación en el pozo para enfriar la broca, transportar los recortes de roca hacia la superficie y estabilizar las paredes del pozo.

Este método es ampliamente utilizado para la extracción de petróleo y gas, así como para la exploración y extracción de minerales. También se utiliza en la construcción para crear cimientos para edificios, puentes y otras infraestructuras subterráneas.

Este reciente enfoque de perforación ha introducido innovaciones que se

apartan de manera drástica del método de perforación por percusión. (Marmaña et al., 2016)

De acuerdo con Marmaña (2016), las innovaciones más marcadas fueron:

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

2.2.2 Sistema rotatorio

Se refiere a un método de perforación que utiliza una herramienta de corte giratoria para excavar y extraer el material del subsuelo. Es uno de los métodos más comunes utilizados en la industria minera para crear agujeros profundos en el suelo con el propósito de exploración, voladura, extracción de minerales o colocación de elementos estructurales, como anclajes o soportes.

El sistema rotatorio involucra una broca giratoria que se monta en el extremo de una tubería de perforación llamada tubo de perforación. La broca puede tener diferentes diseños y tamaños, según la aplicación específica. Durante la operación, la broca gira y corta el material subterráneo, mientras que una corriente de líquido de perforación (agua, lodo u otro fluido) se inyecta a través del tubo de perforación

para enfriar la broca y transportar los recortes de roca y suelo a la superficie. (Rodríguez, 2017)

El sistema rotatorio es eficiente para perforar a través de diversas formaciones geológicas y puede alcanzar mayores profundidades en comparación con otros métodos de perforación. Además, permite un control más preciso sobre el diámetro del agujero y es adecuado para perforar en ángulos verticales, horizontales o inclinados según las necesidades del proyecto minero.

El componente rotatorio es una parte fundamental dentro del equipo de perforación o taladro. Utilizando sus elementos constituyentes, se crea el agujero hasta alcanzar la profundidad en la que se ubica la reserva de petróleo. (Marmaña et al., 2016)

El sistema está compuesto por varios componentes principales. En primer lugar, encontramos la mesa rotatoria, también conocida como colisa. Luego, está la junta o unión giratoria, que desempeña un papel crucial. (Marmaña et al., 2016)

2.2.3 Columna de perforación

La columna de perforación se compone de una serie de tubos de acero diseñados y fabricados de manera especializada. En el extremo inferior de esta columna se conecta la columna de lastra de perforación, mientras que en el extremo de esta última se enroscan los barrenos. Estos barrenos, también fabricados con

especificaciones precisas, desempeña la función de cortar a través de los distintos estratos geológicos, permitiendo la creación del pozo que finalmente alcanzará el yacimiento de petróleo. (Marmaña et al., 2016)

En minería es un término que se refiere a una secuencia de tubos y barras de acero que se ensamblan para realizar perforaciones en el terreno durante el proceso de extracción de minerales o rocas. Esta técnica se utiliza principalmente en operaciones de minería subterránea y también en algunos casos de minería a cielo abierto.

La columna de perforación está diseñada para permitir que la broca de perforación alcance profundidades significativas en el subsuelo y, al mismo tiempo, facilite la extracción de los materiales perforados hacia la superficie.

La columna de perforación puede operar utilizando diferentes métodos de perforación, como perforación rotativa, perforación con martillo en fondo (DTH), entre otros. La elección del método depende de diversos factores, como el tipo de mineral, las condiciones geológicas, la profundidad requerida y la eficiencia del proceso.

2.2.4 Perforación rotativa con triconos

Es un método utilizado en la industria minera para perforar agujeros en el suelo con el objetivo de obtener muestras del subsuelo o para instalar explosivos

para la voladura de rocas. Es un método ampliamente utilizado en la exploración y producción de minerales y recursos naturales subterráneos, como petróleo, gas, carbón, minerales metálicos y no metálicos, entre otros. (Remigio, 2020)

El proceso de perforación rotativa implica hacer girar un conjunto de herramientas de perforación conocido como tricono o broca tricono. Esta broca tiene tres conos, cada uno con cortadores de dientes de carburo insertados, que rotan mientras están en contacto con la superficie del suelo o roca. La rotación de la broca tricono permite que los cortadores de dientes rompan y trituren la formación rocosa, creando un orificio de perforación en el proceso.

El flujo de un fluido de perforación, generalmente una mezcla de agua y lodo, se inyecta a través de la tubería de perforación para enfriar la broca y lubricar el proceso de corte. Además, el fluido de perforación transporta las rocas trituradas y las muestras del subsuelo de regreso a la superficie para su análisis y evaluación geológica.

La perforación rotativa con triconos es ampliamente utilizada debido a su capacidad para atravesar formaciones rocosas duras y heterogéneas de manera eficiente. Sin embargo, el proceso puede ser costoso y llevar tiempo, dependiendo de la profundidad y la dureza del material que se esté perforando. Otros métodos de perforación, como la perforación con diamantes, pueden ser más adecuados para ciertos tipos de formaciones rocosas o situaciones específicas.

Según Ortiz; citado por Montoya (2019) la operación de este sistema se basa en la aplicación de energía a la piedra mediante la rotación de una herramienta (llamada trépano), acompañada por una significativa fuerza de empuje.

En sus primeras etapas, esta técnica tuvo su origen en la industria de la perforación de pozos petrolíferos, aunque inicialmente estaba limitada a formaciones rocosas de menor dureza. Con el avance del siglo XX, surgieron los primeros trépanos equipados con rodillos dentados, los cuales se desplazaban por el fondo de los pozos ejerciendo una acción trituradora sobre la roca. Estos trépanos demostraron su capacidad para perforar formaciones rocosas de mediana dureza y experimentaron una rápida evolución en su diseño, dando origen a la herramienta conocida como tricono. (Montoya, 2019)

Hacia principios de la década de 1950, esta tecnología comenzó a aplicarse en equipos rotativos diseñados para llevar a cabo perforaciones en minas a cielo abierto, especialmente en procesos de voladura. A través de continuas innovaciones, particularmente en lo que respecta al diseño de los triconos y la calidad de los aceros utilizados en su fabricación, este sistema ha ganado una notable versatilidad en la actualidad. Se emplea tanto en rocas más blandas como en aquellas de alta dureza, sin restricciones en cuanto a la longitud de los segmentos de perforación. La única limitación que presenta es el diámetro de perforación, ya que no es adecuado para diámetros menores a 150 mm en la fragmentación de rocas.

(Montoya, 2019)

Por otro lado, la perforación rotativa con herramientas abrasivas, como la corona de diamantes o la diamantina según la terminología minera, se reserva de manera exclusiva para sondajes destinados a la recuperación de testigos de roca con propósitos de exploración y reconocimiento de depósitos minerales.

2.2.5 Mecanismo de rotación

La fuerza de torsión se transmite a la herramienta mediante la columna de barras. Un motor eléctrico o hidráulico, ubicado en el cabezal móvil, proporciona la energía para el funcionamiento del sistema.

En los equipos más grandes y completamente eléctricos, se prefiere emplear un motor de corriente continua colocado verticalmente. Esta disposición permite un control sencillo de la velocidad de giro en un rango que va desde 0 hasta 150 revoluciones por minuto. Por otra parte, en los sistemas incorporados en vehículos de carga, que incorporan una unidad de potencia diésel, se emplea un motor hidráulico. Dicho motor funciona en un sistema de circuito cerrado, operando en conjunto con una bomba de presión constante y un convertidor de torsión. Estos componentes permiten ajustar la velocidad de rotación de manera flexible. (U-Cursos, s.f.)

Se refiere al sistema o dispositivo que permite que la herramienta de

perforación gire en torno a su eje central. Las perforadoras son máquinas utilizadas para hacer agujeros en el terreno, rocas o cualquier otra superficie sólida en la industria minera.

El mecanismo de rotación es esencial en una perforadora, ya que permite que la broca o barrena gire y penetre en el material que se desea perforar. La rotación es lo que permite la ruptura y fractura del terreno, facilitando la creación de agujeros para diversas aplicaciones en minería, como la extracción de minerales, exploración geológica, instalación de explosivos para voladuras controladas, entre otros.

Según, Uribe y Padilla (2018) para lograr la rotación de las barras y transmitir el torque en las perforadoras, se emplea un sistema de rotación que generalmente se encuentra montado sobre el chasis deslizante a lo largo del mástil de la máquina.

En términos habituales, el mecanismo de propulsión está diseñado para aplicar una fuerza aproximada al 50% del peso total de la perforadora. Es importante señalar que las perforadoras de mayor envergadura que se utilizan en la actualidad pueden llegar a tener un peso de hasta 120 toneladas. Además de esto, este sistema facilita la activación del proceso de elevación de la columna de barras, logrando velocidades de izamiento que alcanzan alrededor de 20 metros por minuto. (Montoya, 2019).

2.2.6 Equipo de perforación

Una perforadora P&H 120A, dos perforadoras Bucyrus 49RIII, tres perforadoras Bucyrus 49HR, cinco perforadoras P&H modelo 320XPC y dos perforadoras CAT modelo MD6640 conforman la flota de equipos destinados a perforación y voladura.

Estos equipos han sido seleccionados por su capacidad y eficiencia en tareas de perforación y voladura en diversos entornos.

La perforadora P&H 120A ofrece un rendimiento excepcional. Las perforadoras Bucyrus 49RIII y 49HR han demostrado su fiabilidad en múltiples proyectos, y las perforadoras P&H 320XPC son valiosas por su potencia y tecnología avanzada. Finalmente, las perforadoras CAT MD6640 aportan su experiencia en la industria para completar esta flota diversa y capaz.

2.2.7 Elementos de la columna de perforación

De acuerdo con Rivera y Román (2023) se refiere a una serie de componentes y herramientas utilizadas para llevar a cabo el proceso de perforación en el terreno con el fin de obtener muestras geológicas, explorar y extraer minerales u otros recursos subterráneos. Los principales elementos que componen una columna de perforación son los siguientes:

- a) Barrenos: Son las herramientas de corte utilizadas para perforar el terreno. Vienen en diferentes tamaños y tipos, dependiendo del tipo de roca o suelo que se esté perforando.
- b) Tubos de perforación: Son tubos metálicos utilizados para mantener la integridad del pozo mientras se está perforando. Se ensamblan uno tras otro para formar la columna de perforación.
- c) Brocas: Son las puntas de corte ubicadas en la parte inferior de las barrenas. Las brocas se seleccionan según el tipo de roca o formación geológica para optimizar la eficiencia de la perforación.
- d) Martillo de fondo (DTH) o martillo en cabeza: Es un dispositivo que se encuentra en la parte inferior de la columna de perforación y proporciona la energía necesaria para perforar el terreno. El DTH genera impactos para romper la roca y avanzar en la perforación.
- e) Estabilizador: Es una herramienta que se coloca en la columna de perforación para mantener la trayectoria recta del pozo. Ayuda a evitar desviaciones indeseadas en la perforación.
- f) Barreno direccional (si es necesario): En algunas operaciones mineras, es necesario perforar en direcciones específicas, por ejemplo, en minería subterránea o para seguir vetas. Para esto, se utilizan barrenas direccionales.
- g) Aditamentos de seguridad y control: Incluyen sistemas de prevención de accidentes y herramientas para controlar y medir variables importantes

durante la perforación, como la presión, la temperatura y la velocidad de penetración.

Los elementos que componen la columna de perforación son los accesorios que representan mayor costo en el equipo de perforación, debido a esto, su duración y rendimiento determinará si la inversión económica ha sido amortizada o si originó pérdidas en la compañía.

En la Tabla 1 se muestran las dimensiones de la columna de perforación; las perforadoras BUC 49 HR y CAT MD6640, por temas operativos, pueden variar sus diámetros de perforación.

Asimismo, en la figura 1, se presente el diagrama de columna de perforación de las perforadoras en la U.M. Toquepala.

Tabla 1

Dimensiones de los aceros de perforación y equipos utilizados para el estudio

Modelo	DR Code	Diámetro de broca	Diámetro de barreno	Diámetro de bit sub	Diámetro de top sub	Diámetro de guiador
BUC 49RIII	4	11"	9 1/4"	9 1/4"	10 3/4"	9 1/4"
	5					
	7	11"	9 1/4"	9 1/4"	10 3/4"	9 1/4"
BUC 49HR	8					
	9					
P&H12 0A	1	12 1/4"	10 3/4"	10 3/4"	10 3/4"	10 3/4" dec 16
CAT MD 6640	12	12 1/4"	10 3/4"	10 3/4"	10 3/4"	10 3/4" dec 16
	18					
	11	12 1/4"	10 3/4"	10 3/4"	10 3/4"	10 3/4" dec 17
P&H 320	16					
XPC	17					
	19					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

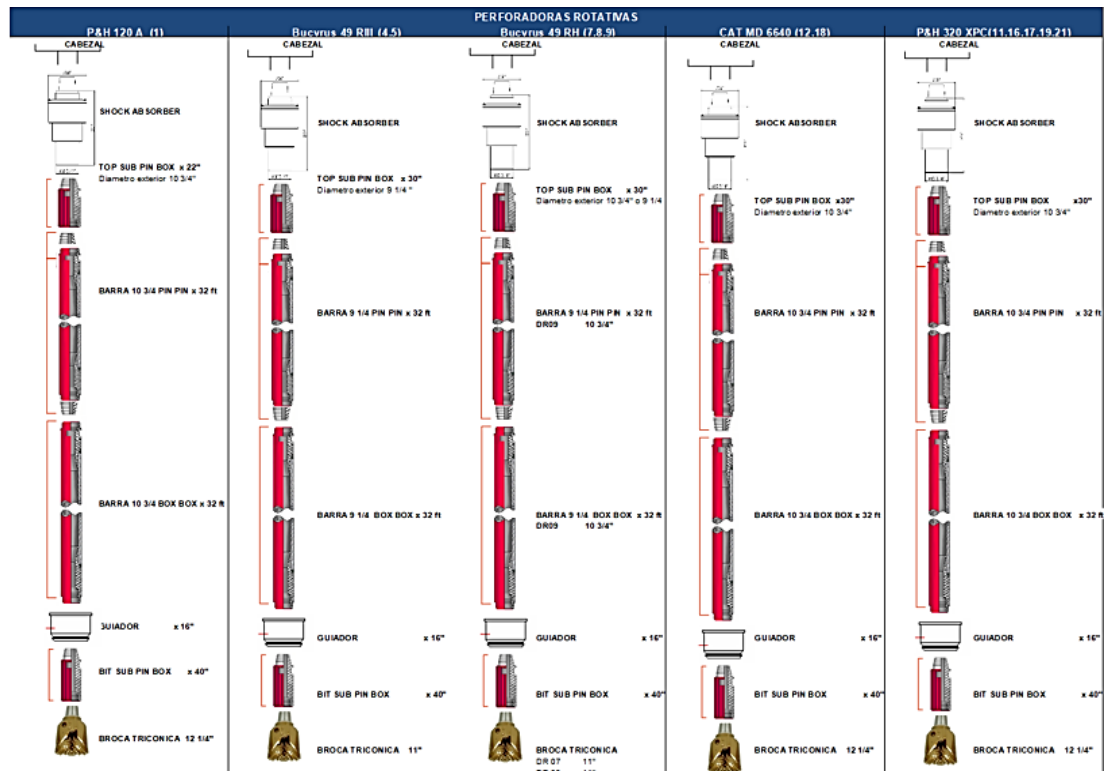
Equipos de perforación evaluados en el presente estudio

Modelo	Nº de Triconos Muestreados	Dimension 11"	Dimensión 12 1/4"
P&H 320 XPC	182	0	182
CAT MD6640	85	65	20
BUCYRUS 49RIII	58	58	0
BUCYRUS 49HR	87	87	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 1

Columna de perforación de perforadoras rotativas en Toquepala



Fuente: Estudio técnico de perforación en Toquepala - 2019

2.2.8 Amortiguador

Un amortiguador en la columna de perforación es un componente utilizado para reducir las vibraciones y choques que se producen durante el proceso de perforación. Cuando se perfora en rocas o terrenos duros, las herramientas de perforación, como las brocas, pueden encontrarse con resistencia significativa, lo que genera impactos y vibraciones en la columna de perforación. (Datalog, 2017)

El amortiguador tiene como objetivo principal proteger tanto el equipo de perforación como las herramientas de perforación. Al absorber parte de la energía generada por los impactos y las vibraciones, el amortiguador ayuda a prolongar la vida útil del equipo y de las herramientas, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia del proceso de perforación.

Los amortiguadores utilizados en la columna de perforación pueden variar en su diseño y función, pero generalmente están diseñados para ser resistentes y duraderos, capaces de soportar las duras condiciones de trabajo en la industria minera.

El amortiguador, es un elemento fundamental en la columna de perforación, básicamente su trabajo es absorber la energía liberada por el tricono de perforación que no ha sido utilizada en romper la roca.

Es esencial el buen diseño de este accesorio, considerando un elemento amortiguador principal en su estructura que minimice los golpes y/o vibraciones no deseadas que generan un daño al equipo y producen un efecto negativo en la perforación.

Entre las consecuencias más usuales, si se realiza la operación con un amortiguador en mal estado o defectuoso, podemos nombrar:

- ✓ Daños considerables en el tricono, rotura de insertos, daño de rodamientos,

lo que a corto plazo producirá un descarte prematuro de tricono.

- ✓ Deterioro en la integridad de las torres de perforación y desgaste en las conexiones soldadas.
- ✓ Desalineación en la dirección de perforación, generando vibraciones significativas en la cabina de mando.

2.2.9 Adaptador superior (Top Sub)

El adaptador superior (Top Sub) es un accesorio utilizado en la parte superior de una sarta de perforación. Es una pieza de conexión que se coloca en la parte superior del tren de barras de perforación o tubería de perforación para facilitar el manejo, la conexión y la seguridad durante la operación de perforación. (Herrera, 2020)

Las principales funciones del adaptador superior son las siguientes:

- a) **Conexión segura:** El Top Sub proporciona una conexión segura entre la sarta de perforación y la broca de perforación o cualquier otro accesorio que se utilice en el extremo inferior. Asegura que la sarta de perforación esté correctamente unida y evita desprendimientos o desconexiones accidentales durante la operación.
- b) **Transferencia de energía:** Durante el proceso de perforación, se aplica una presión y un torque significativos para hacer girar la broca en el

fondo del pozo. El adaptador superior es responsable de transferir eficientemente esta energía de rotación y torsión desde la máquina de perforación hasta la broca y el frente de perforación.

- c) Manipulación y elevación: El Top Sub facilita el manejo y la elevación de la sarta de perforación durante las operaciones de bajada y subida del pozo. Proporciona un punto de agarre seguro para las grúas y equipos de manipulación, lo que es esencial para asegurar una operación segura y fluida.
- d) Prevención de daños: Al mantener la integridad de la conexión entre las barras de perforación y la broca, el adaptador superior también ayuda a prevenir daños y desgastes prematuros en el equipo de perforación.

Accesorio de perforación que tiene como función principal, el acople de elementos con diferentes uniones de tipo rosca, o adaptación de distintos diámetros. Como segunda función, desarrollan la función de elemento de desgaste, evitando los daños en los hilos de los amortiguadores.

Mantener una lubricación regular en los hilos que conectan las barras resulta esencial para prolongar la durabilidad de estos elementos. Cabe resaltar que únicamente los hilos machos de los adaptadores requieren engrasado; los hilos hembra no deben lubricarse. Esta precaución se fundamenta en la capacidad del flujo de aire para empujar los hilos hembra hacia la parte inferior de la columna, lo

que podría ocasionar bloqueos en las toberas encargadas de refrigerar y lubricar los triconos.

La columna de perforación, junto con sus adaptadores y demás componentes, se confecciona empleando aceros reconocidos por su alta resistencia. Por consiguiente, conviene evitar la aplicación de soldaduras, ya que el calentamiento excesivo en las áreas de unión con el amortiguador puede inducir cambios en las propiedades del acero, resultando en una disminución de su integridad mecánica.

2.2.10 Barrenos de perforación

Los barrenos de perforación son herramientas utilizadas para realizar perforaciones en el terreno con el propósito de extraer minerales o rocas útiles. Estas perforaciones son esenciales para la exploración y extracción de recursos naturales, ya que permiten acceder a yacimientos subterráneos de minerales valiosos. (Herrera, 2020).

Son tubos o varillas de acero resistentes que se utilizan para perforar el suelo, la roca o el mineral. Hay varios tipos de barrenos de perforación utilizados en la minería, dependiendo del tipo de roca o terreno que se vaya a perforar y del método de extracción que se aplique. Algunos de los tipos más comunes son:

- a) Barrenos de diamante: Utilizados para perforar rocas duras, estos barrenos cuentan con una corona de diamantes en su extremo, lo que les permite

cortar a través de materiales extremadamente resistentes.

- b) Barrenos de aire reverso: Empleados en la perforación de suelos no consolidados o rocas blandas. El aire se bombea a través del interior del barreno para mantener limpio el agujero y transportar los materiales sueltos hacia la superficie.
- c) Barrenos de martillo en fondo (down-the-hole, DTH): Son utilizados para perforar rocas duras y tienen una cabeza de perforación con una serie de botones de carburo que golpean la roca repetidamente para romperla.
- d) Barrenos de núcleo: Estos barrenos se utilizan cuando se necesita extraer una muestra de roca intacta para su análisis geológico.
- e) Barrenos de perforación a rotación: Utilizados en perforaciones de pozos más profundos, donde se inserta una broca en el extremo del barreno y se gira para crear el agujero.

Mantener una lubricación regular en los hilos que conectan con las barras es esencial para prolongar la durabilidad en su funcionamiento. Es importante recordar que solo los hilos machos de los adaptadores requieren ser engrasados; los hilos hembra no deben ser lubricados.

Estos componentes son identificados como elementos de extensión y conexión, encargados de transmitir tanto la energía rotacional como la fuerza de empuje desde la parte superior de la columna hasta la inferior o tricono. Además,

internamente facilitan el flujo de aire necesario para permitir la eliminación de residuos desde el fondo de la columna hacia la superficie.

Las dimensiones, longitudes, diámetros, hilos se diseñan de acuerdo al tipo de maquina en que serán usadas.

Las barras de perforación soportan condiciones de trabajo extremas y severas. Asimismo, cada barra posee una serie de identificación única e irrepetible para poder llevar a cabo un seguimiento durante el tiempo de vida útil, esta información será aplicada a la mejora del diseño y la adaptabilidad a las condiciones de terreno.

El diseño de las barras implica la utilización de un cilindro tubular que conecta un terminal con una rosca macho a otro terminal con una rosca hembra. Además, las barras se diseñan con un espesor de pared específico de acuerdo a la dureza de roca, una mayor dureza exige un mayor espesor de pared, debido a la mayor resistencia a las cargas de compresión.

Tabla 3

Características de barrenos en la unidad minera de Toquepala

Marca	Diámetro de barreno	Modelo
AGECOMET	9 1/4"	Pin pin * 32ft
		Box box * 32ft
	10 3/4"	Pin pin * 32ft
		Box box * 32ft

Fuente: AGECOMET, 2020

2.2.11 Adaptador de tricono (Bit Sub)

Es un componente esencial de las herramientas de perforación rotativa con triconos (o brocas de tres conos). Esta herramienta se utiliza en la perforación de pozos de petróleo, gas o agua, así como en proyectos de minería y exploración.

El adaptador de tricono es una pieza cilíndrica que se coloca en la parte inferior de la cadena de perforación y se conecta directamente a la barrena tricono. Su función principal es transmitir el movimiento de rotación desde la máquina de perforación a la broca tricono, lo que permite que esta última corte y rompa la formación geológica.

La estructura del adaptador de tricono generalmente incluye una rosca en la parte superior para conectarlo con el tubo de perforación y una rosca en la parte inferior para unirlo a la barrena tricono. Esto permite un montaje y desmontaje sencillo de las herramientas en la cadena de perforación.

Los adaptadores de tricono desempeñan un papel crucial al conectar las barras de perforación con las brocas tricono en operaciones de perforación. Su función guarda una notable similitud con la de los adaptadores superiores, ya que ambos tipos de adaptadores desempeñan un rol fundamental en el proceso de perforación.

Es un elemento que, por el hecho de estar en el fondo de la perforación, está expuesto a condiciones de desgaste considerables, causadas por abrasión.

En el caso de los adaptadores de tricono, en algunos diseños se usan recubrimientos anti abrasivos para proteger el acero del desgaste por erosión y fricción.

2.2.12 Anillo Guiador

Uno de los componentes más vital para la columna de perforación es aquel cuyo costo puede generar un impacto significativo si no se gestiona de manera efectiva. (Salas, 2019).

Entre las principales causas de desgaste están los golpes que recibe de la columna de perforación cuando el terreno a perforar es muy duro. Al presentarse este escenario, las barras se ven sometidas a una fuerza desmedida de empuje, generando un pandeo, que junto a la rotación y vibraciones causan golpes y daños en el anillo guiador.

En lo que respecta al monitoreo del desgaste, se lleva a cabo en el buje interno, donde se aconseja mantener el desgaste en un rango inferior a media pulgada por cada lado.

2.2.13 Broca o tricono

El término "broca" se refiere a una herramienta especializada utilizada para perforar agujeros en la roca o el suelo. Las brocas se utilizan comúnmente en la

exploración y extracción de minerales, petróleo, gas, agua y otros recursos naturales. (Datalog, 2017).

Tabla 4

Características de los anillos guidores en la unidad minera Toquepala

Marca	Diámetro de anillo guidor	Modelo
AGECOMET	9 1/4"	DEC 16
	10 3/4"	DEC 16
		DEC 17

Fuente AGECOMET, 2020

Una broca o tricono está compuesto por los siguientes componentes principales: los conos, que cumplen la función de cortadores; los rodamientos y el cuerpo o matriz de la broca. Básicamente decimos que los conos son los responsables de la perforación de roca.

Los insertos del tricono se distribuyen en forma de hileras, para poder perforar eficientemente la roca. En la actualidad la mayoría de las brocas cortan la roca a través de insertos de carburo de tungsteno, que es una aleación de tungsteno y cobalto, de alta dureza.

En cuanto a la vida útil, uno de los factores más importantes son los rodamientos, debido a que deben resistir altas fuerzas radiales y axiales presentes en la perforación.

Tabla 5

Características de los triconos en la unidad minera Toquepala

Diámetro de broca	Marca	Modelo
BROCA DE 12 1/4"	TERELION	RB67G
	RYDER	CN71
BROCA DE 11"	TERELION	RB67
	RYDER	CN70

Fuente: Elaboración Propia

2.2.14 Brocas Terelion

Son brocas rotativas para perforación de barrenos de voladura en roca dura. Nozzles especialmente diseñados para ayudar a la rápida evacuación de los detritus. La robusta estructura de corte y el tratamiento de carburo tungsteno proporcionan altas velocidades de penetración y una larga vida útil. Conos ventilados (a partir de 9" de diámetro) permiten una limpieza adicional de los cojinetes y una reducción del calor.

Las brocas Terelion se caracterizan por presentar insertos muy resistentes y con alto poder de corte. En la unidad minera Toquepala utilizamos los modelos RB67 y RB67G de 11" y 12 1/4" respectivamente, que son de la línea Hard Rock Drilling. Ver Anexo 2 y 3.

2.2.15 Brocas Cenerg

Estas brocas se caracterizan por su uso en formaciones abrasivas con alta resistencia a la compresión superior a 200 Mpa. Cuentan con insertos cónicos o esféricos con proyección media a baja.

Esta configuración favorece una buena penetración en formaciones duras, consolidadas y muy abrasivas. Las placas de metal duro más pequeñas se colocan en la fila de insertos de calibre y en las hileras interiores. Además, se refuerza con aleación de acero en la zona de la punta para contener la erosión de los conos y mejorar el rendimiento. Ver Anexo 4 y 5.

2.2.16 Total Drilling Cost (TDC)

El propósito principal de implementar un plan de supervisión de los materiales de perforación es adquirir una comprensión precisa de los costos totales de la perforación, así como de los costos individuales asociados a cada componente de dicho proceso. Mediante un plan efectivo de control de materiales de perforación, podemos acceder a información en tiempo real y, además, generar datos predictivos relacionados con los materiales de perforación. Para lograr esto, es esencial llevar a cabo un seguimiento sistemático de las cantidades perforadas por cada material de perforación. (Perforación - Costos de perforación 2011, agosto).

El costo de la perforación se evalúa en términos de metros por dólar, y se calcula dividiendo el metraje perforado entre la suma de los costos en dólares. Según la misma fuente, los costos totales de perforación engloban los siguientes elementos:

- Costo de combustible o energía eléctrica.
- Costo de los materiales de perforación.
- Costo de horas de trabajo.
- Costo de mantenimiento de las maquinarias.

El costo de los componentes se mide de manera similar en metros por dólar, pero se diferencia del costo total, ya que se calcula considerando únicamente el metraje perforado acumulado de cada componente dividido por el precio del componente en dólares. Los componentes de perforación mencionados en la fuente incluyen:

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

La implementación de un plan de control efectivo de los materiales de perforación no solo proporcionará información valiosa sobre los costos, sino que también permitirá recopilar datos sobre fallas comunes, durabilidad máxima, durabilidad promedio y durabilidad en función de la ubicación y la exposición en sectores específicos, entre otros aspectos. Generar una base de datos sólida con toda esta información será fundamental para prever posibles fallas y problemas futuros, lo que contribuirá a tomar decisiones informadas y acertadas en el ámbito de la perforación, que es esencial para el éxito del proceso.

El Total Drilling Cost, se calcula con la siguiente fórmula:

$$TDC = \frac{\text{Costo del Tricorno (\$)}}{\text{Total de Metros}} + \frac{\text{Costo Horario (\frac{\$}{h})}}{\text{Velocidad de Penetración (\frac{m}{h})}}$$

[1]

2.2.17 Empresa minera: Southern Copper Corporation

Huisacayna et al., (2013) hacen mención de Southern Copper como una entidad minera que tuvo sus inicios en 1952. La actual identidad de Southern Copper proviene de la fusión ocurrida “en 2005 entre la empresa cuprífera mexicana Minera México y la Southern Perú Copper Corporation.

En la actualidad, el 75,1% de las acciones de Southern Copper está en manos del conglomerado minero mexicano Grupo México. Según datos recopilados en 2007, Southern Copper ostenta las reservas más significativas a nivel mundial entre

las compañías mineras de cobre que cotizan en bolsa. Además, se posiciona como la séptima empresa más destacada en la industria de la minería de cobre, tomando como referencia las ventas registradas en 2007.

La empresa desempeña un papel fundamental como productora y refinadora de diversos metales, como el cobre, molibdeno, zinc, plata, plomo y oro. Su alcance abarca la operación de minas y fundiciones tanto en México como en Perú, específicamente en las montañas de los Andes, en una ubicación al sureste de Lima.

2.2.17.1 Operaciones de la Southern Copper Corporation.

Figura 2

Operatividad de la empresa de la Southern Copper Corporation



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013)

2.2.17.2 Operaciones en Perú

En nuestro país, una destacada compañía se dedica a diversas fases del proceso minero, abarcando la extracción, molienda y flotación del mineral de cobre para generar concentrados de cobre y molibdeno. Además, realiza la fundición de los concentrados de cobre con el propósito de crear ánodos de cobre, así como la refinación de estos ánodos para obtener cátodos de cobre de alta calidad. La empresa emplea también el método de lixiviación para procesar minerales de cobre sulfurados y óxidos de baja ley, logrando obtener cátodos de cobre de gran pureza a un coste reducido.

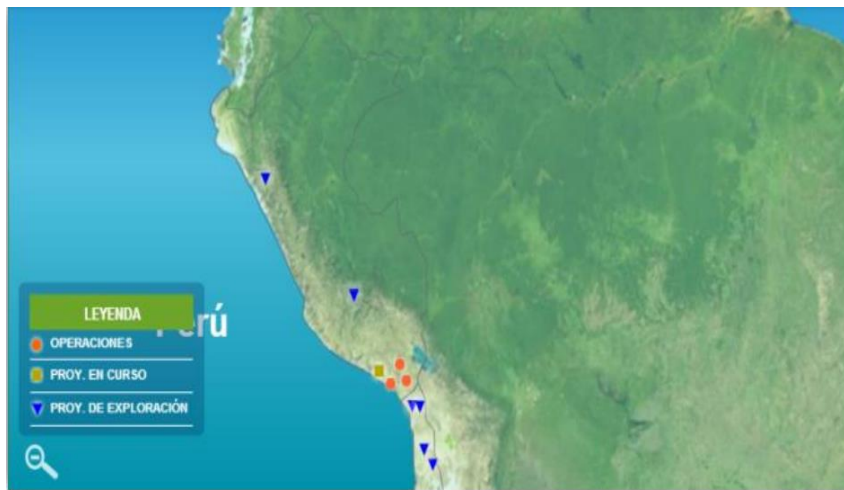
En el marco de estos procesos productivos, la firma Southern Copper Perú obtiene cantidades significativas de subproductos, como concentrados de molibdeno y plata refinada, derivados de los procesos de obtención del cobre. Sus operaciones mineras se centran en dos minas ubicadas en Perú, denominadas Toquepala y Cuajone, ambas localizadas en las altitudes de la cordillera de los Andes.

Toquepala, la mina pionera de la compañía, ha estado en funcionamiento durante más de cinco décadas y aún cuenta con reservas suficientes para aproximadamente 35 años adicionales. Oscar González Rocha, Presidente Ejecutivo y CEO de Southern Copper Corporation, resalta la importancia de Toquepala como una mina emblemática tanto para la empresa como para el país.

La compañía opera una fundición y refinería en la ciudad costera de Ilo, ubicada al oeste de las minas de Toquepala y Cuajone. Además, dispone de una red ferroviaria propia que se extiende a lo largo de unos 204 kilómetros y conecta el puerto, la fundición y las minas. Este sistema ferroviario desempeña una función crucial en el transporte de insumos, equipos, repuestos, diésel para los camiones y ácido sulfúrico utilizado en la planta de LESDE en Toquepala. También se encarga del traslado de los concentrados de cobre y molibdeno desde las minas hasta la fundición, así como de su posterior carga y exportación, principalmente hacia destinos en Europa y Oriente.

Figura 3

Exploración de la SCC

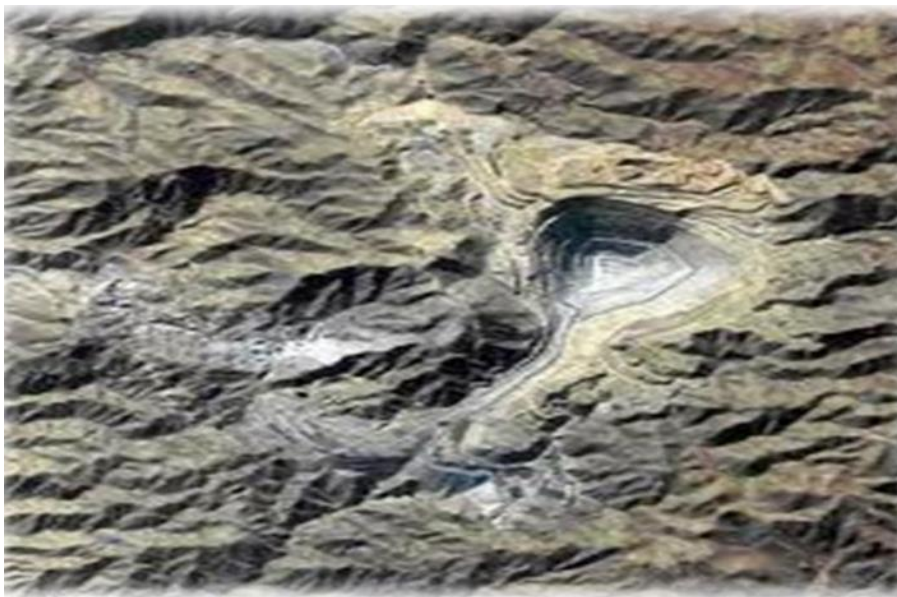


Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013)

2.2.17.3 Unidad minera: Toquepala

Figura4

Ubicación SCC



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013)

2.2.17.4 Ubicación y acceso

El yacimiento minero de Toquepala está situado al sur de Perú, en el Departamento de Tacna, a altitudes que oscilan entre los 3 100 y 3 600 metros sobre el nivel del mar. La zona en su conjunto se caracteriza por ser montañosa y semi-desértica, con un promedio anual de precipitación de 80 mm y una tasa de evaporación de 1 500 mm.

Hacia el noroeste de este sitio se encuentran los depósitos minerales de

Quellaveco y Cuajone, a distancias aproximadas de 20 y 30 kilómetros, respectivamente. Toquepala se localiza en una región de topografía accidentada, marcada por una serie de quebradas profundas que se originan en las montañas y atraviesan el flanco occidental de los Andes del suroeste hacia los desiertos costeros.

2.2.17.5 Ubicación política

Toquepala se localiza en la región sur del Perú, en el área correspondiente al Distrito de Ilabaya, el cual forma parte de la Provincia de Tacna. Esta región está ubicada en el Departamento de Tacna.

Figura 5

Ubicación del distrito de Ilabaya



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

2.2.17.6 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica que se describe se encuentra en las coordenadas UTM 294400 este y 8098819 norte. Su altitud varía en un rango de 3 100 a 3 600 metros sobre el nivel del mar. Está situada a una latitud de 17 grados y 13 minutos al sur, así como a una longitud de 70 grados y 36 minutos al oeste.

Figura 6

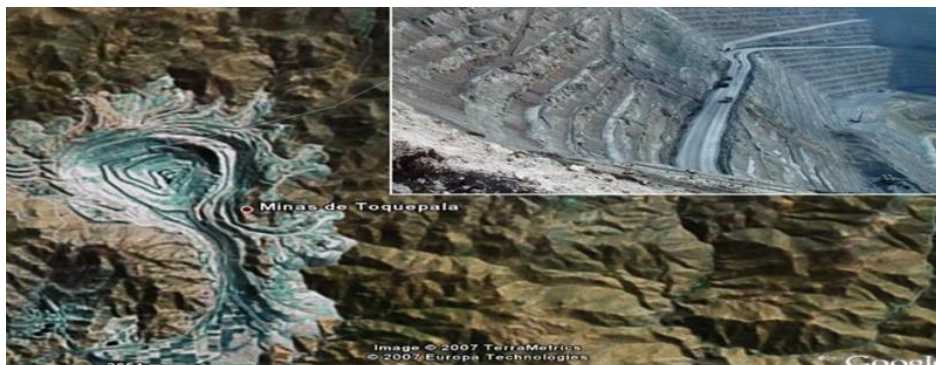
Ubicación de la mina Toquepala



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

Figura 7

Imagen satelital de la empresa en Toquepala



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

2.2.17.7 Geología regional y local

La ubicación del yacimiento se encuentra en una región que experimentó un período de actividad ígnea extremadamente intensa. Esto ocurrió hace aproximadamente 70 millones de años durante la era Cretácica-Terciaria. Durante este tiempo, hubo erupciones de magmas riolíticos y andesíticos. Estos eventos volcánicos resultaron en la emisión de grandes volúmenes de material volcánico, que con el tiempo se acumuló en capas de lava. Estas capas se superpusieron una sobre otra hasta alcanzar un espesor total de 1 500 metros. Las capas consisten en una alternancia de derrames de riolita, andesita y aglomerados. Estas formaciones están inclinadas suavemente hacia el oeste y forman lo que se conoce como el grupo Toquepala.

Después de la fase de actividad volcánica, la región experimentó varias etapas de erosión intensa. Estas etapas estuvieron influenciadas por cambios en el nivel del agua subterránea, lo que provocó el lavado y la lixiviación de los minerales de la parte superior de la zona rica en minerales. Como resultado, hubo una acumulación de minerales de cobre en las capas más profundas de la tierra, creando lo que se conoce como la zona de enriquecimiento secundario.

Figura 8

Geología de la región Tacna



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

Es relevante destacar que en el área de Toquepala no se observa ninguna capa

de material volcánico más reciente, lo que indica que no ha habido actividad volcánica reciente en la región.”

2.2.17.8 Geología

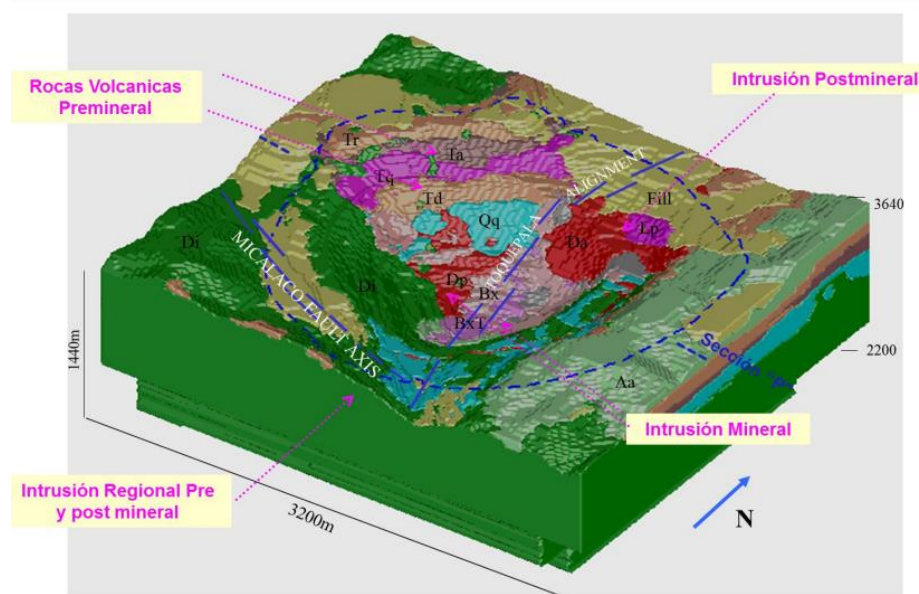
Toquepala se caracteriza geológicamente por ser un depósito de cobre molibdeno diseminado de tipo porfirítico. La mineralización en este lugar está influenciada por una chimenea de brecha y un intrusivo de dacita, ambos relacionados con la actividad hidrotermal intrusiva de naturaleza calco-alcalina que tuvo lugar a finales del cretáceo superior y comienzos del terciario inferior.

El depósito de Toquepala se encuentra en compañía de los yacimientos Quellaveco y Cuajone, y los tres pertenecen al área metalotectónica conocida como Sub Provincia Cuprífera del Pacífico. Esta región presenta una orientación NW-SE en Perú y N-S en Chile, donde se han concentrado recursos cupríferos de importancia.

Desde un punto de vista económico, Toquepala lleva a cabo el procesamiento de minerales sulfurosos de cobre como calcopirita, calcosita y bornita. Este procesamiento se logra a través de técnicas de concentración y lixiviación, con niveles de corte de 0,40% y 0,1% de contenido de cobre, respectivamente. Además, de manera secundaria, se obtiene molibdenita como un subproducto del proceso de concentración del cobre.

Figura 9

Geología de la mina Toquepala



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

2.2.17.9 Litología de depósitos

Los depósitos de desmonte consisten principalmente en rocas volcánicas estériles que se encuentran en la parte superior de la mina. Estos depósitos están clasificados en la serie alta y la serie Toquepala en términos de su posición en la columna estratigráfica.

A continuación, se proporcionan detalles acerca de sus características petrográficas:

- a) La Alta Andesita (Aa) es una formación rocosa andesítica localizada en la pared Este de la Mina. Está compuesta por intercalaciones de andesitas y aglomerados que se presentan como enclaves volcánicos. Su textura varía entre afanítica y porfídica, a menudo mostrando una apariencia fluidal. A pesar de su composición, no contiene minerales metálicos de relevancia económica, con porcentajes de Cu, Fe, S, Ca y MoS₂.
- b) La Riolita Toquepala (Tr) es una roca volcánica caracterizada por sus bandas de flujo. Presenta fenocristales de feldespato y cuarzo en una matriz fina, con ocasional presencia de turmalina. Su color varía entre blanco, gris y marrón, y en algunos lugares muestra trazas dispersas de pirita.
- c) La Andesita Toquepala (Ta) es de tonalidad verde oscura y textura afanítica. Aparece densa en general y, en ciertas áreas, exhibe un flujo bandeado. Es propensa a fracturarse fácilmente, especialmente cuando está alterada. La presencia de pirita en esta roca es limitada.
- d) La Pórfido Cuarzífero Toquepala (Tq) es una variante de riolita con fenocristales de cuarzo en una matriz blanca o marrón. Su textura es en su mayoría afanítica, y la roca es sólida y se presenta en grandes bloques. Los cristales de cuarzo varían en tamaño y disposición, y algunas muestras contienen pequeñas cantidades de pirita cristalizada.
- e) Las Doleritas Toquepala (Td) son andesitas de grano medio a fino de color verde, con propiedades magnéticas y melanocráticas. La unidad principal es

una andesita con matriz tufácea, y se pueden observar capas de brechas volcánicas y aglomerados de composición similar. Algunas muestras presentan fenocristales de feldespatos plagioclasas en una matriz densa, y en ocasiones se encuentran pequeños cristales diseminados de pirita.

- f) El Pórfido Cuarzífero Quellaveco (Qq) es una roca riolítica con textura porfídica, altamente fracturada. Su masa es densa, dura y silicificada, de color blanco lechoso, con pequeños fenocristales de cuarzo. Puede mostrar estructuras bandeadas y es extremadamente quebradizo. Es la roca más antigua en el yacimiento de Toquepala y está intruida por diorita y dacita porfídica.
- g) La Latita Porfídica (Lp) se presenta en forma de diques verticales e inclinados. Su textura es porfídica, con fenocristales de ortoclasa y feldespatos plagioclasa en una matriz fina.
- h) La Dacita Aglomerada (Da) es una roca dacítica que varía de blanco fresco a pardo rosáceo en la intemperie. Contiene plagioclasa subhédrica y cuarzo anhédrico como minerales principales. En la mina, se presenta en forma cilíndrica y contiene fragmentos de brechas, andesitas y otras rocas englobadas durante procesos de intrusión. Esta roca es postmineral y contiene cantidades limitadas de minerales.
- i) La Dacita Porfídica (Dp) presenta una textura porfídica con fenocristales en una matriz fina y granulada. Su color varía de marrón parduzco a blanco en

fracturas frescas. Los cristales de anfíbol, biotita, plagioclasa y cuarzo muestran una textura subhédrica y anhédrica.

- j) La Diorita (Di) es de grano medio a fino, con cuarzo llenando espacios intersticiales y mezclándose con ortoclasa. Biotita y hornblenda son minerales ferromagnesianos presentes, y en algunos sectores se encuentra turmalina. El color varía entre gris verdoso y verde claro, con alteraciones parciales que reemplazan los feldespatos con arcillas y sericita. Los afloramientos pueden mostrar cristales de pirita en algunas áreas.
- k) Las Brechas (Bx, Px) se agrupan en Brechas Angulares y Pebble Brecha. Las brechas angulares están compuestas por fragmentos angulares en una matriz de cuarzuturmalina y sulfuros. Las pebbles brecha son fragmentos redondeados en una matriz fina, con variados tamaños y cementación similar. Las brechas de guijarros se describen como concreto recién fracturado y no contienen mineralización económica. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

2.2.17.10 Mineralogía

La mineralogía observada en la región de Toquepala se presenta de la siguiente manera:

- a) Zona de Lavado: En esta área, se identifican minerales como limonita, jarosita y goetita que se encuentran en fracturas dentro de la roca.

- b) Zona de Óxidos: Se ha constatado una presencia prácticamente nula de minerales en estado de óxido en esta zona.
- c) Zona de Enriquecimiento Secundario: Aquí, se encuentran minerales como calcosina, digenita, cubelina, bornita, pirita, chalcopirita y molibdenita. Estos minerales se distribuyen en el sistema de fracturas, así como en una forma diseminada en el interior de la roca.
- d) Zona Primaria: En la zona primaria, se han identificado minerales como calcopirita, bornita, molibdenita, tetraedrita, enargita y galena. Estos minerales llenan las fracturas del sistema de stockwork y también se presentan en forma diseminada en el cuerpo rocoso.

Estas diversas zonas y su respectiva mineralogía caracterizan la composición geológica de Toquepala.

2.2.17.11 Mineralogía de los depósitos

- a) La calcopirita (CuFeS_2) se presenta en forma de agregados masivos intactos dentro de la roca, así como en cantidades mínimas como agregados dispersos. Este mineral llena grietas visibles en la brecha y se encuentra también en vetas delgadas que han experimentado transformación en óxidos de hierro. Cuando su contenido de cobre supera el 0,4%, se dirige hacia la planta concentradora como su destino final.
- b) La calcosita (Cu_2S) se encuentra en masas, cristalizando en áreas de mayor

concentración. Su color plomizo se extiende en forma de vetas a lo largo de fracturas finas, principalmente en niveles superiores, en compañía de rocas encajonantes como la diorita, el pórfido cuarífero Quellaveco y la andesita de Toquepala. Si la presencia de óxidos no es considerable, se envía a la planta concentradora; de lo contrario, se dispone en montones de lixiviación.

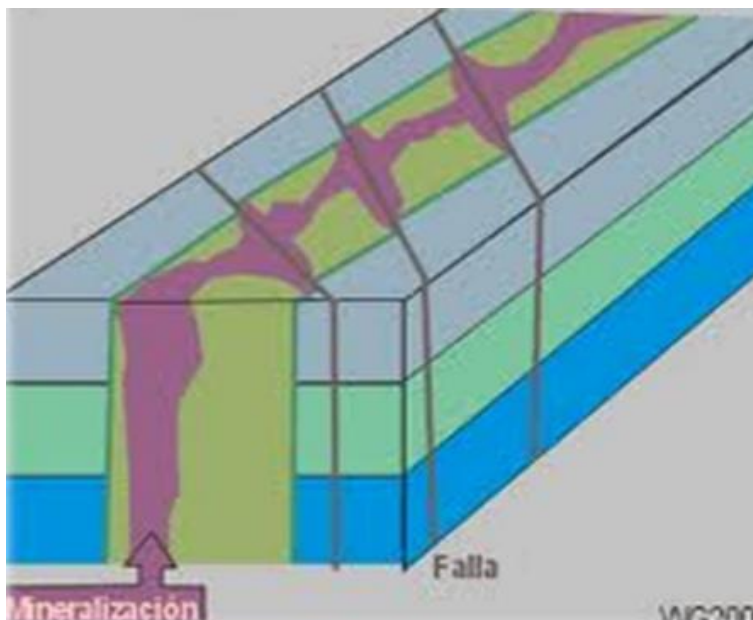
- c) La covelina (CuS) está vinculada a la calcosita, aunque en menor proporción. Se presenta en forma supergénica, recubriendo los sulfuros con su característico color azul marino. Recibe el mismo tratamiento que la calcosita.
- d) La turmalina $(\text{AlSi}_2\text{O}_9)_3\text{WNa}_3\text{B}_3\text{Al}_3 \cdot (\text{O}, \text{OH}, \text{F})_4$ se observa en agregados masivos, funcionando como un cemento en la matriz de la brecha, donde fragmentos angulares de cuarzo están incrustados. Aunque en pequeñas cantidades, se considera un componente no valioso y, cuando está presente en brechas volcánicas, se dirige a los montones de desecho.
- e) La calcantita ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) se forma en pátinas, asociada a los óxidos de hierro (limonitas), resultado posiblemente de la alteración moderada de los sulfuros de cobre en masa. A menudo, se entrelaza con la sericita. Aunque es un óxido, su efecto en el proceso de la planta concentradora es perjudicial, por lo que se dispone en montones de lixiviación.
- f) El cuarzo (SiO_2) se presenta en dos formas: como producto de la alteración hidrotermal que silicifica la roca, y en diminutos cristales que llenan

cavidades de la roca, a menudo en asociación con sulfuros dispersos (cp-pymo) y, en ocasiones, intercalados con la bornita en agregados masivos. Su destino varía según el umbral de contenido.

- g) Los óxidos de hierro, resultado de la alteración de algunos sulfuros como las hematites y jarositas, se encuentran en abundancia, a menudo mezclados con calcantita. Estos óxidos también llenan fracturas previamente ocupadas por sulfuros como la calcopirita y la pirita. Se desechan en montones de lixiviación y desechos. (Superintendencia de Geología Mina, 2018)

Figura 10

Mineralización en Toquepala



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

2.2.17.12 Estructuras

Dentro del contexto tectónico regional, se encuentran enmarcadas en el alineamiento NOSE, el cual se formó durante el período que abarca desde el cretáceo superior hasta el terciario inferior. Este alineamiento tectónico sigue una orientación paralela a la Cordillera Andina y está asociado con características geológicas específicas, como la Falla Micalaco y el Alineamiento Toquepala.

Estos fenómenos tectónicos están relacionados con la génesis de brechas y la formación de sistemas de fracturamiento tipo stockwork en áreas extensas de debilitamiento geológico. En conjunto, estos procesos han dado lugar a la formación de lo que se conoce como chimeneas de brecha o "breccia pipes".

Dentro del área de interés, se han identificado las principales fallas a través de la cartografía geológica. Estas fallas coinciden con las quebradas presentes en la topografía original del terreno. Entre estas, las fallas más notables son la Falla Sargento, la Falla Yarito y la Falla Toquepala. Estas fallas, en su mayoría, presentan un alto ángulo de inclinación respecto a la superficie terrestre.

Figura 11

El Stockwork



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

2.2.17.13 Alteración

Existen cuatro tipos de alteraciones geológicas comunes que afectan a diversas rocas en el subsuelo:

- a) Alteración propilítica: Esta alteración se caracteriza por la presencia de minerales como epidota, clorita, calcita y pirita. Por lo general, se encuentra en rocas como la diorita.
- b) Alteración argílica-supérgena: En este caso, los minerales afectados son

principalmente caolín y diversas arcillas. Esta alteración se observa tanto en dioritas como en rocas volcánicas.

- c) Alteración fílica: Los minerales que prevalecen en esta alteración son cuarzo, sericita y pirita. Se encuentra comúnmente en intrusiones de dacita y brechas.
- d) Alteración fílico-potásica: Caracterizada por minerales como biotita, clorita y sericita, esta alteración también afecta intrusiones de dacita y brechas.

Figura 12

Diorita



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

En términos generales, casi todas las rocas del subsuelo, incluidas las intrusiones rocosas, han experimentado algún grado de alteración. Sin embargo, hay excepciones, como la dacita aglomerádica y los diques de latita porfirítica, que muestran una menor propensión a la alteración. Vale decir que la alteración sílice

es más prominente en el pórfido cuarcífero.

Figura 13

Pirita



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

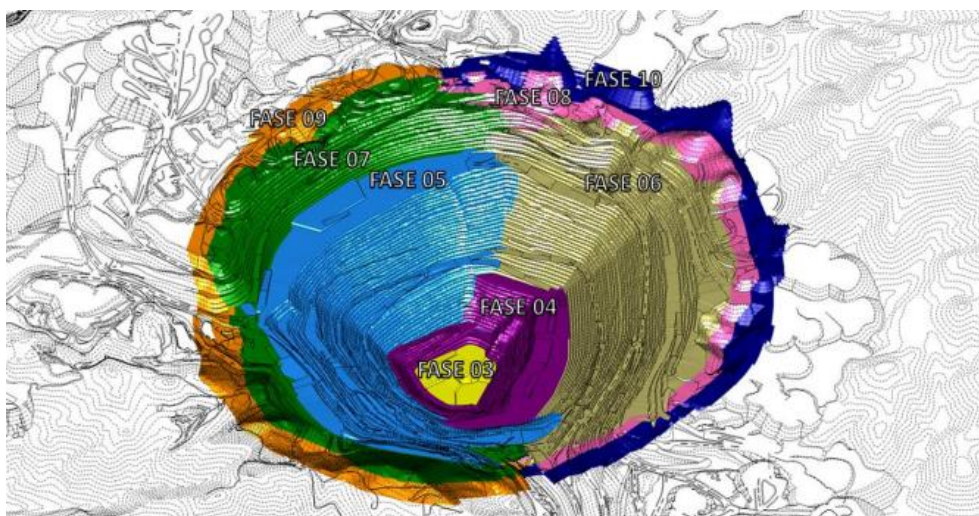
2.2.17.14 Características geológicas del tajo Toquepala

Se encuentra un depósito mineral de dimensiones significativas, superando un diámetro de 1 km y una profundidad de igual medida. Su estructura exterior toma la forma de un cono con paredes verticales distintivas. El yacimiento consiste en pórfido de cobre, que se presenta de manera subordinada en una chimenea de brecha y en un pórfido dacítico.

A lo largo del tiempo, este yacimiento ha experimentado procesos de erosión, oxidación y enriquecimiento secundario. Una capa superficial de aproximadamente 150 m está compuesta por material que ha sido lixiviado. Antes de que comenzara la fase de explotación, se estimaba que contenía más de 150 millones de toneladas métricas (Mt).

Figura 14

Sistema de tajo a cielo abierto



Fuente: Trabajo de investigación de la SCC, Huisacayna et al., (2013).

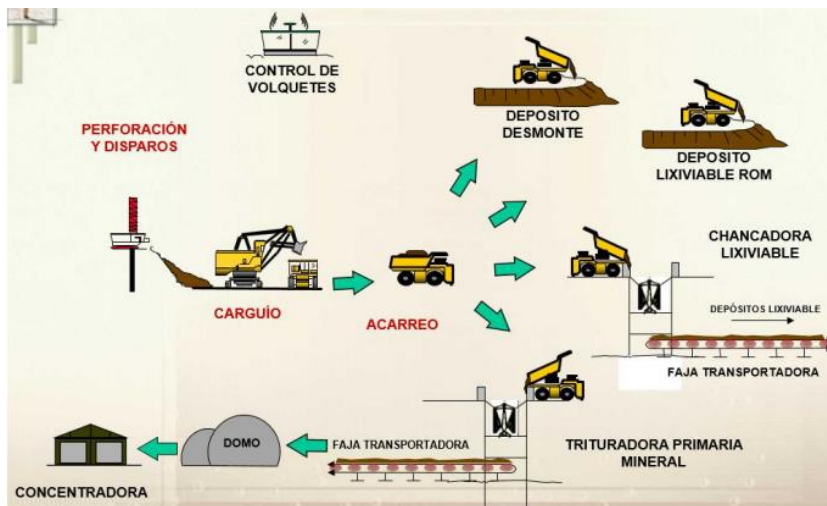
Inicialmente, se calculó que las reservas del yacimiento eran más de 400 Mt, con un contenido de cobre del 1,00%. Sin embargo, a la fecha actual, las reservas se sitúan en 300 Mt, con un contenido de cobre del 0,83%. La cantidad total extraída hasta el momento es de 558 Mt, con un contenido de cobre del 1,03%. Este yacimiento presenta la ventaja de ser explotable a bajo costo y en una escala

considerable, gracias al método de explotación a cielo abierto.

2.2.17.15 Flujograma de operaciones mina

Figura 15

Flujograma



Fuente: “Informe anual 2018,” Superintendencia de Geología (2018).

2.2.17.16 Apuntes

La actividad de minería comenzó en 1957, mientras que la extracción de minerales se inició en 1960. Hasta diciembre de 2017, se movieron las siguientes cantidades:

- ✓ Material total movido: 4 396 millones de toneladas.
- ✓ Total de mineral extraído: 882 millones de toneladas con un contenido de

0,88% de cobre.

Producción

- Cada día se extraen 630 853 toneladas.
- La producción anual alcanza 230,3 millones de toneladas
 - ✓ El mineral extraído equivale a 30,2 millones de toneladas.
 - ✓ Se procesan 200,1 millones de toneladas entre material lixiviable y desmonte
- La relación entre el material desbrozado (D+L) y el mineral (M) es de 6,63:1.

Diseño

La inclinación de la rampa puede variar entre 37° y 45°, ofreciendo un rango flexible para el acceso. Las rampas diseñadas para el uso de volquetes mantienen un grado de inclinación constante del 8%, asegurando un ascenso y descenso seguro y eficiente. La altura del banco al que conduce esta rampa es de 15 metros, proporcionando una conexión elevada entre niveles.

Dimensiones de la mina

El tajo se extiende a lo largo de 2,9 kilómetros en dirección este-oeste y

tiene un ancho de 2,6 kilómetros en dirección norte-sur. La profundidad de la mina varía entre 2 725 metros sobre el nivel del mar hasta 3 600 metros sobre el nivel del mar, con una diferencia de 830 metros entre los extremos. Además, la altura máxima de la mina alcanza los 3 318 metros sobre el nivel del mar.

Control de pared final (Pre-Corte)

En esta fase del corte definitivo, se lleva a cabo el control desde la pared.

Los equipos utilizados para este proceso son los siguientes:

- Una (1) perforadora Cubex 560 DR.
- Tres (3) perforadoras Cubex 580 DR.

Estas herramientas desempeñan un papel crucial en la optimización de la pared, asegurando que esté lista para el corte. La combinación de tecnología y habilidad humana garantiza que la superficie esté preparada de manera óptima para la siguiente etapa del proceso.

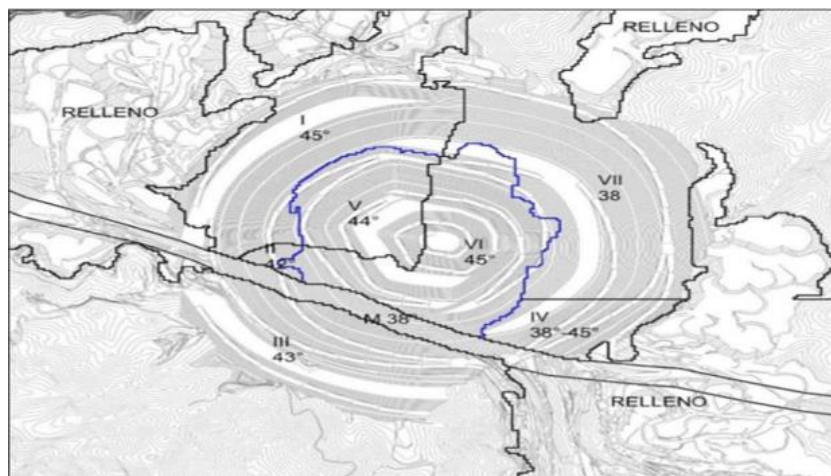
Diseño de perforación

En el contexto del diseño de perforación, se han establecido tres diámetros de taladro principales: 11", 12¹/₄" y 5" utilizando equipos como Titon y Cubex. Estos diámetros permiten abordar diferentes objetivos según las necesidades del proyecto.

En cuanto a la disposición de los taladros, se han definido dos opciones de diseño de malla de perforación: una con una distancia entre taladros de 6,5 x 6,5 metros y otra con una distancia de 12 x 12 metros. Estas mallas de perforación tienen un impacto directo en la distribución espacial de los taladros y, por lo tanto, en la eficiencia general del proceso.

Figura 16

Zonas de diseño definidas según los criterios actualizados de diseño interrampa propuestos por el GRT



Fuente: “Informe anual 2018,” Superintendencia de Geología (2018).

Además, se ha considerado la importancia del control de la pared final en la perforación. Para ello, se ha establecido un rango objetivo para la distancia de control de pared final, que varía entre 2,0 y 4,0 metros. Este parámetro es fundamental para garantizar la estabilidad y la integridad de las paredes del pozo

perforado.

2.3 Definición de términos

- a) Perforista: Personal entrenado y autorizado para la operación del equipo de perforación.
- b) Área de perforación: Zona delimitada, nivelada y señalizada para los trabajos de perforación.
- c) Malla de perforación: Ubicación de los puntos geoméricamente distribuidos de acuerdo al diseño de perforación.
- d) Perforación: Proceso para la realización de los hoyos de acuerdo al diseño de ingeniería.
- e) Columna de perforación: Conjunto de aceros acoplados utilizados para la perforación como: Broca tricónica, anillo guiador, Bit Sub, barra de perforación, Top Sub y Shock Absorber.
- f) Asistencia técnica de terreno: Servicio de apoyo al operador que tiene por objetivo optimizar los recursos para obtener los mejores rendimientos para el cliente, teniendo siempre presente la oportunidad de mejora.
- g) Revisión de aceros de perforación: Es toda actividad que debe desarrollar el personal de Rock Drilling Tools, con la finalidad de determinar los desgastes, fallas, vida útil y mejoramiento del

producto. Esta actividad se realizará en los patios de aceros de perforación una vez descartados o en las plataformas de la perforadora según corresponda con las respectivas normas de seguridad indicadas por el mandante y el proveedor.

- h) Manipulación de aceros de perforación: Consiste en la revisión del desgaste progresivo o una vez finalizada la vida útil del producto. Esta tarea se ejecuta para desarrollar un informe técnico y generar las recomendaciones de mejoramiento del producto.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación

Descriptiva.

A razón de que se tuvo como objetivo identificar características del hecho en estudio, realizando la medición y posterior evaluación de los datos recopilados.

Cuantitativa.

Esta metodología se utilizó debido a que se contaba con un conjunto de datos numéricos relacionados a los parámetros de perforación, rendimiento en metros y/o TDC, los cuales pudieron medirse y optimizarse.

Transversal.

Se llevó a cabo un enfoque transversal, recolectando datos en una línea de tiempo determinada, con el propósito de describir, analizar la incidencia e interrelacionar las variables en el periodo de tiempo establecido.

3.2 Población y muestra

Población

La mina Toquepala desarrolla la actividad de perforación primaria con 13 equipos de perforación, en las cuales se consumieron 884 brocas (460 de 11” y 424 de 12 ¼”), durante los 10 primeros meses del año 2023.

Tamaño de muestra para triconos de 11”

Haciendo uso de la fórmula de cálculo de tamaño de muestra significativa para una población finita se obtuvo:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \sigma^2} \quad [2]$$

Tabla 6

Población

Parámetro	Valores
Población (N)	460,00
Nivel de Confianza	95%
Nivel de Significancia	5%
Error (e)	5%
Desviación Estándar (σ)	0,50
Z Alfa (Z)	1,96
N° de Muestras	210

Fuente: Propia

Obteniendo de esta manera 210 muestras para un nivel de confianza del 95%.

Tamaño de muestra para triconos de 12 ¼”

Haciendo uso de la fórmula de cálculo de tamaño de muestra significativa para una población finita se obtuvo:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \sigma^2} \quad [3]$$

Tabla 7

Muestra

Parámetro	Valores
Población (N)	424,00
Nivel de Confianza	95%
Nivel de Significancia	5%
Error (e)	5%
Desviación Estándar (σ)	0,50
Z Alfa (Z)	1,96
N° de Muestras	202

Fuente: Propia

Obteniendo de esta manera 202 muestras para un nivel de confianza del 95%.

Se tomarán aproximadamente 412 muestras de datos, entre triconos de 11” y 12 ¼”

Perforadoras

- P&H 120A : 01 perforadora
- BUCYRUS 49RII: : 02 perforadoras
- BUCYRUS 49HR : 03 perforadoras
- P&H 320 XPC : 05 perforadoras
- CAT MD6640 : 02 perforadoras

Brocas tricónicas

- Cenerg : 105 brocas de 11” y 101 brocas de 12 ¼”
- Terelion : 105 brocas de 11” y 101 brocas de 12 ¼”

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 8

Matriz de operacionalización de las variables

Variable	Indicador	Categoría	Medición
INDEPENDIENTE: Análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg	Fabricante y/o Proveedor	Cualitativa nominal.	Terelion & Ryder
	Equipos de Perforación	Cualitativa nominal.	Bucyrus, CAT, P&H
	Brocas	Cuantitativa	Nº de brocas a analizar
	Rendimiento	Cuantitativa	Metros perforados (m)
DEPENDIENTE: Performance de brocas tricónicas	Costo total de perforación (TDC)	Cuantitativa	Dólares por metro (USD/m).
	Velocidad de Penetración	Cuantitativa	Metros por hora (m/h)

Fuente: Propia

3.3.1 Identificación de las variables

Variable dependiente

Performance de brocas tricónicas.

Variable independiente

Análisis comparativo de brocas tricónicas Terelion vs Cenerg.

3.3.2 Caracterización de las variables

Variable dependiente: Performance de brocas tricónicas

El performance de brocas tricónicas se caracterizará a través de:

- ✓ Costo total de perforación (TDC) – USD/m
- ✓ Rendimiento en metros
- ✓ Velocidad de penetración (m/h)

Variable independiente: Análisis comparativo de brocas tricónicas por proveedor.

El análisis comparativo de brocas tricónicas por proveedor se caracterizará de acuerdo a:

- ✓ N° de proveedores: 2 (Terelion y Cenerg).
- ✓ N° de perforadoras: 13 equipos.
- ✓ N° de brocas tricónicas a evaluar: 412 unidades.

3.3.3 Definición operacional de las variables

Variable dependiente: Performance de brocas tricónicas

El performance de brocas tricónicas es el resultado de la evaluación del costo total de perforación (TDC) – USD/m; por medio de este indicador se realizará un

análisis estadístico para determinar si el performance de las brocas tricónicas es el esperado.

Variable independiente: Análisis comparativo de brocas tricónicas por proveedor

El estudio comparativo de brocas tricónicas por proveedor es la consecuencia del análisis cuantitativo y cualitativo de las 412 brocas tricónicas en los 13 equipos de perforación.

3.4 Técnicas e instrumentos para recolección de datos

Tablas de registro.

El instrumento consistió en un documento que consignaba varios aspectos a registrar durante la investigación. Se anotaron los parámetros de perforación, los rendimientos finales y los detalles de las brocas a evaluar.

JMineops

Sistema de control utilizado en la U.M. Toquepala, con el objetivo de monitorear diariamente el estado de los equipos de perforación y triconos.

Material de gabinete

Conjunto de herramientas que se usaron para la elaboración de reportes de

avances semanales de performance de brocas tricónicas.

3.5 Procesamiento y análisis de datos

Análisis exploratorio de datos

Este análisis se realizó con el objetivo de presentar de manera muy general los rendimientos y performances alcanzados durante el periodo de tiempo determinado para el proyecto.

T Student como herramienta estadística para identificar la broca tricónica con mejor performance.

Para este análisis se usó las 2 variables operativas más significativas al momento de elegir una broca tricónica: el metraje alcanzado y la velocidad de penetración.

Gráficos y tablas

Todos los datos recolectados y registrados, se presentaron en tablas de autoría propia, y los resultados se evidenciaron en gráficos de barras, circulares, de columnas y/o histogramas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Tabla 9

Resultados

Parámetro	Descripción	Impacto	Optimización
Velocidad de Penetración (m/h)	Velocidad a la que la broca avanza a través de la roca	ROP alta: perforación rápida pero posible reducción de calidad del agujero y desgaste de la broca	Monitorear y ajustar constantemente para maximizar productividad y minimizar desgaste
Pulldown (Klb)	Fuerza aplicada sobre la broca para que penetre en la roca	WOB adecuado maximiza la tasa de penetración. WOB excesivo: fractura de broca; WOB insuficiente: eficiencia reducida	Ajustar según dureza de la roca y capacidad del equipo de perforación
Presión de Aire (PSI)	Utilizado para la limpieza de los recortes de roca y la refrigeración de la broca durante la perforación.	Una presión de aire bien ajustada puede aumentar la tasa de penetración (ROP) y reducir los costos operativos al minimizar el tiempo de inactividad y el desgaste de la broca.	Utilizar sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real para ajustar la presión de aire según las condiciones del pozo y el rendimiento de la broca.

Fuente: Propia.

4.1.1 Parámetros críticos del ciclo de perforación

Se llevaron a cabo sesiones técnicas en colaboración con el equipo de asistencia técnica de los proveedores Terelion y Ryder, así como con el equipo de mantenimiento, los supervisores de perforación y los operadores con mayor experiencia. El objetivo principal de estas sesiones fue identificar y definir los parámetros críticos que influyen en la operación de perforación. Estas reuniones técnicas incluyeron discusiones detalladas, permitiendo una comprensión integral de los factores que afectan el rendimiento y la eficiencia de la perforación. Al involucrar a diversos expertos en el proceso, se aseguraron de abordar todos los aspectos relevantes y optimizar las operaciones basándose en conocimientos técnicos avanzados y experiencia práctica.

4.1.2 Evaluación de estado de equipos de perforación.

Como resultado de las exhaustivas inspecciones realizadas en los equipos de perforación, se ha elaborado un cuadro resumen detallado que refleja los hallazgos obtenidos. Estas inspecciones involucraron una evaluación meticulosa de los componentes y sistemas de los equipos, permitiendo identificar las áreas críticas que requieren atención y mantenimiento. A continuación, se presenta el cuadro resumen, el cual sintetiza los aspectos más relevantes y las recomendaciones derivadas de las observaciones técnicas realizadas. Este resumen proporciona una visión integral del estado actual de los equipos de perforación, destacando los

puntos fuertes y las áreas que necesitan mejoras para optimizar su funcionamiento y prolongar su vida útil.

Tabla 10

Evaluación de estado de equipos de perforación

Modelo	DR Code	Sistema de Izaje	Llave de Piso	Carro de Rotación	Límites de Perforación	Sistema Hidráulico
BUC 49RIII	4	OK	B.O.	OK	B.O.	OK
	5	OK	OK	OK	OK	OK
	7	OK	OK	OK	OK	OK
BUC 49HR	8	OK	OK	OK	OK	OK
	9	OK	OK	OK	OK	OK
P&H120A	1	OK	OK	OK	OK	B.O.
CAT MD 6640	12	OK	OK	OK	OK	OK
	18	OK	OK	OK	OK	OK
	11	OK	B.O.	OK	OK	OK
P&H 320	16	OK	OK	OK	OK	OK
XPC	17	OK	OK	OK	OK	OK
	19	OK	OK	OK	OK	OK

Fuente: Propia

Antes de realizar el estudio, se coordinó con mantenimiento, para que se realice el levantamiento de los estados B.O. y los equipos se encuentren en óptimas condiciones.

4.1.3 Ensayos de laboratorio: Resistencia al desgaste y capacidad de corte

Objetivo: Evaluar la resistencia al desgaste y la capacidad de corte de triconos de perforación utilizados en minería.

Materiales y métodos:

- Se seleccionaron: 1 tricono Terelion 12 ¼” & 1 tricono Ryder 12 ¼”
- Se realizaron pruebas de resistencia al desgaste utilizando un equipo de abrasión estándar para simular las condiciones de desgaste durante la perforación.
- Se llevaron a cabo pruebas de capacidad de corte utilizando bloques de muestra de roca típica del área de perforación.
- Se registraron los tiempos de vida útil de cada tricono y la cantidad de material cortado durante las pruebas.

Resultados:

Tabla 11

Resultados resistencia al desgaste y capacidad de corte

Tricono	Resistencia al desgaste (g)	Capacidad de corte (cm ³)
Terelion	173	345
Ryder	182	340

Fuente: Propia.

Análisis de resultados:

El tricono de la Terelion mostró la mejor resistencia al desgaste, perdiendo solo 173 gramos durante las pruebas de abrasión.

En términos de capacidad de corte, el tricono Terelion también lideró al cortar 340 cm³ de roca.

Conclusiones:

Basado en los resultados de resistencia al desgaste y capacidad de corte, el tricono Terelion es el más recomendado para aplicaciones en la perforación de Toquepala debido a su rendimiento superior en ambas pruebas.

4.1.4 Dureza del terreno

El software Jmineops, nos proporciona la dureza del terreno (medio, duro y yeso), para la presente prueba, se tomaron la misma cantidad de brocas por proveedor y dimensión en una dureza determinada del macizo rocoso.

Tabla 12

Para brocas de 11”

Proveedor	Medio	Duro	Yeso	Total
Cenerg	5	28	72	105
Terelion	5	28	72	105
Total	10	56	144	210

Fuente. Propia.

Tabla 13

Para brocas de 12 ¼ ”

Proveedor	Medio	Duro	Yeso	Total
Cenerg	3	33	65	101
Terelion	3	33	65	101
Total	6	66	130	202

Fuente: Propia.

4.1.5 Estadísticos descriptivos – Triconos de 11”

Tabla 14

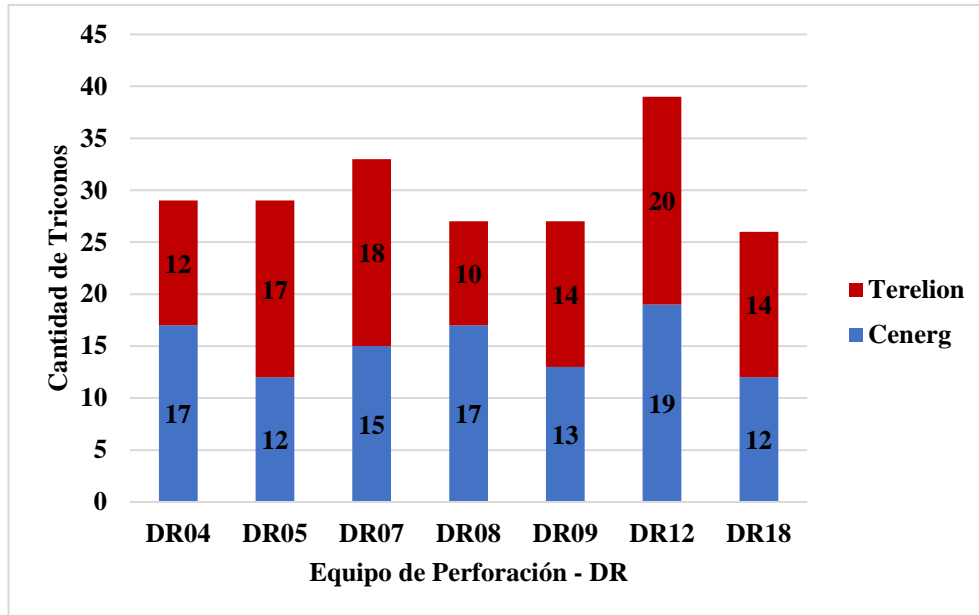
Estadísticos descriptivos – Triconos de 11”

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Rendimiento (m)	210	939,00	3018,00	1663,28	381,02
Velocidad (m/h)	210	17,41	42,45	24,24	5,26
Pulldown (Klb)	210	73,00	84,00	75,63	1,70
RPM	210	56,00	65,00	61,38	1,52
Presión aire (PSI)	210	49,00	73,00	51,50	1,81

Fuente: Propia.

Figura 17

Distribución de triconos de 11” en equipos de perforación



Fuente: Propia

4.1.6 T-Student para determinar el tricono de 11” con mejor performance, usando rendimiento y velocidad de penetración.

Estadística de grupo para rendimiento en (m).

La siguiente tabla presenta la estadística de grupo de las 210 muestras, segmentadas por proveedor.

Tabla 15

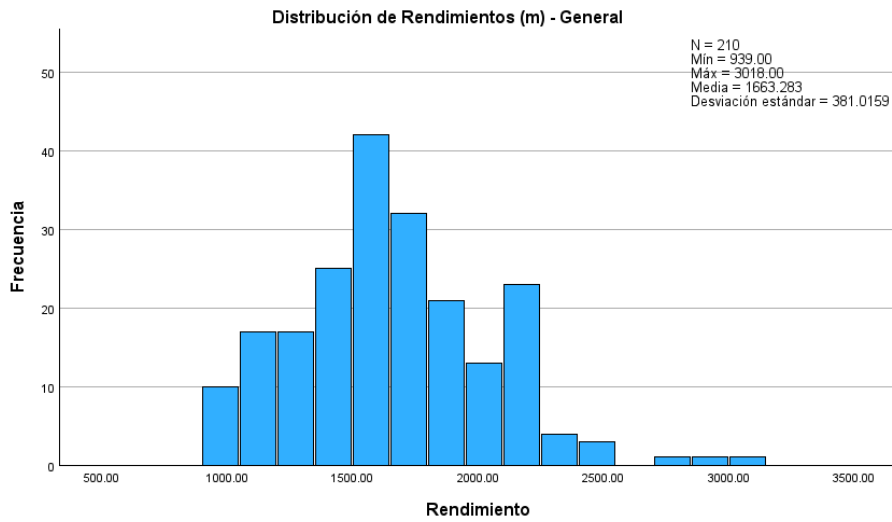
Estadística de grupo para rendimiento en (m).

Proveedor		N° Muestras	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
Rendimiento	Cenerg	105	1793,38	240,09	23,43
	Terelion	105	1533,18	447,13	43,63

Fuente: Propia.

Figura 18

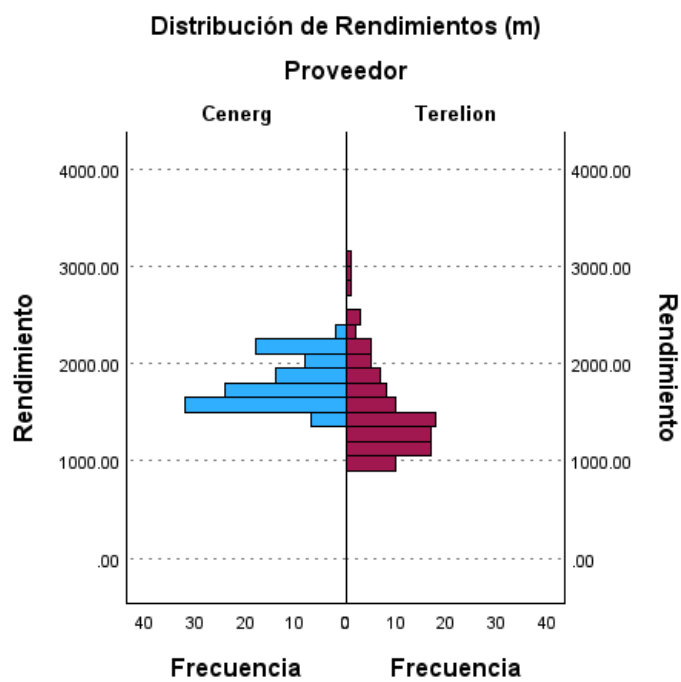
Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – General



Fuente: Propia

Figura 19

Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – Por proveedor



Fuente: Propia

Prueba T-Student para rendimiento en (m).

Para la prueba T-Student, planteamos las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ No existe diferencia entre medias.

$H_1 =$ Si existe diferencia entre medias.

Tabla 16

Prueba T-Student para rendimiento en (m).

Prueba T para la Igualdad de medias								
Variable	Estadístico "t"	Grados de Libertad	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia de medias	
			P de un factor	P de dos factores			Inferior	Superior
Rendimiento	,25	208,00	1,84E-07	3,68E07	260,20	49,53	162,56	357,84

Fuente Propia.

Al evaluar el valor P de dos factores (**3,68E-07**), determinamos que es menor a 0,05, por lo tanto validamos H_1 , y concluimos que SI existe una diferencia significativa entre los rendimientos promedio de Cenerg y Terelion.

Prueba T-Student para velocidad de penetración en (m/h).

Para la prueba T-Student, planteamos las siguientes hipótesis

$H_0 =$ No existe diferencia entre medias.

$H_1 =$ Si existe diferencia entre medias.

Tabla 17

Prueba T-Student para velocidad de penetración en (m/h).

Prueba T para la igualdad de medias								
Variable	Estadístico "t"	Grados de Libertad	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia de medias	
			P de un factor	P de dos factores			Inferior	Superior
Rendimiento	.32	208,00	0,095	0,189	0,95	0,73	-0,47	2,38

Fuente Propia

Al evaluar el valor P de dos factores (**0,189**), determinamos que es mayor a 0,05, por lo tanto, validamos H_0 , y concluimos que NO existe una diferencia significativa entre las velocidades promedio de Cenerg y Terelion.

Determinación del Tricono con mejor performance de 11”.

Para poder determinar la mejor performance de triconos de 11”, evaluamos los rendimientos y velocidades de penetración, adicionalmente promediamos el pulldown y la presión de aire de las muestras. Sin embargo, es fundamental realizar el cálculo del Total Drilling Cost (\$/m), que será el indicador final para determinar el mejor performance del tricono de 11”.

Para determinar el Total Drilling Cost Promedio, usamos los costos horarios

de los equipos de perforación, costos unitarios, velocidad de penetración y rendimientos de los triconos.

Obteniendo el siguiente resultado:

Determinamos que el proveedor Terelion en triconos de 11”, tiene un menor Total Drilling Cost (\$/m), por ende el mejor performance.

Tabla 18

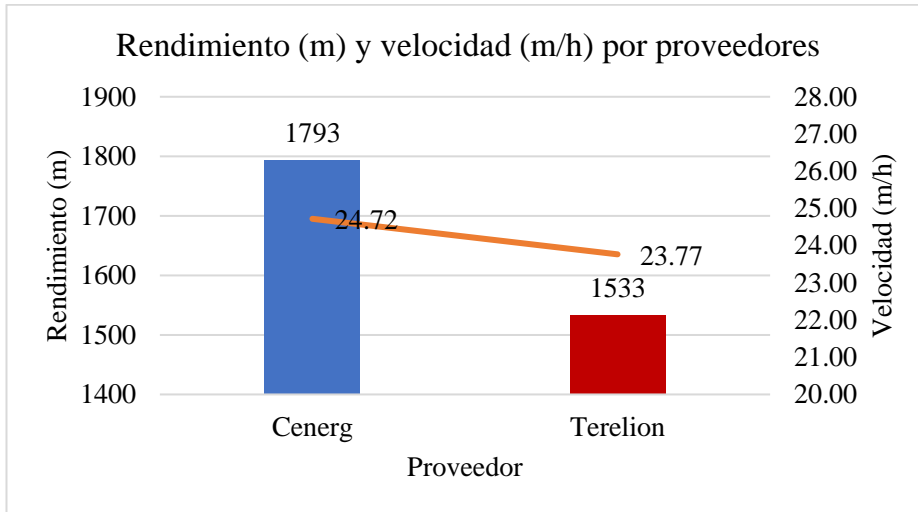
Terelion en triconos de 11”

Proveedor	Rendimiento (m)	Velocidad de penetración (m/h)	Presión de aire (PSI)	Presión de aire (Mpa)	Total Drilling Cost (\$/m)
Cenerg	1793	24,72	75,78	51,28	16,34
Terelion	1533	23,77	75,49	51,72	16,11

Fuente Propia

Figura 20

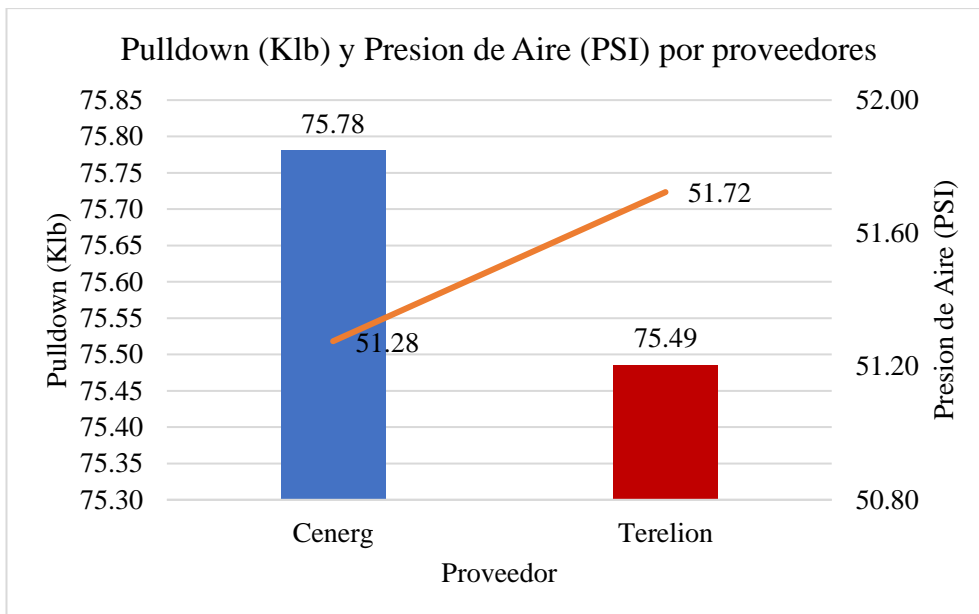
Rendimiento (m) y velocidad de penetración en (m/h).



Fuente: Propia

Figura 21

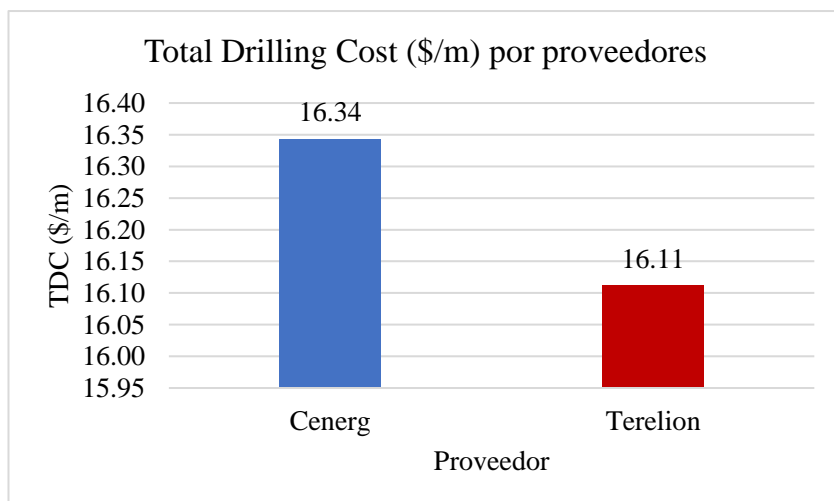
Pulldown (Klb) y presión de aire en (PSI).



Fuente: Propia

Figura 22

Total Drilling Cost (\$/m)



Fuente: Propia.

4.1.7 Estadísticos descriptivos – Triconos de 12 ¼”

Tabla 19

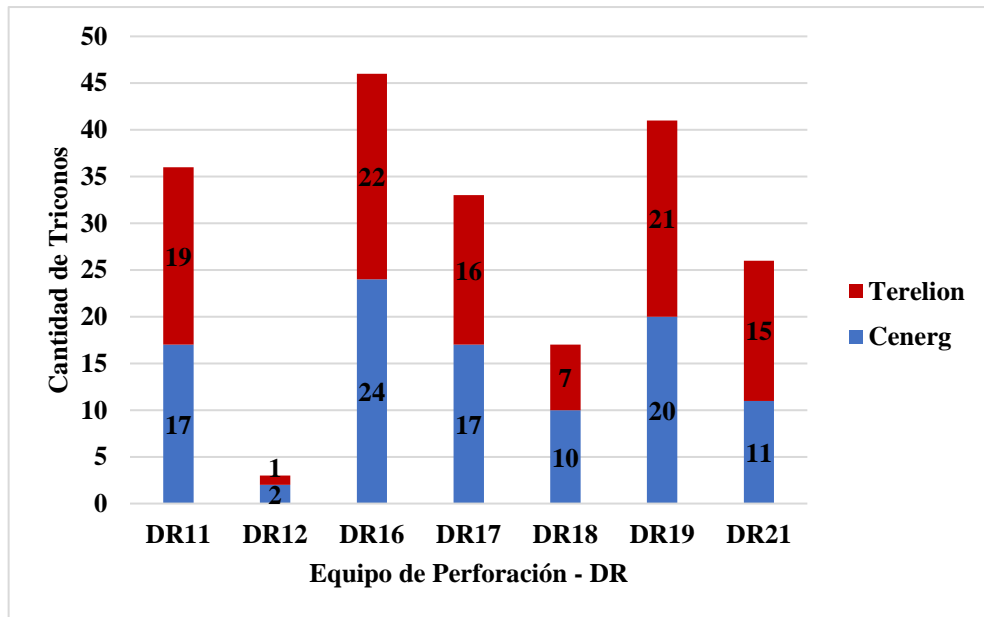
Estadísticos descriptivos, tricono de 12 ¼”

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Rendimiento (m)	202	748,00	2516,00	1498,44	423,55
Velocidad (m/h)	202	17,36	43,94	28,56	5,31
Pulldown (Klb)	202	62,00	103,00	76,73	4,70
RPM	202	58,00	66,00	60,89	1,37
Presión de Aire (PSI)	202	44,00	55,00	50,56	1,16

Fuente: Propia

Figura 23

Distribución de triconos de 12 ¼” en equipos de perforación



Fuente: Propia

4.1.8 T-Student para determinar el tricono de 12 ¼” con mejor performance, usando rendimiento y velocidad de penetración.

Estadística de grupo para rendimiento en (m)

La siguiente tabla presenta la estadística de grupo de las 202 muestras, segmentadas por proveedor,

Tabla 20

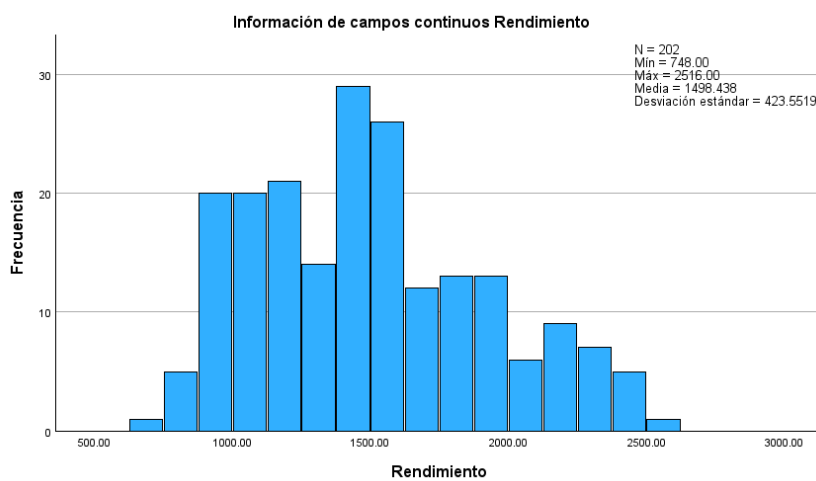
Estadística de grupo para rendimiento en (m),

Proveedor	N° Muestras	Media	Desv, estándar	Media de error estándar
Rendimiento	Terelion	101	1609,25	407,37
	Cenerg	101	1387,62	412,11

Fuente: Propia

Figura 24

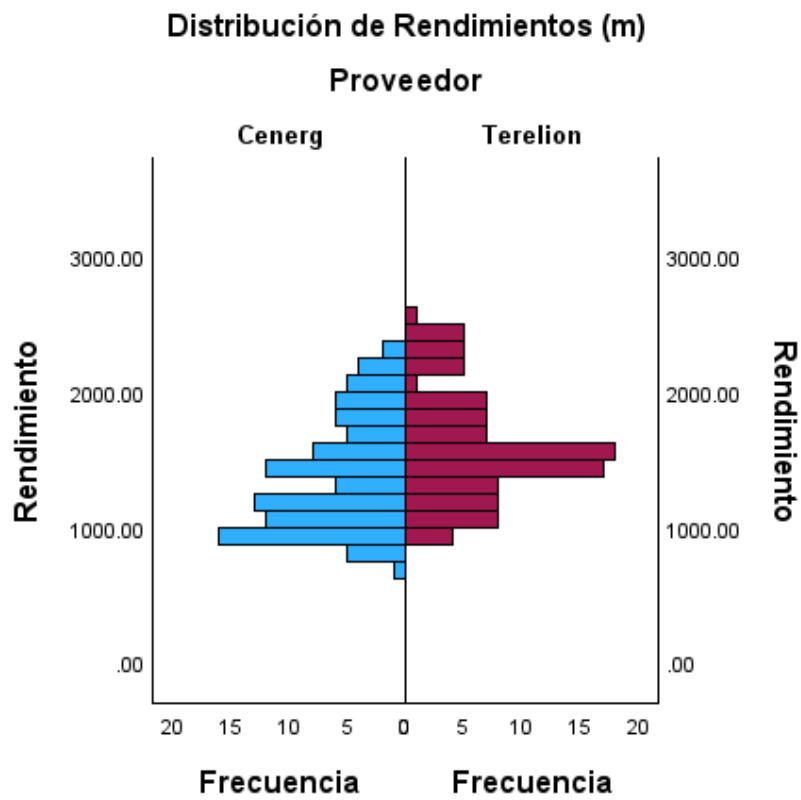
Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – General



Fuente: Propia

Figura 25

Gráfico de frecuencia para rendimiento en (m) – Por proveedor



Fuente propia

Prueba T-Student para rendimiento en (m).

Para la prueba T-Student, planteamos las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ No existe diferencia entre medias,

$H_1 =$ Si existe diferencia entre medias,

Tabla 21

Prueba T-Student para rendimiento en (m)

Prueba T para la Igualdad de Medias								
Variable	Estadístico "t"	Grados de Libertad	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia de medias	
			P de un factor	P de dos factores			Inferior	Superior
Rendimiento	,84	200,00	8E-05	2E-04	221,63	57,66	107,93	335,33

Fuente: Propia

Al evaluar el valor P de dos factores (**2E-04**), determinamos que es menor a 0,05, por lo tanto, validamos H_1 , y concluimos que, SI existe una diferencia significativa entre los rendimientos promedio de Cenerg y Terelion.

Prueba T-Student para velocidad de penetración en (m/h).

Para la prueba T-Student, planteamos las siguientes hipótesis:

$$H_0 = \text{No existe diferencia entre medias}$$

$$H_1 = \text{Si existe diferencia entre medias}$$

Tabla 22

Prueba T-Student para velocidad de penetración en (m/h)

Prueba T para la Igualdad de medias								
Variable	Estadístico "t"	Grados de Libertad	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia de medias	
			P de un factor	P de dos factores			Inferior	Superior
Rendimiento	-0,84	200,00	0,201	0,403	-0,63	0,75	-2,10	0,85

Fuente Propia

Al evaluar el valor P de dos factores (**0,403**), determinamos que es mayor a 0,05, por lo tanto, validamos H_0 , y concluimos que NO existe una diferencia significativa entre las velocidades promedio de Cenerg y Terelion.

4.1.9 Determinación del tricono con mejor performance de 12 ¼”

Para poder determinar la mejor performance de triconos de 12 ¼”, evaluamos los rendimientos y velocidades de penetración, adicionalmente promediamos el pulldown y la presión de aire de las muestras, Sin embargo, es fundamental realizar el cálculo del Total Drilling Cost (\$/m), que será el indicador final para determinar el mejor performance del tricono de 12 ¼”.

Para determinar el Total Drilling Cost Promedio, usamos los costos horarios de los equipos de perforación, costos unitarios, velocidad de penetración y rendimientos de los triconos.

Obteniendo el siguiente resultado:

Determinamos que el proveedor Terelion en triconos de 12 ¼”, tiene un menor Total Drilling Cost (\$/m), por ende el mejor performance.

Tabla 23

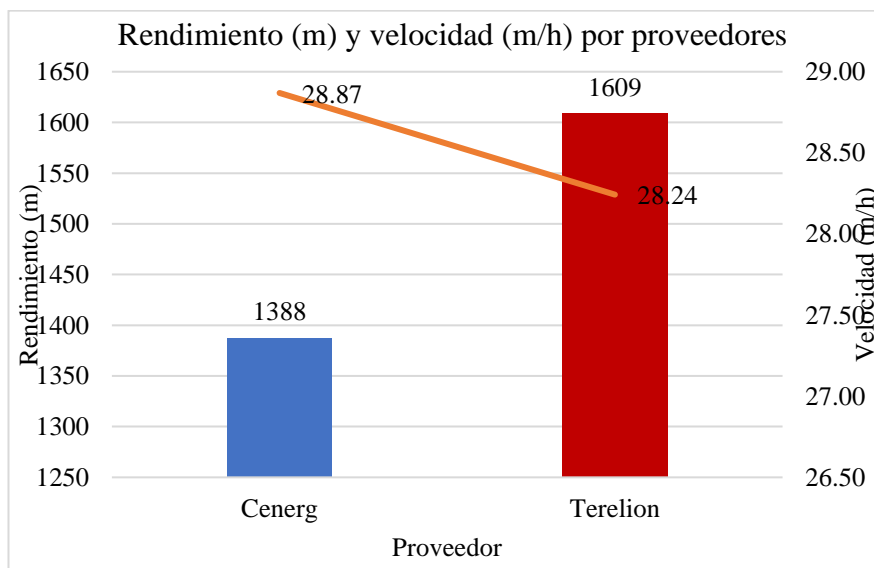
Terelion en triconos de 12 ¼”

Proveedor	Rendimiento (m)	Velocidad de Penetración (m/h)	Pulldown (klb)	Presión de Aire (PSI)	Total Drilling Cost (\$/m)
Cenerg	1388	28,87	76,77	50,68	16,34
Terelion	1609	28,24	76,68	50,45	15,99

Fuente: Propia

Figura 26

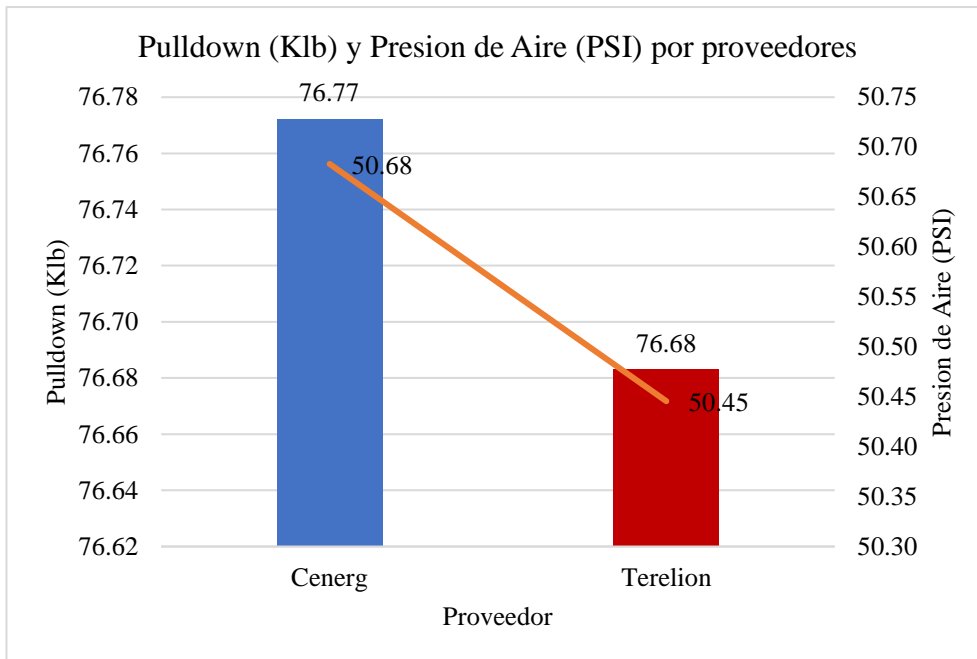
Rendimiento (m) y velocidad de penetración en (m/h)



Fuente: Propia

Figura 27

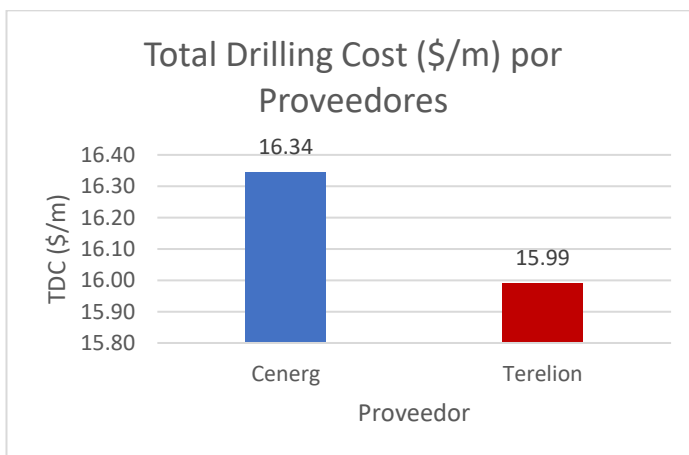
Pulldown (Klb) y presión de aire en (PSI)



Fuente: Propia

Figura 28

Total Drilling Cost (\$/m)



Fuente: propia

4,2 Discusión de resultados

Tabla 24

Resultados homólogos de autores

Estudio	Objetivo del estudio	Resultados principales
Montoya 2018	Evaluar la eficiencia y reducción de costos de perforación en la mina Toquepala	Reducción del costo unitario de perforación: 1,01 US\$/m para brocas de 11" (12,85%) y 0,57 US\$/m para brocas de 12 ¼" (7,13%), Ahorro total estimado: 1 730 736 US\$/año (11") y 976 752 US\$/año (12 ¼").
Paredes Muñoz 2020	Evaluar la productividad y costos de perforación de brocas tricónicas en una mina ubicada en Cajamarca	Diferencias en durabilidad y eficiencia de las brocas, con implicaciones directas en la reducción de costos y mejora de la productividad de la mina.
Cotos 2022	Evaluar las brocas tricónicas utilizadas durante la perforación en la unidad minera Toromocho en 2020	La evaluación justificó la idoneidad de los modelos de brocas tricónicas empleados en el proceso de perforación, alcanzando los objetivos planteados por la minera.
Rivera 2017	Analizar los costos de perforación y examinar el rendimiento en la unidad minera Antapaccay	Reducción del costo total de perforación y del costo por metro perforado, representando un ahorro significativo para la compañía, El modelo de análisis propuesto es replicable en diferentes contextos.

Fuente Propia.

Los estudios analizados ofrecen una perspectiva integral sobre la optimización del rendimiento y los costos de perforación utilizando brocas

tricónicas en diferentes unidades mineras. Al comparar estos resultados con los datos de la investigación propia realizada en la unidad minera Toquepala, se pueden extraer varias conclusiones relevantes.

La comparación de los estudios revisados y la investigación propia en Toquepala subraya la complejidad de evaluar el rendimiento de las brocas tricónicas. Los resultados demuestran que no hay una solución única que sea la mejor en todas las circunstancias; la elección del equipo debe considerar una combinación de rendimiento, velocidad de penetración y costo total de perforación. Los datos sugieren que, aunque Cenerg ofrece mejoras notables en ciertos aspectos, Terelion proporciona una mayor consistencia, especialmente en el rendimiento de brocas de 12 ¼". La optimización del uso de brocas debe ser un proceso continuo, adaptando estrategias basadas en datos operativos actualizados y específicos de cada mina.

Montoya (2018) demostró una significativa reducción del costo unitario de perforación utilizando brocas de 11" y 12 ¼" en la mina Toquepala, logrando ahorros del 12,85% y 7,13% respectivamente. Estos resultados se alinean con la necesidad de reducir costos operativos en la minería, lo que es esencial para la viabilidad económica de los proyectos mineros.

Rivera Vega (2017) encontró que la optimización de los parámetros de perforación mejoró significativamente la eficiencia operativa y redujo los costos en

una mina a cielo abierto. Este enfoque resalta la importancia de ajustar los parámetros operativos para maximizar el rendimiento, un hallazgo que también se refleja en los datos de Toquepala, donde se observó que el tricono Terelion optimiza el rendimiento en un 2% y el tricono Cenerg lo optimiza en un 16% para brocas de 11”.

El estudio de Paredes Muñoz (2020) en Cajamarca destacó diferencias en la durabilidad y eficiencia de diferentes modelos de brocas, lo que influye directamente en la reducción de costos y la mejora de la productividad. Este resultado es coherente con la observación en Toquepala de que los triconos Cenerg y Terelion ofrecen mejoras en la velocidad de penetración y rendimiento, aunque con variaciones significativas entre diferentes tamaños de brocas.

Cotos (2022) concluyó que cualquier modelo de broca tricónica utilizado en la unidad minera Toromocho proporciona datos relevantes para futuras decisiones. La evaluación justificó la idoneidad de los modelos empleados, alcanzando los objetivos de la minera. Este hallazgo resalta la importancia de un análisis continuo y detallado del rendimiento de las brocas, similar a la observación en Toquepala donde se analizó la optimización del rendimiento y velocidad de perforación.

Rendimiento (metros)

Triconos de 11”.

Actualmente en la unidad minera Toquepala se tiene un rendimiento promedio de 1 510 metros. El tricono Terelion optimiza el rendimiento en un 2% y el tricono Cenerg lo optimiza en un 16%.

Triconos de 12 ¼”.

Actualmente en la unidad minera Toquepala se tiene un rendimiento promedio de 1 589 metros. El tricono Terelion optimiza el rendimiento en un 2% y el tricono Cenerg se encuentra un 15% por debajo del promedio.

Velocidad de penetración (m/h)

Triconos de 11”.

Actualmente en la unidad minera Toquepala se tiene una velocidad promedio de 23,09 metros/hora. El tricono Terelion optimiza la velocidad en un 3% y el tricono Cenerg lo optimiza en un 6%.

Triconos de 12 ¼”.

Actualmente en la unidad minera Toquepala se tiene una velocidad promedio de 28,04 metros/hora. El tricono Terelion optimiza la velocidad en un 3% y el

tricono Cenerg lo optimiza en un 1%

Total Drilling Cost (\$/m)

El TDC es el principal KPI al momento de evaluar el performance de un tricono. Puesto que indicador incluye las variables de rendimiento en metros, velocidad en metros por hora, costos horarios y costos unitarios de los triconos. Debemos tener en cuenta que no siempre el tricono de mejor rendimiento y velocidad es el más óptimo, dependerá mucho de los costos unitarios de los triconos y del costo horario.

Actualmente el Total Drilling Cost, en la unidad minera Toquepala es:

- ✓ Para triconos de 11” es de 16,37 \$/m
- ✓ Para triconos de 12 ¼” es de 16,04 \$/m

Con Total Drilling Cost de 16,11 \$/m y 15,99 \$/m, respectivamente, lo que se traduce en un ahorro de \$0,26 por metro perforado en triconos de 11” y un \$0,05 de ahorro por metro perforado en triconos de 12 ¼”.

Para el 2023, la unidad minera Toquepala tiene estimado perforar en promedio 1 874 849 metros anuales; 156 237 metros mensuales y 4 630 metros diarios.

A partir de estos targets de perforación primaria, se espera un ahorro

significativo en la operación unitaria, estimamos los siguientes montos de ahorro:

En triconos de 11", se lograría un ahorro mensual de \$20,353 y el ahorro anual sumaría \$244 244.

En triconos de 12 ¼", se lograría un ahorro mensual de \$3,884 y el ahorro anual ascendería a \$46,612.

En conjunto se tendría un ahorro aproximado de \$290 856 en concepto de triconos en la unidad minera Toquepala.

CONCLUSIONES

Se logró optimizar el rendimiento de perforación en la unidad minera Toquepala mediante la determinación del menor Total Drilling Cost (\$/m) a través de un análisis comparativo de triconos durante un periodo de 10 meses. Este análisis permitió identificar el trcono con mejor performance global en dimensiones de 11” y 12 ¼”, resultando en una significativa reducción de costos operativos.

En los triconos de 11”, el trcono Cenerg demostró ser el mejor en rendimiento y velocidad, alcanzando 1 793 metros y 24,72 m/h. En los triconos de 12 ¼”, el trcono Terelion presentó el mejor rendimiento con 1 609 metros, mientras que el trcono Cenerg mostró la mayor velocidad de penetración con 28,87 m/h.

El estudio proyectó un ahorro anual significativo en la unidad Toquepala, estimado en \$244 444 para triconos de 11” y \$46,612 para triconos de 12 ¼”, sumando un total de \$290 857. Este ahorro se evidenciará mediante la reducción del Total Drilling Cost en un 1,6% para triconos de 11” y un 0,3% para triconos de 12 ¼”, implementando los triconos Terelion en ambas dimensiones a partir del siguiente trimestre.

RECOMENDACIONES

Dado que el análisis comparativo demostró que los triconos del proveedor Terelion tienen un mejor performance en las dimensiones de 11" y 12 ¼", se recomienda mantener el uso de estos triconos en la unidad minera Toquepala. Esto contribuirá a seguir reduciendo los costos de perforación.

Con los triconos Terelion demostrando un mejor performance y por ende un menor costo por metro perforado, se sugiere optimizar el inventario de triconos en las dimensiones de 11" y 12 ¼". Esto asegurará que siempre haya suficientes triconos de este proveedor disponibles para mantener la eficiencia en la perforación.

A medida que se empiece a implementar el uso de los triconos Terelion en las dimensiones de 11" y 12 ¼", se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo del rendimiento. Esto permitirá asegurarse de que los triconos sigan manteniendo su eficiencia y que los ahorros proyectados se estén logrando.

Se recomienda realizar capacitaciones al personal para maximizar los beneficios de la nueva estrategia de perforación con los triconos Terelion. Esto asegurará que estén familiarizados con los triconos nuevos y puedan optimizar su uso para alcanzar los mejores resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceros de Perforación. (27 de 10 de 2020). Obtenido de AGECOMET S.A.:
<http://agecomet.cl/productos.html>.

Casafranca, Á. (2022). Aplicación de un nuevo diseño de brocas para optimizar los parámetros de perforación del Tajo Toromocho - Minera Chinalco S.A. Obtenido de Repositorio UNDAC: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3057/4/T026_20076670_T.pdf.

Cotos, N. (2022). Evaluación de brocas tricónicas para mejorar los kpi's de perforación en la unidad minera Toromocho año 2020. Obtenido de Repositorio Institucional UNASAM: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5080>.

Datalog. (2017). Manual de perforación procedimientos y operaciones en el pozo 1. Obtenido de Datalog: https://issuu.com/zulimar3/docs/manual_de_perforacion_procedimiento.

Herrera, J. (2020). Sistemas básicos y procesos de los equipos de perforación. Obtenido de OA: https://oa.upm.es/62720/1/ingenieria_pozos_petroleo_y_gas_Vol-3_LM1B5T3R0-20200323.pdf.

Huisacayna et al. (2013). Trabajo de investigación: Southern Copper Corporation -

Toquepala. Obtenido de Slides: <https://es.scribd.com/doc/169518756/minera-toquepala-pptx>.

Jimeno, C. L. (2003). Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Madrid: Instituto Geologico Minero de España.

Marmaña et al. (2016). Perforación rotatoria antecedentes y características. Obtenido de ITESCO: <https://es.scribd.com/presentation/327204761/Perforacion-Rotatoria-Antecedentes-y-Caracteristicas#>.

Martín, J. S. (2013). Manual de perforación. Lima: ATLAS COPCO.

Montoya, F. (2019). Optimización de procesos en la perforación mediante un estudio comparativo de brocas tricónicas en la unidad minera Toquepala-Southern Perú Cooper Corporation 2018. Obtenido de Core: <https://core.ac.uk/download/pdf/233005901.pdf>.

Oscar, M. O. (2013). Exposición "Planeamiento de perforación y voladura de rocas". Lima, Perú: EXSA.

Remigio, g. (2020). Estudio geomecánico para diseñar mallas de perforación y voladura en chimeneas-Mina San Andrés-Minera Aurífera Retamas SA. Obtenido de Repositorio UNCP: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6078>.

Rivera y Román. (2023). Metodología desarrollada para perforación a diamantina con extracción de testigos, ejecutada en la fase de exploración geológica avanzada para proyectos mineros. Obtenido de Dspace Uzuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13304>

Rivera, F. (2017). Reducción de los costos totales e incremento del rendimiento en la perforación rotativa de una mina open pit. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/PUCP_692b7c6acd3fb5ac2db396ff7c8653f4.

Rodríguez, R. (2017). Métodos de perforación en muestreos estratigráficos, extremo Noroeste de la Cuenca del Valle de México. Obtenido de Repositorio INP: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/24157>.

Salas, P. (2019). Optimización en el proceso de perforación aplicando la percusión asistida en el sistema rotativo (PARD). para aumentar la productividad en operaciones a tajo abierto. Obtenido de Repositorio UCSM: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/9561/4/F.0005.MI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Sánchez, I. (2017). Perforación en la industria petrolera. Obtenido de Repositorio IPN: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22476>.

Superintendencia de Geología Mina. (2018). Informe anual 2018. Obtenido de

Superintendencia de Geología Mina: <https://www.smv.gob.pe/ConsultasP8/temp/SCC%20-%20MEMORIA%202018.pdf>.

U-Cursos. (s.f.). Perforación por rotación. Obtenido de U Cursos: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/MI57E/1/material_docente/bajar?id_material=160293.


Uribe y Padilla. (2018). Diseño de un equipo portátil de perforación de suelos humíferos y mixtos de hasta 100 metros de profundidad. Obtenido de Core: <https://core.ac.uk/download/pdf/322624802.pdf>.

ANEXOS:

Anexo 1 Matriz de consistencia

Optimización del performance de brocas tricónicas por medio de un análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg en la Unidad Minera Toquepala – Southern Copper Grupo México 2022			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Es posible optimizar el performance de brocas tricónicas por medio de un análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg y un adecuado control de aceros?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuál es la broca con menor TDC (Costo Total de Perforación), mayor rendimiento y mejor performance, en dimensiones de 11 y 12 ¼ pulgadas?</p> <p>¿Cuál es el ahorro anual que se obtendrá a partir del análisis comparativo de brocas tricónicas?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Reducir el TDC (costo total de perforación) para optimizar el performance de los triconos en la unidad minera Toquepala – Southern Copper Grupo México</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Identificar la broca tricónicas con mejor performance, en dimensiones de 11 y 12 ¼ pulgadas.</p> <p>Realizar el cálculo de ahorro anual a partir del resultado del análisis comparativo de brocas tricónicas</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Al realizar el análisis comparativo de brocas Terelion vs Cenerg es posible mejorar el performance de las brocas.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>Al culminar el análisis comparativo de brocas tricónicas se logrará identificar la broca tricónicas con menor TDC (Costo Total de Perforación), mayor rendimiento y mejor performance, en dimensiones de 11 y 12 ¼ pulgadas.</p> <p>El ahorro anual calculado será tendrá un impacto significativo en el costo anual de perforación primaria</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Análisis comparativo de brocas tricónicas por proveedor</p> <ul style="list-style-type: none"> • N° de proveedores • N° de perforadoras • N° de brocas tricónicas a evaluar <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Performance de brocas tricónicas • TDC (Costo Total de Perforación) • Rendimiento en metros
TIPO Y NIVEL	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	
<p>TIPO</p> <p>Cuantitativa - Transversal</p> <p>NIVEL</p> <p>Descriptivo</p>	<p>POBLACION</p> <p>Brocas tricónicas descartadas en los meses de octubre a diciembre de 2022</p> <p>MUESTRA</p> <p>Cada una de las brocas tricónicas descartadas.</p>	<p>TÉCNICAS</p> <p>Observación directa Trabajo de Campo Ensayos de Laboratorio</p> <p>TRATAMIENTO ESTADÍSTICO</p> <p>La información obtenida se organiza en cuadros, en cálculos numéricos y gráficos representativos</p>	<p>INSTRUMENTOS</p> <p>Equipos de campo</p>

Anexo 2: Ficha técnica 1: broca rb67 – 11” terelion

Bit Type RB67		
Bit Size 11 in (279.4 mm)		



www.terelion.com

Product Specifications

Gage Inserts:	66
Total Inserts:	183
Back Row:	Flat
Gage Row:	Conical
Inner Row:	Conical
Bearing Type:	Roller Ball Roller
Fluid Circulation Design:	3 Jet Nozzles with Nail Retention
Pin Connection:	6 5/8 in API Regular
Approx. Weight:	173 lbs (78.6 kg)

Operating Parameters*

Rotary Speed:	60 - 100 RPM
Max Pull-down:	71,500 lbs (31805 daN)
Make-up Torque:	28000 - 32000 Ft-Lbs (37963 - 43386 Nm)

*Operating parameters shown are typical for the bit type specified. For recommendations on your specific application, contact your Terelion representative.

RB - Terelion's Ridgeback® bit series is designed for tough, less abrasive formations, including metamorphic, carbonate, and copper bearing formations. Ridgeback products feature longer life bearings, rugged outer row cutting structures, Ridgeback leg design, and improved cutting structure elements for use in high pull-down applications.

Ridgeback - Ridgeback® is a Terelion patented shirttail pattern that allows drilled cuttings to be removed from the hole more effectively than with standard bit shirttails. This improves ROP and reduces regrinding and wear to the cones and shirttails. The result is a faster drilling bit with longer life.

Centurion Bearing - The Centurion open roller bearing delivers extended bearing life through improved design and applied material science.


Shirttail Hardfacing - A generous layer of tungsten carbide hardfacing is applied to the leading edges of the bit leg and shirttail tip to provide enhanced bearing protection.


Tungsten Carbide Leading Edge - Inserts are placed along the leading edge of the shirttail providing additional wear resistance in abrasive applications.

Vented Cones - Vented Cones allow a continuous air flow throughout the bearing to provide better cooling and cleaning.



Anexo 3: Ficha técnica 2: broca rb67g – 12 ¼” terelion

Bit Type RB67G	 RIDGEBACK MARATHON
Bit Size 12 1/4 in (311.2 mm) Assembly #: R09609 SDC: 642	



Product Specifications

Gage Inserts:	68
Total Inserts:	203
Back Row:	Flat
Gage Row:	Conical
Inner Row:	Conical
Bearing Type:	Roller Ball Roller
Fluid Circulation Design:	3 Jet Nozzles with Nail Retention
Nozzle Part No.:	12501
Pin Connection:	6 5/8 in API Regular
Approx. Weight:	230 lbs (104.5 kg)

Operating Parameters*

Rotary Speed:	60 - 100 RPM
Max Pulldown:	79,625 lbs (35419 daN)
Make-up Torque:	28000 - 32000 Ft-Lbs (37963 - 43386 Nm)

*Operating parameters shown are typical for the bit type specified. For recommendations on your specific application, contact your Terelion representative.

RBG - Terelion's Ridgeback® bit series delivers in highly abrasive and broken ground applications including sandstone and quartz often found in gold bearing formations, as well as coal overburden and some copper and iron bearing formations. Products feature longer-life bearings, heavy duty shirrtails, additional gauge protection, a unique Sidewinder leg design, enhanced air flow system and improved abrasion resistant tungsten carbide inserts.

Ridgeback - Ridgeback® is a Terelion patented shirrtail pattern that allows drilled cuttings to be removed from the hole more effectively than with standard bit shirrtails. This improves ROP and reduces regrinding and wear to the cones and shirrtails. The result is a faster drilling bit with longer life.


Centurion Bearing - The Centurion open roller bearing delivers extended bearing life through improved design and applied material science.

Shirrtail Hardfacing - A generous layer of tungsten carbide hardfacing is applied to the leading edges of the bit leg and shirrtail tip to provide enhanced bearing protection.

Tungsten Carbide Leading Edge - Inserts are placed along the leading edge of the shirrtail providing additional wear resistance in abrasive applications.

Vented Cones - Vented Cones allow a continuous air flow throughout the bearing to provide better cooling and clearing.

www.terelion.com

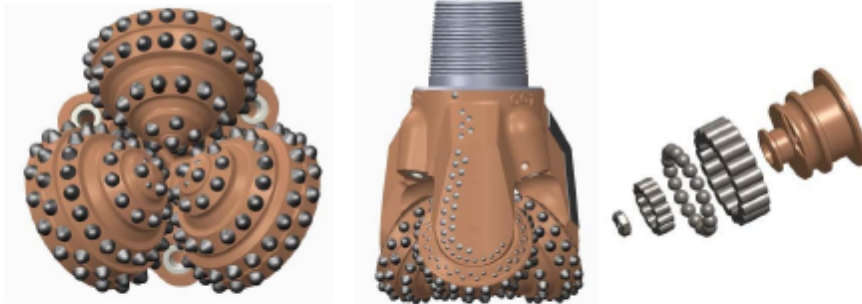


Anexo 4: Ficha técnica 3: broca cn71 – 12 ¼” ryder

N° Doc: CGT/Diseño/05
 Fecha: 01/07/14
 Rev:00

M10286 – (12 1/4” - CN71)

Especificaciones del producto



Características del producto

- Inserto cónico en calibre.
- Protección de faldón completa para formaciones duras a muy duras.
- Protección de doble fila con insertos esféricos.
- Insertos de alto conteo para formaciones duras y formas agresivas de insertos para mejorar el ROP.

Especificaciones del producto

Medida/Tipo	12 1/4" CN71	Estructura de corte	TCI
IADC	7-2-2	Filas	3 - calibre / 12 – internos
Conexión de Pin	6 5/8" API Reg	Total Insertos	58 - calibre / 135 – Internos
Cojinetes	Rodamientos por aire abierto	Insertos de fila de calibre	Cónicos
Tipo de circulación	Chorro	Insertos interiores	Cónicos
Peso de la broca	95 kg	Protección del faldón	Completo
Nozzle	3 x Salida lateral	Insertos de faldón	Esféricos

Parámetros de operación

Peso en la broca : 49,000 – 98,000 lbs.
 Velocidad de rotación (RPM) : 50 - 90
 UCS de roca : Entre 35,000 a 57,500 PSI

Los parámetros operativos son rangos típicos y pueden variar según las condiciones del terreno.



Rev:00

Fecha: 14/11/2018 Aprobado por: KV

Anexo 5: Ficha técnica 4: broca cn71 – 11” ryder

M10316 – 11” CN71

N° Doc: CGT/Diseño/05
 Fecha:01/07/14
 Rev:00

Especificaciones del producto



Características del producto

- Inserto cónico en calibre.
- Protección complete en faldón para formaciones duras a muy duras.
- Protección de doble fila con insertos esféricos.
- Insertos de alto conteo para formaciones duras y formas agresivas de insertos para mejorar el ROP.

Especificaciones del producto

Medida/Tipo IADC	11” CN71 7-1-2	Estructura de corte Filas	TCI 3 - calibre / 11 – Internos
Conexión de Pin	6 3/4” API Regular	Total de insertos	59 - calibre /127 – Internos
Cojinetes	Rodamientos de aire abierto	Insertos de calibre	Cónico
Tipo de circulación	Chorro	Insertos interiores	Cónico
Peso de la broca	67 kg	Protección de faldón	Completo
Nozzle	3 x Salida lateral	Insertos de faldón	Esféricos

Parámetros de operación

- Peso de la broca : 44,000 –88,000 lbs.
 Velocidad de rotación (RPM) : 50 -90
 UCS de la Roca : Entre 35,000 a 57,500 PSI

Los parámetros operativos son rangos típicos y pueden variar según las condiciones del terreno.

Aprobado por : KV



Anexo 6: Data 11”

AÑO	MES	EQUIPO	N° SERIE	MODELO	MEDIDA	MARCA	RECORRIDO (m)	Vel. De Pen. (m/h)	PULLDOWN (Kib)	PRES. DE AIRE (PSI)	RPM
2022	Octubre	DR09	22030459	CN71	11	Cenerg	1460	21	76	51	62
2022	Julio	DR07	21121124	CN71	11	Cenerg	1462	20	75	51	60
2022	Mayo	DR08	21120172	CN71	11	Cenerg	1479	20	77	52	64
2022	Septiembre	DR18	22050641	CN71	11	Cenerg	1479	37	77	51	61
2022	Julio	DR07	21120252	CN71	11	Cenerg	1479	26	74	53	60
2022	Abril	DR05	2107884	CN71	11	Cenerg	1485	20	75	50	62
2022	Marzo	DR09	21081907	CN71	11	Cenerg	1489	21	75	50	59
2022	Mayo	DR12	21120433	CN71	11	Cenerg	1512	24	77	52	62
2022	Enero	DR04	21030120	CN71	11	Cenerg	1514	22	75	51	61
2022	Enero	DR04	21030243	CN71	11	Cenerg	1530	26	76	50	61
2022	Septiembre	DR08	22050697	CN71	11	Cenerg	1530	19	77	52	63
2022	Marzo	DR18	21081899	CN71	11	Cenerg	1533	29	74	54	63
2022	Agosto	DR09	22020312	CN71	11	Cenerg	1535	20	75	51	60
2022	Marzo	DR18	21071960	CN71	11	Cenerg	1537	26	83	53	61
2022	Septiembre	DR08	22050700	CN71	11	Cenerg	1539	23	76	52	62
2022	Mayo	DR04	21120163	CN71	11	Cenerg	1542	18	74	51	62
2022	Enero	DR07	21030244	CN71	11	Cenerg	1547	21	73	51	61
2022	Junio	DR12	21120504	CN71	11	Cenerg	1547	26	76	50	61
2022	Octubre	DR12	22050677	CN71	11	Cenerg	1557.53	29	78	50	61
2022	Octubre	DR05	22020311	CN71	11	Cenerg	1558	20	77	51	64
2022	Enero	DR05	21030235	CN71	11	Cenerg	1563	18	75	49	62
2022	Octubre	DR18	22030533	CN71	11	Cenerg	1572	41	78	50	63
2022	Septiembre	DR04	22020051	CN71	11	Cenerg	1581	22	75	51	61
2022	Septiembre	DR04	22050696	CN71	11	Cenerg	1582	19	75	51	60
2022	Julio	DR05	21120505	CN71	11	Cenerg	1596	25	75	53	63
2022	Noviembre	DR05	22020202	CN71	11	Cenerg	1596	20	77	50	63
2022	Febrero	DR08	21081893	CN71	11	Cenerg	1605	21	76	54	60
2022	Septiembre	DR08	22020018	CN71	11	Cenerg	1613	19	78	52	64
2022	Junio	DR09	21120162	CN71	11	Cenerg	1615	19	74	51	61
2022	Marzo	DR04	21081891	CN71	11	Cenerg	1616	25	75	73	56
2022	Septiembre	DR09	22020019	CN71	11	Cenerg	1623	23	74	50	60
2022	Marzo	DR12	21081882	CN71	11	Cenerg	1627	25	75	51	60
2022	Febrero	DR04	21071774	CN71	11	Cenerg	1630	25	75	51	62

2022	Febrero	DR12	21081901	CN71	11	Cenerg	1633.1	27	75	51	60
2022	Enero	DR07	21030238	CN71	11	Cenerg	1638	21	75	51	61
2022	Noviembre	DR04	22050650	CN71	11	Cenerg	1639	22	76	51	62
2022	Junio	DR08	21120484	CN71	11	Cenerg	1642.5	20	78	51	64
2022	Junio	DR08	21120436	CN71	11	Cenerg	1649	21	78	52	65
2022	Enero	DR12	21041348	CN71	11	Cenerg	1650	18	75	50	60
2022	Noviembre	DR04	22020230	CN71	11	Cenerg	1656	21	75	51	62
2022	Noviembre	DR08	22020310	CN71	11	Cenerg	1659	18	77	52	62
2022	Abril	DR18	21090076	CN71	11	Cenerg	1675	34	75	52	64
2022	Mayo	DR09	21120630	CN71	11	Cenerg	1679	21	82	50	61
2022	Mayo	DR12	21120430	CN71	11	Cenerg	1682.55	19	75	50	60
2022	Noviembre	DR05	20020339	CN71	11	Cenerg	1694	19	76	50	62
2022	Agosto	DR18	22011346	CN71	11	Cenerg	1700	36	75	51	61
2022	Agosto	DR09	22020206	CN71	11	Cenerg	1701	25	76	51	61
2022	Junio	DR04	21120501	CN71	11	Cenerg	1702	25	75	51	60
2022	Agosto	DR09	22011402	CN71	11	Cenerg	1705	24	75	51	60
2022	Julio	DR09	22011406	CN71	11	Cenerg	1715	19	75	52	60
2022	Octubre	DR09	22050627	CN71	11	Cenerg	1723	23	75	52	60
2022	Agosto	DR08	22011648	CN71	11	Cenerg	1724	21	77	52	64
2022	Marzo	DR12	21071805	CN71	11	Cenerg	1730	22	75	51	60
2022	Abril	DR08	21090073	CN71	11	Cenerg	1732	21	74	52	64
2022	Mayo	DR07	2120254	CN71	11	Cenerg	1734	24	74	52	60
2022	Julio	DR07	21120345	CN71	11	Cenerg	1748	19	74	52	60
2022	Julio	DR08	21120372	CN71	11	Cenerg	1758	21	77	52	63
2022	Febrero	DR09	21081881	CN71	11	Cenerg	1763	23	75	50	60
2022	Octubre	DR18	22050639	CN71	11	Cenerg	1763	39	79	51	63
2022	Septiembre	DR12	22050656	CN71	11	Cenerg	1770	42	75	50	62
2022	Abril	DR07	21090071	CN71	11	Cenerg	1785	20	82	52	62
2022	Septiembre	DR04	22011363	CN71	11	Cenerg	1795	21	75	51	60
2022	Enero	DR08	21030127	CN71	11	Cenerg	1795	20	75	52	62
2022	Octubre	DR12	22050771	CN71	11	Cenerg	1807.15	38	77	51	60
2022	Febrero	DR12	21081884	CN71	11	Cenerg	1818.84	27	75	51	60
2022	Febrero	DR12	21021634	CN71	11	Cenerg	1834.5	23	77	52	62
2022	Octubre	DR07	22050640	CN71	11	Cenerg	1836	18	75	51	60
2022	Junio	DR12	21120502	CN71	11	Cenerg	1836	25	75	53	60
2022	Septiembre	DR08	22050729	CN71	11	Cenerg	1853	20	77	52	64

2022	Octubre	DR08	22050754	CN71	11	Cenerg	1853	20	77	52	64
2022	Octubre	DR18	22050680	CN71	11	Cenerg	1853	39	79	51	63
2022	Octubre	DR12	22050731	CN71	11	Cenerg	1856.05	39	74	50	62
2022	Febrero	DR12	21081892	CN71	11	Cenerg	1859.59	22	77	51	60
2022	Junio	DR12	22011408	CN71	11	Cenerg	1869	26	76	51	60
2022	Octubre	DR04	22050701	CN71	11	Cenerg	1908	21	75	50	60
2022	Septiembre	DR04	22050730	CN71	11	Cenerg	1912	24	74	50	60
2022	Agosto	DR05	22020803	CN71	11	Cenerg	1936	23	75	50	61
2022	Septiembre	DR12	22030468	CN71	11	Cenerg	1971.28	39	73	51	61
2022	Septiembre	DR18	22050679	CN71	11	Cenerg	1972	42	77	50	63
2022	Marzo	DR07	21071801	CN71	11	Cenerg	1977	26	75	49	59
2022	Septiembre	DR07	22050626	CN71	11	Cenerg	1986	23	75	51	60
2022	Agosto	DR18	22020052	CN71	11	Cenerg	2030.52	33	74	50	62
2022	Junio	DR09	21120344	CN71	11	Cenerg	2036	22	75	51	61
2022	Agosto	DR07	21121826	CN71	11	Cenerg	2056	22	74	50	59
2022	Mayo	DR05	21120374	CN71	11	Cenerg	2086	34	75	50	64
2022	Septiembre	DR12	22050643	CN71	11	Cenerg	2127.17	40	79	51	61
2022	Mayo	DR04	21120485	CN71	11	Cenerg	2135	22	75	51	61
2022	Julio	DR05	21121217	CN71	11	Cenerg	2142	27	76	53	63
2022	Octubre	DR18	22030528 0	CN71	11	Cenerg	2152	39	79	50	63
2022	Agosto	DR07	22010178	CN71	11	Cenerg	2153	23	75	52	60
2022	Marzo	DR05	21071802	CN71	11	Cenerg	2154	21	74	50	62
2022	Septiembre	DR04	22020055	CN71	11	Cenerg	2155	22	75	51	61
2022	Noviembre	DR04	22020205	CN71	11	Cenerg	2157	22	75	51	60
2022	Octubre	DR07	22030457	CN71	11	Cenerg	2157	20	74	50	60
2022	Octubre	DR08	22050675	CN71	11	Cenerg	2174	20	77	51	63
2022	Agosto	DR07	22011405	CN71	11	Cenerg	2176	25	75	51	62
2022	Octubre	DR07	22050646	CN71	11	Cenerg	2182.5	19	74	50	60
2022	Septiembre	DR18	22050694	CN71	11	Cenerg	2192	40	79	50	62
2022	Junio	DR05	21120368	CN71	11	Cenerg	2227	26	75	51	62
2022	Octubre	DR05	22030461	CN71	11	Cenerg	2238	22	75	50	64
2022	Mayo	DR09	21120503	CN71	11	Cenerg	2240	22	75	50	61
2022	Junio	DR04	21120370	CN71	11	Cenerg	2244	27	74	51	61
2022	Julio	DR08	21121220	CN71	11	Cenerg	2244	26	77	52	64
2022	Julio	DR12	21121224	CN71	11	Cenerg	2257.12	27	75	53	61
2022	Octubre	DR08	22050755	CN71	11	Cenerg	2278	22	76	51	64

2022	Febrero	DR07	1687606	RB-67	11	Terelion	939	22	75	52	61
2022	Octubre	DR12	1716360	RB-67	11	Terelion	942.33	20	78	49	61
2022	Junio	DR08	1684089	RB-67	11	Terelion	952	19	77	52	65
2022	Enero	DR18	1700530	RB-67	11	Terelion	1350	28	76	53	63
2022	Marzo	DR09	1700517	RB-67	11	Terelion	1450	20	74	51	61
2022	Mayo	DR08	1684114	RB-67	11	Terelion	1515	18	77	52	64
2022	Abril	DR05	1715884	RB-67	11	Terelion	1008	20	75	52	64
2022	Septiembre	DR12	1721661	RB-67	11	Terelion	1012.16	23	75	51	60
2022	Marzo	DR08	1713325	RB-67	11	Terelion	1017	17	76	52	62
2022	Marzo	DR05	1715886	RB-67	11	Terelion	1020	19	74	52	62
2022	Agosto	DR12	1721672	RB-67	11	Terelion	1037	23	75	53	60
2022	Agosto	DR07	1715901	RB-67	11	Terelion	1046	22	75	52	60
2022	Marzo	DR18	1715902	RB-67	11	Terelion	1046	33	81	53	63
2022	Junio	DR18	1697658	RB-67	11	Terelion	1063.5	25	77	53	64
2022	Agosto	DR12	1726713	RB-67	11	Terelion	1066.82	26	76	51	60
2022	Abril	DR08	1706204	RB-67	11	Terelion	1069	23	75	52	63
2022	Abril	DR12	1706219	RB-67	11	Terelion	1071	21	75	53	60
2022	Mayo	DR12	1684115	RB-67	11	Terelion	1087	21	76	50	60
2022	Mayo	DR05	1684110	RB-67	11	Terelion	1088	20	75	52	62
2022	Marzo	DR07	1700520	RB-67	11	Terelion	1105	23	74	52	60
2022	Agosto	DR12	1721657	RB-67	11	Terelion	1118.14	24	75	51	60
2022	Julio	DR05	1715905	RB-67	11	Terelion	1122	24	75	52	63
2022	Agosto	DR12	1721675	RB-67	11	Terelion	1138.03	18	76	52	59
2022	Julio	DR07	1697665	RB-67	11	Terelion	1152.5	20	75	53	60
2022	Julio	DR09	1697660	RB-67	11	Terelion	1154	21	77	51	60
2022	Abril	DR09	1715898	RB-67	11	Terelion	1162	21	74	51	61
2022	Marzo	DR09	1687613	RB-67	11	Terelion	1163	21	75	50	60
2022	Agosto	DR09	21121825	RB-67	11	Terelion	1175	20	77	51	61
2022	Junio	DR09	1684091	RB-67	11	Terelion	1185	27	76	50	60
2022	Julio	DR08	1724985	RB-67	11	Terelion	1190	29	77	52	64
2022	Marzo	DR09	1700519	RB-67	11	Terelion	1224	22	75	51	60
2022	Septiembre	DR09	1721673	RB-67	11	Terelion	1238	23	74	50	60
2022	Febrero	DR07	1687615	RB-67	11	Terelion	1262	20	73	52	59
2022	Marzo	DR18	1715900	RB-67	11	Terelion	1273	31	79	53	62
2022	Abril	DR05	1715882	RB-67	11	Terelion	1277	20	75	52	64
2022	Abril	DR12	1684101	RB-67	11	Terelion	1279.96	21	75	53	61

2022	Junio	DR18	1684090	RB-67	11	Terelion	1286.5	23	77	53	63
2022	Junio	DR12	1684092	RB-67	11	Terelion	1290	23	75	50	60
2022	Abril	DR12	1715896	RB-67	11	Terelion	1293	23	73	53	60
2022	Abril	DR18	1684087	RB-67	11	Terelion	1297	26	84	53	62
2022	Junio	DR12	1697659	RB-67	11	Terelion	1303	25	75	53	61
2022	Abril	DR05	1684100	RB-67	11	Terelion	1304	21	74	53	62
2022	Febrero	DR07	1687611	RB-67	11	Terelion	1309	23	75	52	60
2022	Febrero	DR18	1700515	RB-67	11	Terelion	1318	25	75	53	63
2022	Septiembre	DR07	1721655	RB-67	11	Terelion	1326	23	75	51	61
2022	Abril	DR12	1706208	RB-67	11	Terelion	1326	26	75	53	60
2022	Junio	DR08	1684093	RB-67	11	Terelion	1343	20	80	53	64
2022	Enero	DR07	1697669	RB-67	11	Terelion	1358	19	76	50	60
2022	Mayo	DR09	1715894	RB-67	11	Terelion	1359	21	75	50	61
2022	Febrero	DR09	1700527	RB-67	11	Terelion	1360	21	74	52	60
2022	Abril	DR12	1706211	RB-67	11	Terelion	1360	22	76	53	62
2022	Abril	DR18	17115891	RB-67	11	Terelion	1381.5	32	75	53	63
2022	Mayo	DR04	1684086	RB-67	11	Terelion	1392	22	75	51	61
2022	Agosto	DR12	1721660	RB-67	11	Terelion	1406.55	24	76	52	60
2022	Abril	DR07	1715890	RB-67	11	Terelion	1411	25	75	52	61
2022	Agosto	DR09	1721654	RB-67	11	Terelion	1432	22	76	51	60
2022	Mayo	DR05	1684108	RB-67	11	Terelion	1437	25	75	51	62
2022	Abril	DR18	1706218	RB-67	11	Terelion	1474	37	76	53	64
2022	Septiembre	DR05	1721674	RB-67	11	Terelion	1477	21	75	52	60
2022	Marzo	DR18	1715893	RB-67	11	Terelion	1487	30	75	52	62
2022	Marzo	DR04	1687607	RB-67	11	Terelion	1496	23	74	51	61
2022	Mayo	DR08	1694075	RB-67	11	Terelion	1496	25	77	52	64
2022	Abril	DR12	1684096	RB-67	11	Terelion	1496	21	75	53	60
2022	Marzo	DR07	1713322	RB-67	11	Terelion	1503	27	74	52	58
2022	Abril	DR07	1706206	RB-67	11	Terelion	1536	25	75	52	61
2022	Agosto	DR09	1684085	RB-67	11	Terelion	1538	21	75	50	60
2022	Abril	DR05	1713321	RB-67	11	Terelion	1554	24	74	51	61
2022	Junio	DR09	1694070	RB-67	11	Terelion	1564	23	77	52	62
2022	Marzo	DR18	1713324	RB-67	11	Terelion	1612	31	82	52	62
2022	Abril	DR18	1715885	RB-67	11	Terelion	1624	33	75	53	62
2022	Abril	DR04	1700532	RB-67	11	Terelion	1638	26	74	51	60
2022	Marzo	DR04	1715907	RB-67	11	Terelion	1649	27	74	51	62

2022	Abril	DR07	1706212	RB-67	11	Terelion	1661	21	75	51	59
2022	Mayo	DR07	1684112	RB-67	11	Terelion	1666	25	76	52	62
2022	Mayo	DR05	1684102	RB-67	11	Terelion	1682	22	75	52	62
2022	Enero	DR04	1697666	RB-67	11	Terelion	1749	25	75	52	60
2022	Mayo	DR07	1694071	RB-67	11	Terelion	1783	28	75	52	60
2022	Julio	DR04	1715906	RB-67	11	Terelion	1785	26	75	51	61
2022	Abril	DR18	1706210	RB-67	11	Terelion	1787	35	76	52	64
2022	Septiembre	DR18	1726711	RB-67	11	Terelion	1799	35	76	50	61
2022	Mayo	DR05	1681119	RB-67	11	Terelion	1811	23	75	52	64
2022	Enero	DR04	1693784	RB-67	11	Terelion	1819	25	77	52	62
2022	Abril	DR04	1706207	RB-67	11	Terelion	1833	24	74	51	61
2022	Febrero	DR12	1706214	RB-67	11	Terelion	1858.16	20	74	52	60
2022	Agosto	DR05	1721658	RB-67	11	Terelion	1862	22	75	50	61
2022	Mayo	DR05	1684118	RB-67	11	Terelion	1887	27	75	52	63
2022	Mayo	DR09	1684111	RB-67	11	Terelion	1888	23	75	52	61
2022	Junio	DR05	1724990	RB-67	11	Terelion	1974	21	75	53	63
2022	Mayo	DR07	1694079	RB-67	11	Terelion	1989	22	75	52	61
2022	Febrero	DR08	1683750	RB-67	11	Terelion	1991.5	21	76	53	62
2022	Mayo	DR04	1684116	RB-67	11	Terelion	2040	26	74	52	60
2022	Febrero	DR07	1700528	RB-67	11	Terelion	2060	24	74	50	60
2022	Junio	DR05	1684084	RB-67	11	Terelion	2108	30	74	51	61
2022	Abril	DR04	1706215	RB-67	11	Terelion	2126	23	75	51	61
2022	Enero	DR12	1700531	RB-67	11	Terelion	2221.75	22	75	52	59
2022	Mayo	DR12	1694074	RB-67	11	Terelion	2223	27	77	51	62
2022	Marzo	DR05	1700514	RB-67	11	Terelion	2239	24	75	52	64
2022	Abril	DR08	1706222	RB-67	11	Terelion	2303	21	76	52	63
2022	Enero	DR04	1697656	RB-67	11	Terelion	2361	21	75	51	60
2022	Enero	DR07	1700533	RB-67	11	Terelion	2411	22	75	50	61
2022	Agosto	DR12	1721656	RB-67	11	Terelion	2444.6	31	75	52	60
2022	Abril	DR07	1706217	RB-67	11	Terelion	2536	24	75	52	60
2022	Abril	DR08	1706203	RB-67	11	Terelion	2716	20	75	52	64
2022	Febrero	DR05	1706205	RB-67	11	Terelion	2917	22	75	51	62
2022	Febrero	DR04	1700529	RB-67	11	Terelion	3018	24	75	51	61

Anexo 7: Data 12,25”

AÑO	MES	EQUIPO	N° SERIE	MODELO	MEDIDA	MARCA	RECORRIDO (m)	Vel. De Pen. (m/h)	PULLDOWN (Klb)	PRES. DE AIRE (PSI)	RPM
2022	Septiembre	DR16	922020272	CN71	12.25	Cenerg	748	33	77	60	51
2022	Marzo	DR17	921081019	CN71	12.25	Cenerg	766	29	74	60	48
2022	Mayo	DR11	921120395	CN71	12.25	Cenerg	780	34	79	60	49
2022	Abril	DR16	921090651	CN71	12.25	Cenerg	816.5	21	76	60	50
2022	Marzo	DR17	921091010	CN71	12.25	Cenerg	843	40	74	60	48
2022	Julio	DR19	921121186	CN71	12.25	Cenerg	874	22	78	63	51
2022	Octubre	DR12	922020273	CN71	12.25	Cenerg	880.5	30	74	61	52
2022	Mayo	DR11	921120382	CN71	12.25	Cenerg	884	31	77	60	50
2022	Octubre	DR12	921121188	CN71	12.25	Cenerg	891.5	17	77	61	52
2022	Septiembre	DR19	922020299	CN71	12.25	Cenerg	899	36	77	60	50
2022	Mayo	DR19	921120508	CN71	12.25	Cenerg	901	29	75	63	50
2022	Abril	DR19	921090442	CN71	12.25	Cenerg	918	26	75	61	50
2022	Mayo	DR18	921090446	CN71	12.25	Cenerg	953	36	78	61	53
2022	Marzo	DR19	921080787	CN71	12.25	Cenerg	965	22	75	62	50
2022	Abril	DR16	921081713	CN71	12.25	Cenerg	967	33	74	60	50
2022	Marzo	DR17	921091011	CN71	12.25	Cenerg	969	27	62	61	44
2022	Abril	DR17	921090439	CN71	12.25	Cenerg	971	34	68	60	50
2022	Mayo	DR16	921120407	CN71	12.25	Cenerg	979	24	75	60	50
2022	Enero	DR16	921080350	CN71	12.25	Cenerg	982	27	77	60	50
2022	Abril	DR18	921090530	CN71	12.25	Cenerg	984	28	77	65	52
2022	Mayo	DR18	921120396	CN71	12.25	Cenerg	984	29	79	63	52
2022	Abril	DR19	921090652	CN71	12.25	Cenerg	984	37	76	61	50
2022	Marzo	DR16	921081249	CN71	12.25	Cenerg	1003	26	76	60	50
2022	Mayo	DR19	921090714	CN71	12.25	Cenerg	1003	26	79	62	50
2022	Julio	DR21	921120383	CN71	12.25	Cenerg	1003	26	74	60	51
2022	Marzo	DR19	921081416	CN71	12.25	Cenerg	1008	21	96	61	53
2022	Agosto	DR17	921120412	CN71	12.25	Cenerg	1018	32	76	60	51
2022	Julio	DR17	921091276	CN71	12.25	Cenerg	1037	26	76	60	52
2022	Septiembre	DR19	921120381	CN71	12.25	Cenerg	1037	29	78	62	50
2022	Mayo	DR18	921081359	CN71	12.25	Cenerg	1052	35	79	63	51
2022	Abril	DR21	921081680	CN71	12.25	Cenerg	1056	36	70	60	50
2022	Julio	DR11	921090713	CN71	12.25	Cenerg	1071	27	75	60	50
2022	Julio	DR16	921120943	CN71	12.25	Cenerg	1105	30	76	60	52

2022	Septiembre	DR17	922020408	CN71	12.25	Cenerg	1105	23	76	60	50
2022	Agosto	DR19	7724881	CN71	12.25	Cenerg	1139	30	74	62	51
2022	Octubre	DR17	922020274	CN71	12.25	Cenerg	1173	27	77	60	50
2022	Abril	DR21	921090533	CN71	12.25	Cenerg	1179	26	72	59	50
2022	Abril	DR11	921090654	CN71	12.25	Cenerg	1187	36	78	60	50
2022	Julio	DR21	921120410	CN71	12.25	Cenerg	1200	34	73	60	52
2022	Enero	DR11	921070537	CN71	12.25	Cenerg	1206	28	78	60	50
2022	Enero	DR19	921080405	CN71	12.25	Cenerg	1208	44	77	64	49
2022	Marzo	DR11	921081420	CN71	12.25	Cenerg	1213	21	76	61	51
2022	Abril	DR16	921090537	CN71	12.25	Cenerg	1214	24	76	60	51
2022	Mayo	DR18	921090376	CN71	12.25	Cenerg	1222	34	79	64	53
2022	Marzo	DR11	921081254	CN71	12.25	Cenerg	1228	18	77	61	51
2022	Febrero	DR21	921081252	CN71	12.25	Cenerg	1231	25	73	58	51
2022	Abril	DR18	921091012	CN71	12.25	Cenerg	1235	26	77	62	52
2022	Julio	DR16	921090378	CN71	12.25	Cenerg	1286	24	78	60	51
2022	Julio	DR18	921120942	CN71	12.25	Cenerg	1289.5	34	79	61	51
2022	Abril	DR19	921090536	CN71	12.25	Cenerg	1305	36	75	64	50
2022	Junio	DR16	921091275	CN71	12.25	Cenerg	1317	27	75	62	50
2022	Enero	DR18	921080351	CN71	12.25	Cenerg	1333	30	81	63	52
2022	Marzo	DR19	921081677	CN71	12.25	Cenerg	1360	27	76	62	50
2022	Abril	DR16	921080783	CN71	12.25	Cenerg	1391	23	77	60	53
2022	Octubre	DR18	922021273	CN71	12.25	Cenerg	1411	37	81	63	51
2022	Enero	DR18	921080349	CN71	12.25	Cenerg	1430	22	79	63	51
2022	Febrero	DR19	921080982	CN71	12.25	Cenerg	1431	33	76	62	49
2022	Abril	DR11	921090655	CN71	12.25	Cenerg	1438	29	79	60	50
2022	Agosto	DR19	921121190	CN71	12.25	Cenerg	1444	29	77	63	52
2022	Marzo	DR21	921081362	CN71	12.25	Cenerg	1445	25	76	59	50
2022	Marzo	DR19	921081444	CN71	12.25	Cenerg	1467	22	102	62	52
2022	Marzo	DR11	921090657	CN71	12.25	Cenerg	1469	32	103	59	52
2022	Abril	DR11	921090377	CN71	12.25	Cenerg	1479	31	78	60	50
2022	Agosto	DR17	922020751	CN71	12.25	Cenerg	1479	24	76	60	54
2022	Abril	DR16	921090373	CN71	12.25	Cenerg	1494	33	75	60	52
2022	Marzo	DR11	92108983	CN71	12.25	Cenerg	1506	22	98	59	52
2022	Agosto	DR16	921120414	CN71	12.25	Cenerg	1545	23	74	60	50
2022	Septiembre	DR17	921121178	CN71	12.25	Cenerg	1550.5	26	75	60	51
2022	Marzo	DR17	921081446	CN71	12.25	Cenerg	1569	24	74	60	51

2022	Agosto	DR16	922020771	CN71	12.25	Cenerg	1581	23	77	60	51
2022	Junio	DR16	921120408	CN71	12.25	Cenerg	1584	30	77	60	51
2022	Marzo	DR17	921081679	CN71	12.25	Cenerg	1591	25	74	60	53
2022	Febrero	DR16	921081251	CN71	12.25	Cenerg	1598	24	73	60	50
2022	Abril	DR19	921090535	CN71	12.25	Cenerg	1639	31	74	62	50
2022	Abril	DR11	921081358	CN71	12.25	Cenerg	1664	34	78	60	50
2022	Marzo	DR19	921081360	CN71	12.25	Cenerg	1682	25	76	63	55
2022	Marzo	DR17	921081716	CN71	12.25	Cenerg	1706	29	74	60	50
2022	Junio	DR16	921090650	CN71	12.25	Cenerg	1742.5	29	77	60	50
2022	Septiembre	DR17	922020764	CN71	12.25	Cenerg	1751	23	75	60	51
2022	Febrero	DR19	921081717	CN71	12.25	Cenerg	1756	33	72	62	50
2022	Mayo	DR16	921090444	CN71	12.25	Cenerg	1786	39	75	60	50
2022	Noviembre	DR11	921121192	CN71	12.25	Cenerg	1833	18	77	60	52
2022	Marzo	DR21	921081253	CN71	12.25	Cenerg	1844	31	85	61	52
2022	Noviembre	DR11	922020276	CN71	12.25	Cenerg	1867.5	42	76	62	50
2022	Enero	DR11	921080690	CN71	12.25	Cenerg	1877	18	76	62	50
2022	Agosto	DR16	922020750	CN71	12.25	Cenerg	1894	31	76	66	50
2022	Enero	DR21	921080347	CN71	12.25	Cenerg	1911.5	38	77	60	49
2022	Julio	DR21	921120387	CN71	12.25	Cenerg	1919	37	72	60	52
2022	Enero	DR11	921080785	CN71	12.25	Cenerg	1921	33	76	60	51
2022	Abril	DR19	921081714	CN71	12.25	Cenerg	1934	35	75	62	50
2022	Agosto	DR16	921121179	CN71	12.25	Cenerg	2030	22	78	61	51
2022	Junio	DR17	921121183	CN71	12.25	Cenerg	2037	32	74	60	52
2022	Julio	DR16	921121185	CN71	12.25	Cenerg	2046.95	26	76	62	50
2022	Julio	DR16	921090710	CN71	12.25	Cenerg	2048.5	29	77	60	51
2022	Junio	DR17	921090653	CN71	12.25	Cenerg	2060	33	73	60	51
2022	Marzo	DR21	921081248	CN71	12.25	Cenerg	2143.5	32	75	61	50
2022	Marzo	DR16	921081361	CN71	12.25	Cenerg	2183.5	22	76	61	51
2022	Mayo	DR17	921081447	CN71	12.25	Cenerg	2206	23	73	60	50
2022	Enero	DR21	921080687	CN71	12.25	Cenerg	2232	33	71	60	49
2022	Junio	DR11	921091318	CN71	12.25	Cenerg	2256.5	31	78	60	50
2022	Abril	DR16	921090370	CN71	12.25	Cenerg	2313	41	75	60	50
2022	Marzo	DR11	1716302	RB-67G	12.25	Terelion	953.5	26	97	60	54
2022	Mayo	DR11	1716393	RB-67G	12.25	Terelion	982	24	78	60	50
2022	Noviembre	DR19	1721779	RB-67G	12.25	Terelion	984	23	76	62	51
2022	Mayo	DR17	1716319	RB-67G	12.25	Terelion	986	21	74	60	50

2022	Enero	DR11	1698638	RB-67G	12.25	Terelion	1005.5	32	76	60	50
2022	Julio	DR19	1716291	RB-67G	12.25	Terelion	1010	25	75	60	50
2022	Mayo	DR21	1716351	RB-67G	12.25	Terelion	1018	31	78	61	51
2022	Noviembre	DR11	1717175	RB-67G	12.25	Terelion	1026	37	75	61	50
2022	Septiembre	DR21	1717183	RB-67G	12.25	Terelion	1037	33	76	60	51
2022	Mayo	DR11	1716353	RB-67G	12.25	Terelion	1049	22	79	60	50
2022	Noviembre	DR12	1716375	RB-67G	12.25	Terelion	1072	34	77	62	49
2022	Agosto	DR21	1716740	RB-67G	12.25	Terelion	1087.5	21	78	60	51
2022	Mayo	DR21	1712181	RB-67G	12.25	Terelion	1173	26	76	60	51
2022	Noviembre	DR16	1719783	RB-67G	12.25	Terelion	1187.5	25	80	60	52
2022	Mayo	DR11	1716398	RB-67G	12.25	Terelion	1190	25	76	61	50
2022	Noviembre	DR18	1719766	RB-67G	12.25	Terelion	1199	22	81	62	50
2022	Agosto	DR11	1711501	RB-67G	12.25	Terelion	1205	23	76	60	50
2022	Abril	DR11	1716341	RB-67G	12.25	Terelion	1246	32	79	60	50
2022	Julio	DR11	1712672	RB-67G	12.25	Terelion	1248	22	78	60	50
2022	Julio	DR19	1716308	RB-67G	12.25	Terelion	1248	25	74	60	50
2022	Octubre	DR16	1721769	RB-67G	12.25	Terelion	1254	24	76	61	51
2022	Julio	DR19	1712203	RB-67G	12.25	Terelion	1254	25	77	62	51
2022	Noviembre	DR16	1719774	RB-67G	12.25	Terelion	1256	22	75	61	50
2022	Agosto	DR19	1716739	RB-67G	12.25	Terelion	1292	20	78	63	51
2022	Octubre	DR21	1719787	RB-67G	12.25	Terelion	1292	20	78	60	51
2022	Octubre	DR16	1699127	RB-67G	12.25	Terelion	1306	22	75	61	50
2022	Junio	DR16	1716355	RB-67G	12.25	Terelion	1324	25	75	60	50
2022	Noviembre	DR16	1716365	RB-67G	12.25	Terelion	1326	38	75	60	50
2022	Noviembre	DR19	1717197	RB-67G	12.25	Terelion	1424	24	79	62	50
2022	Noviembre	DR16	1698624	RB-67G	12.25	Terelion	1426	27	77	60	50
2022	Mayo	DR17	1716389	RB-67G	12.25	Terelion	1426	24	73	60	50
2022	Enero	DR17	1704090	RB-67G	12.25	Terelion	1427	38	75	60	49
2022	Octubre	DR21	1721784	RB-67G	12.25	Terelion	1427	25	77	61	52
2022	Mayo	DR11	1716392	RB-67G	12.25	Terelion	1445	30	79	60	50
2022	Octubre	DR17	1721763	RB-67G	12.25	Terelion	1445	32	73	60	50
2022	Noviembre	DR17	1719767	RB-67G	12.25	Terelion	1445	35	77	60	51
2022	Junio	DR21	1716299	RB-67G	12.25	Terelion	1445	29	75	60	51
2022	Marzo	DR11	921081448	RB-67G	12.25	Terelion	1455	26	101	59	52
2022	Octubre	DR21	1716370	RB-67G	12.25	Terelion	1479	28	78	60	51
2022	Enero	DR16	1699102	RB-67G	12.25	Terelion	1482	31	75	60	50

2022	Agosto	DR16	1699125	RB-67G	12.25	Terelion	1490	27	77	60	51
2022	Mayo	DR11	1716394	RB-67G	12.25	Terelion	1493	28	74	60	50
2022	Agosto	DR16	1712180	RB-67G	12.25	Terelion	1496	22	75	61	51
2022	Octubre	DR19	1698629	RB-67G	12.25	Terelion	1496	30	79	63	50
2022	Octubre	DR21	1721778	RB-67G	12.25	Terelion	1496	25	77	60	52
2022	Junio	DR16	1716327	RB-67G	12.25	Terelion	1511.5	25	75	60	50
2022	Septiembre	DR16	1699122	RB-67G	12.25	Terelion	1513	32	75	62	50
2022	Febrero	DR11	1704971	RB-67G	12.25	Terelion	1556	23	76	60	50
2022	Mayo	DR16	1716384	RB-67G	12.25	Terelion	1564	24	75	60	50
2022	Agosto	DR17	1711495	RB-67G	12.25	Terelion	1564	27	75	60	53
2022	Enero	DR19	1704088	RB-67G	12.25	Terelion	1564	29	77	64	49
2022	Junio	DR19	1716324	RB-67G	12.25	Terelion	1564	33	72	62	50
2022	Febrero	DR19	1704079	RB-67G	12.25	Terelion	1570.5	29	77	63	50
2022	Julio	DR19	1712199	RB-67G	12.25	Terelion	1571	24	70	62	51
2022	Abril	DR11	1716325	RB-67G	12.25	Terelion	1572	36	78	60	50
2022	Septiembre	DR19	1702456	RB-67G	12.25	Terelion	1574	27	76	63	50
2022	Mayo	DR17	1711491	RB-67G	12.25	Terelion	1581	26	74	60	50
2022	Agosto	DR17	1712179	RB-67G	12.25	Terelion	1581	36	75	60	52
2022	Noviembre	DR21	1719790	RB-67G	12.25	Terelion	1584.5	26	78	60	51
2022	Noviembre	DR11	1721782	RB-67G	12.25	Terelion	1601	30	75	60	50
2022	Enero	DR16	1703439	RB-67G	12.25	Terelion	1611.5	31	77	60	50
2022	Julio	DR16	1712201	RB-67G	12.25	Terelion	1615	31	74	61	51
2022	Enero	DR19	1699104	RB-67G	12.25	Terelion	1618	29	73	62	50
2022	Junio	DR16	1716347	RB-67G	12.25	Terelion	1644.5	24	76	66	50
2022	Abril	DR21	1716387	RB-67G	12.25	Terelion	1646	27	77	60	50
2022	Junio	DR19	1716354	RB-67G	12.25	Terelion	1649	25	76	60	50
2022	Julio	DR16	1712194	RB-67G	12.25	Terelion	1655	22	75	63	50
2022	Abril	DR19	1716316	RB-67G	12.25	Terelion	1666	32	78	63	50
2022	Octubre	DR19	1717180	RB-67G	12.25	Terelion	1667	28	77	62	50
2022	Septiembre	DR16	1702442	RB-67G	12.25	Terelion	1716.5	25	75	60	50
2022	Junio	DR11	1716294	RB-67G	12.25	Terelion	1768	35	79	60	50
2022	Noviembre	DR17	1698635	RB-67G	12.25	Terelion	1768	29	75	60	50
2022	Noviembre	DR19	1716367	RB-67G	12.25	Terelion	1768	29	76	63	50
2022	Noviembre	DR16	1717172	RB-67G	12.25	Terelion	1783	28	75	64	51
2022	Octubre	DR21	1717170	RB-67G	12.25	Terelion	1783	30	77	60	51
2022	Mayo	DR16	1716335	RB-67G	12.25	Terelion	1817	31	74	60	52

2022	Agosto	DR17	1716744	RB-67G	12.25	Terelion	1870	26	77	60	53
2022	Septiembre	DR21	1717209	RB-67G	12.25	Terelion	1887	28	78	60	52
2022	Septiembre	DR19	1698628	RB-67G	12.25	Terelion	1940.5	20	79	62	50
2022	Febrero	DR16	1703447	RB-67G	12.25	Terelion	1953.5	22	76	61	49
2022	Agosto	DR18	1711490	RB-67G	12.25	Terelion	1956	35	80	64	51
2022	Noviembre	DR16	1719773	RB-67G	12.25	Terelion	1967.5	33	77	61	50
2022	Julio	DR17	1712674	RB-67G	12.25	Terelion	1970	28	76	60	52
2022	Febrero	DR11	1704992	RB-67G	12.25	Terelion	1988	27	78	60	50
2022	Septiembre	DR21	1702459	RB-67G	12.25	Terelion	2072	27	79	60	52
2022	Junio	DR11	1716348	RB-67G	12.25	Terelion	2125	30	77	60	50
2022	Febrero	DR19	1704993	RB-67G	12.25	Terelion	2150	26	76	63	49
2022	Enero	DR17	1703443	RB-67G	12.25	Terelion	2187	29	71	62	48
2022	Julio	DR17	1716356	RB-67G	12.25	Terelion	2225.5	26	76	60	51
2022	Abril	DR17	1716298	RB-67G	12.25	Terelion	2240	38	70	60	50
2022	Julio	DR18	1698631	RB-67G	12.25	Terelion	2274	31	79	63	50
2022	Noviembre	DR17	1717181	RB-67G	12.25	Terelion	2295	33	75	60	51
2022	Noviembre	DR18	1721767	RB-67G	12.25	Terelion	2351	32	79	60	50
2022	Marzo	DR19	1716289	RB-67G	12.25	Terelion	2355	28	76	62	50
2022	Noviembre	DR18	1698614	RB-67G	12.25	Terelion	2361	38	78	63	50
2022	Noviembre	DR18	1719750	RB-67G	12.25	Terelion	2387	30	78	61	50
2022	Noviembre	DR11	1721776	RB-67G	12.25	Terelion	2414.5	39	74	62	51
2022	Agosto	DR18	1699103	RB-67G	12.25	Terelion	2442	39	74	64	51
2022	Abril	DR17	1716279	RB-67G	12.25	Terelion	2454	30	77	60	51
2022	Enero	DR21	1699115	RB-67G	12.25	Terelion	2498	39	73	59	49
2022	Septiembre	DR19	1716733	RB-67G	12.25	Terelion	2516	29	81	62	50

Anexo 8: Fallas más comunes en triconos y recomendaciones

CARACTERÍSTICAS DE FALLAS DE TRICONOS Y RECOMENDACIONES

FALLA	CAUSAS PROBABLES	SOLUCIONES
DESGASTE DIAMETRAL	BROCA INADECUADA VELOCIDAD EXCESIVA ATRAPAMIENTO POR DERRUMBE DE POZO PERDIDA DE CIRCULACIÓN DE AIRE BARRAS TORCIDAS CAMBIO A FORMACIÓN CON DIFERENTE DUREZA	BROCA CON MEJOR RECUBRIMIENTO BAJAR LAS R.P.M. REPASAR LENTAMENTE CON TRICONO USADO VOLUMEN Y PRESION DE AIRE ADECUADA REVISAR Y/O CAMBIAR BARRAS LEVANTAR Y REPASAR VARIANDO PESO Y R.P.M.
EROSION DE CONO	BROCA INADECUADA PESO EXCESIVO MALA CIRCULACIÓN DE AIRE	BROCA PARA FORMACIÓN MAS BLANDA REDUCIR PESO REDUCIR SI HAY EXCESO Y SI SE PRODUCE ARENADO USAR MINIMO POSIBLE.
DESGASTES DE RODAMIENTOS	MALA CIRCULACIÓN DE AIRE PESO EXCESIVO VELOCIDAD EXCESIVA CONDUCTOS DE AIRE TAPADOS TERRENO FRACTURADO	CHEQUEAR COMPRESOR Y/O CAMBIAR BOQUILLAS DE TRICONOS DISMINIR PESO BAJAR R.P.M. LIMPIAR CONDUCTOS BAJAR PULLDOWN
DESGASTE DE NÚCLEO (CORING)	EMPATAR SIN AIRE O CON POCO AIRE MALA CIRCULACIÓN DE AIRE MALA INICIACIÓN DE TRICONO	EVITAR ESTA PRACTICA CHEQUEAR COMPRESOR Y/O CAMBIAR BOQUILLAS A TRICONOS CON TRICONO NUEVO INICIAR LENTAMENTE Y CON POCO PESO
QUEBRADURA DE INSERTOS	TRANSPORTE O MANIPULACIÓN INADECUADA TRICONO INADECUADO FALLAS AL INICIO VELOCIDAD EXCESIVA CAMBIO BRUSCO DE FORMACIÓN VIBRACIONES EXCESIVAS MATERIAL EXTRAÑO EN EL FONDO DEL POZO	MEJORAR CONDICION PONER TRICONO CON INSERTOS CORTOS PARA FORMACIÓN DURA INICIO DE PERFORACIÓN LENTO BAJAR R.P.M. BAJAR R.P..M Y PESO CONTROLAR R.P.M. Y PESO, USAR AMORTIGUADOR Y /O REVISAR AMORTIGUADOR LIMPIAR PERFORACIÓN CON HERRAMIENTAS RESCATADORAS
PERDIDA DE INSERTOS	CONO EROSIONADO	MEJORAR CIRCULACIÓN DE AIRE
ENTRAMBIAMIENTO O EMBOTADURA	EXCESO DE PESO BROCA INADECUADA CIRCULACIÓN DE AIRE INSUFICIENTE EXCESO DE AGUA	DISMINUIR PESO CAMBIAR A TRICONO PARA FORMACIÓN MAS BLANDA MEJORAR CONDICION CONTROLARLA
CONOS ESTAMPADOS O CON HUELLAS	BROCA INADECUADA PESO O ROTACION INADECUADA BARRAS TORCIDAS HILOS DEFECTUOSOS	CAMBIAR A BROCAS PARA FORMACIÓN BLANDA CAMBIAR PESO Y/O R.P.M. REVISAR BARRAS CUIDAR LAS CONEXIONES, USAR GRASA
INSERTOS GASTADOS	POCA PENETRACIÓN BARRAS TORCIDAS EXCESO DE R.P.M.	AUMANTAR PESO REVISAR BARRAS, CAMBIAR A INSERTOS MAS DUROS BAJAR R.P.M.