

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Influencia de los tipos de brocas en la perforación diamantina de la
veta Margot-cia minera Raura-Oyón – 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Liz Akemi PORRAS CRISTOBAL

Asesor:

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Influencia de los tipos de brocas en la perforación diamantina de la
veta Margot-cia minera Raura-Oyón – 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO

PRESIDENTE

Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA

MIEMBRO

Dr. Reynaldo MEJIA CACERES

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 225-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Influencia de los tipos de brocas en la perforación diamantina de la veta Margot-
cia minera Raura-Oyón – 2024**

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. PORRAS CRISTOBAL, Liz Akemi

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. LOPEZ ALVARADO, Javier

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

23 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 29 de noviembre del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.11.2024 20:37:16 -05:00

DEDICATORIA

A mi madre, por su amor incondicional y su apoyo constante. A mis hermanos, por ser mi motivación y alegría en los momentos difíciles. A mi novio, por su comprensión y aliento en cada paso. Y a mis docentes, por su dedicación y guía, que han iluminado mi camino académico. Gracias a todos por ser mi fuerza y mi inspiración.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y organizaciones que han sido parte de este camino.

A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo en cada etapa de mi vida. Su confianza en mí ha sido mi mayor motivación.

A mis hermanos, por su constante aliento y por ser mi refugio en momentos de duda. Su compañía ha hecho este viaje mucho más llevadero.

A mi novio, por su paciencia y comprensión, por estar a mi lado y motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes.

A mis docentes, por su dedicación y por compartir su conocimiento. Sus enseñanzas han sido fundamentales en mi formación y en la realización de esta tesis.

A la empresa Rock Drill, por brindarme la oportunidad de adquirir valiosas experiencias y conocimientos que han enriquecido mi trabajo.

Gracias a todos por ser parte de este logro.

RESUMEN

El presente estudio evalúa la influencia de los tipos de brocas en la perforación diamantina de la veta Margot en la Cía Minera Raura, Oyón-2024. Se determinó la relación entre la litología de la veta, el tipo de broca y el rendimiento en la perforación diamantina, así como la influencia de los aditivos utilizados y su impacto en el proceso. Durante mayo, junio y julio de 2024, se realizaron siete sondajes empleando brocas Hardcore X8, X10 y Boyles, manteniendo constantes las variables de aditivos y RPI según las recomendaciones de los fabricantes. La litología de la veta incluyó materiales como carbonatos, mármol, mármol skarnizado, pórfido y toba volcánica, lo que permitió evaluar el desempeño de las brocas en diversas condiciones geológicas. La metodología incluyó el uso de equipos de perforación diamantina estándar, medición continua del avance y análisis de costos por metro perforado, complementado con herramientas estadísticas para determinar la relación entre los tipos de brocas y los costos operativos. Los resultados indican que la broca Hardcore X10 logró un avance promedio de 15.31 m/turno y un costo de 5.78 \$/m, siendo la más eficiente en términos de costos y rendimiento. En comparación, la broca Hardcore X8 presentó un costo de 13.42 \$/m, mientras que la broca Boyles mostró un costo intermedio de 10.31 \$/m, evidenciando que su uso no es óptimo en las condiciones geológicas de la veta Margot. Se concluye que la broca Hardcore X10 es la opción más eficiente para la perforación diamantina en la veta Margot, considerando tanto el costo operativo como el avance por turno, resaltando la importancia de las características geológicas al seleccionar el tipo de broca, lo cual optimiza los costos y mejora la eficiencia del proceso en minería de exploración.

Palabras clave: perforación diamantina, brocas, rendimiento, litología, costos operativos.

ABSTRACT

This study evaluates the influence of drill bit types on diamond drilling in the Margot vein at Cía Minera Raura, Oyón-2024. The relationship between vein lithology, drill bit type, and drilling performance was determined, as well as the influence of additives on the process. Seven drillings were conducted during May, June, and July 2024, using Hardcore X8, X10, and Boyles drill bits while keeping additive variables and RPI constant, according to manufacturer recommendations. The vein's lithology included materials such as carbonates, marble, skarnized marble, porphyry, and volcanic tuff, enabling the evaluation of drill bit performance under diverse geological conditions. The methodology included standard diamond drilling equipment, continuous progress measurement, cost analysis per meter drilled, and statistical tools to establish the relationship between drill bit types and operational costs. Results indicate that the Hardcore X10 drill bit achieved an average progress of 15.31 m/shift and a cost of \$5.78/m, making it the most efficient in terms of cost and performance. In contrast, the Hardcore X8 drill bit showed a cost of \$13.42/m, while the Boyles drill bit demonstrated an intermediate cost of \$10.31/m, indicating its suboptimal use under the Margot vein's geological conditions. It is concluded that the Hardcore X10 drill bit is the most efficient option for diamond drilling in the Margot vein, considering both operational cost and progress per shift. This highlights the importance of considering geological characteristics when selecting drill bits, as proper selection optimizes operational costs and enhances the efficiency of the diamond drilling process in mining exploration.

Keywords: diamond drilling, drill bits, performance, lithology, operational costs.

INTRODUCCIÓN

El proceso minero comprende diversas etapas de trabajo. La primera de ellas es la exploración geológica, seguida de la construcción, explotación a tajo abierto, planta concentradora, comercialización y, finalmente, el cierre de minas. Para llevar a cabo los trabajos de exploración geológica, existen varias técnicas, entre ellas la perforación diamantina, que consiste en la realización de hoyos a diferentes profundidades (100 m, 500 m, 1,000 m, entre otras) con el fin de extraer muestras de rocas, conocidas también como testigos recuperables, para poder estudiar su composición. Estas muestras se obtienen mediante máquinas perforadoras que utilizan taladros con brocas de tungsteno impregnadas con diamantes, las cuales permiten cortar la roca del subsuelo.

El perforar a grandes profundidades origina efectos de calor debido a la fricción que produce el contacto del taladro en movimientos circulares a altas velocidades con la tierra o roca. Para lubricar la broca y la tubería de perforación, enfriar el gran calor generado, evitar el deterioro de los equipos, retirar los residuos, reducir filtraciones, estabilizar y controlar las vibraciones generadas por los taladros, se utilizan fluidos de perforación.

Los fluidos de perforación son una combinación de agua con aditivos o agregados elaborados a base de arcillas naturales llamadas bentonitas, que por su composición y manejo adecuado no dañan ni alteran el medio ambiente. Los fluidos se suministran de forma continua y se transportan desde el tanque de fluidos hacia la broca. Otros aditivos utilizados son los polímeros de origen material o sintético. Tras finalizar los trabajos de perforación, los fluidos pasan a las pozas de perforación.

Por otro lado, es importante mencionar la relevancia de la caracterización litológica de los sondajes. Esta descripción será de gran utilidad para cuantificar los aditivos a incorporar y las brocas a utilizar, ya que dependerá de la dureza del terreno. El

tipo de roca que se encuentre en el testigo puede presentar fracturas que, probablemente, corresponden a fallas regionales o locales de la zona de trabajo. Todas las características litológicas son fundamentales para mejorar la calidad de los trabajos de perforación diamantina.

El objetivo final de la perforación diamantina es la recuperación de testigos de alta calidad. Existen muchos factores que determinan la correcta extracción de la información de los testigos. Los aspectos que se abordan en el presente estudio corresponden al uso adecuado de las brocas y a la descripción de las litologías obtenidas en los 2,177.5 metros de roca extraída durante el proceso de perforación diamantina en los meses de mayo, junio y julio.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Delimitación espacial	2
1.2.2. Delimitación temporal.....	2
1.2.3. Delimitación conceptual.....	2
1.3. Formulación del problema	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicos	3
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

2.4.2. Hipótesis específica.....	41
2.5. Identificación de variables	42
2.5.1. Variable independiente.....	42
2.5.2. Variable dependiente.....	42
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	42

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación.....	43
3.2. Nivel de investigación.....	43
3.3. Métodos de investigación.....	43
3.4. Diseño de investigación	44
3.5. Población y muestra	44
3.5.1. Población.....	44
3.5.2. Muestra.....	44
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	45
3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	46
3.8. Tratamiento estadístico	46
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	47

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	48
4.1.1. Litología	48
4.1.2. Mineralización.....	53
4.1.3. Características de las brocas Hardcore y Boyles.....	53
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	54

4.2.1.	Análisis de las brocas de perforación diamantina	54
4.2.1.1.	Análisis de broca Hardcore X8- DDH-23-029	54
4.2.1.2.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-029	56
4.2.1.3.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-043	58
4.2.1.4.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-050	60
4.2.1.5.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-056	62
4.2.1.6.	Análisis de broca Boyles - DDH-23-056	64
4.2.1.7.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-064	65
4.2.1.8.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-069	67
4.2.1.9.	Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-074	68
4.3.	Prueba de hipótesis.....	69
4.3.1.	Análisis de los metros de avance por broca	69
4.3.2.	Análisis de los costos por metro de avance.....	71
4.4.	Discusión de resultados.....	72

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Criterios geológicos de selección de Broca.....	36
<i>Tabla 2</i> Operacionalización de las variables.....	42
<i>Tabla 3</i> Condiciones de operación.....	54
<i>Tabla 4</i> Análisis de la broca Hardcore X8 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029.....	55
<i>Tabla 5</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029.....	57
<i>Tabla 6</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-043.....	59
<i>Tabla 7</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-050.....	61
<i>Tabla 8</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-056.....	63
<i>Tabla 9</i> Análisis de la broca Boyles – Sondaje DDH-U-RAE-23-056.....	64
<i>Tabla 10</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-064.....	66
<i>Tabla 11</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-069.....	67
<i>Tabla 12</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-074.....	68
<i>Tabla 13</i> Comparativa de metros de avance según los meses y brocas.....	70
<i>Tabla 14</i> Comparativa de costos por metros de avance según los meses y brocas	71

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Ubicación de la minera Raura.....	9
<i>Figura 2</i> Accesos a la Unidad Minera Raura.....	10
<i>Figura 3</i> Diámetro estándar de perforación diamantina.....	18
<i>Figura 4</i> Proceso de perforación diamantina.....	24
<i>Figura 5</i> Perfil de la broca	28
<i>Figura 6</i> Vista transversal de la broca	29
<i>Figura 7</i> Escariador de alta calidad.....	38
<i>Figura 8</i> Litología de la Minera Raura.....	49
<i>Figura 9</i> Análisis de la broca Hardcore X8 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029.....	56
<i>Figura 10</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029.....	58
<i>Figura 11</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-043.....	60
<i>Figura 12</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-050.....	62
<i>Figura 13</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-056.....	63
<i>Figura 14</i> Análisis de la broca Boyles – Sondaje DDH-U-RAE-23-056.....	65
<i>Figura 15</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-064.....	66
<i>Figura 16</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-069.....	68
<i>Figura 17</i> Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-074.....	69
<i>Figura 18</i> Comparativa de metros de avance según los meses y brocas.....	70
<i>Figura 19</i> Comparativa de costos por metros de avance según los meses y brocas	72

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

De todas las etapas de un proyecto minero la que conlleva mayor riesgo es la etapa de exploración ya que en esta se requiere una gran inversión que solo será retribuida solamente si se encuentra un cuerpo mineralizado que sea económicamente explotable (Guzman, 2019). En la etapa de exploración esta se puede hacer mediante métodos directos los cuales son los procedimientos en campo que usualmente desarrolla el ingeniero especialista para descubrir in-situ la estratigrafía del subsuelo, y métodos indirectos los cuales son para poner en claro las condiciones geológicas del subsuelo especialmente los tipos de rocas existentes y sus condiciones estructurales (pliegues, fracturas, foliaciones, diaclasas, etc.) también como la existencia de depósitos minerales de interés económico y demás minerales por medio de la geofísica (Chumpitaz Cari, 2007).

La perforación diamantina en los últimos tiempos se ha convertido en una herramienta de gran importancia para las empresas del rubro minero, que buscan reducir en el desarrollo de sus actividades el tiempo y costo en los trabajos de perforación.

Mediante el desarrollo de un plan de perforación, se han presentado problemas tales como el desgaste prematuro de brocas, uso y cantidades inadecuadas de aditivos de perforación; las causas podrían ser el desconocimiento de las características geológicas, personal con poca experiencia en trabajos de perforación diamantina, generando consecuencias como dilatar el tiempo para alcanzar los objetivos planteados, disminuir la calidad del trabajo, crear mayor inversión a la presupuestada inicialmente, dichos inconvenientes dieron lugar al siguiente estudio.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El trabajo de investigación se desarrolla en la veta Margot de la Cía. Minera Raura, ubicada en el distrito de Oyón, provincia de Oyón, en el departamento de Lima, Perú. Esta investigación se centra en los trabajos de perforación diamantina realizados en la mencionada veta, cuya geología incluye litologías como calizas, mármol, mármol skarnizado, pórfido, entre otras, y abarca el área donde se lleva a cabo la exploración minera para la extracción de minerales.

1.2.2. Delimitación temporal

El estudio se llevará a cabo entre los meses de mayo de 2024 y noviembre de 2024. Durante este período se realizarán las actividades de perforación diamantina, logueo geológico, digitalización de datos y análisis de los avances. Este marco temporal abarca también la recopilación bibliográfica, redacción y corrección de la tesis.

1.2.3. Delimitación conceptual

La presente investigación está enmarcada dentro del estudio de la calidad de los trabajos de perforación diamantina en la veta Margot de la Cía. Minera

Raura. Los conceptos clave que se abordan incluyen: perforación diamantina, brocas de perforación (Hardcore X8, X10, Boyles), coronas, fluidos de perforación, exploración geológica y logeo geológico, entre otros elementos relacionados con el proceso de perforación y evaluación de la veta minera.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

- ¿De qué forma influyen los tipos de brocas en el rendimiento de la perforación diamantina en la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón - 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la caracterización de las litologías en la perforación diamantina de la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón-2024?
- ¿De qué forma podemos determinar la relación entre tipo de broca y rendimiento e la perforación diamantina, empleando métodos estadísticos?
- ¿De qué forma podemos determinar la relación entre tipo de aditivo, rendimiento en la perforación diamantina y los costos operativos asociados, empleando métodos estadísticos?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la influencia del tipo de broca en el rendimiento de la perforación diamantina en la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón – 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la litología en la perforación diamantina de la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón-2024.

- Determinar la influencia del tipo de broca en el rendimiento de la perforación diamantina, empleando métodos estadísticos.
- Determinar la relación entre tipo de aditivo, rendimiento en la perforación diamantina y los costos operativos asociados, empleando métodos estadísticos.

1.5. Justificación de la investigación

Por la problemática presentada, se considera necesario optimizar la calidad de los testigos con la adecuada descripción litológica, el uso de brocas convenientes y aditivos necesarios en el cuerpo Margot-CIA minera Raura-Oyón - 2024, razón de motivación para el desarrollo del presente trabajo, cuyo estudio busca finalmente la eficiencia en las operaciones y la optimización de la trayectoria de una perforación diamantina.

1.6. Limitaciones de la investigación

- La información geológica de la zona como las conclusiones a las que se arriba en este estudio sólo es aplicable para el yacimiento estudiado.
- Financiamiento económico para perforar más taladros en la zona de estudio

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Internacionales

Zhiming et al. (2024), en su estudio “Influence of drilling technology on wear evolution of impregnated diamond bits” analizó la exposición del diamante en brocas de diamante impregnadas (IDB) bajo condiciones de perforación rotatoria y rotatoria-percusiva. Se realizaron experimentos en granito utilizando una plataforma de prueba de perforación desarrollada internamente. Los resultados muestran que en condiciones de perforación rotatoria, el diamante sigue la secuencia de Emergente → Entera → Despuntada (Plana), predominando el desgaste y fractura del diamante. En perforación rotatoria-percusiva, el diamante sigue la secuencia de Emergente → Entero → Fracturado → Extracción, con mayor proporción de diamantes fracturados. El desgaste principal es mecánico, dominado por abrasión y fatiga. El impacto en la perforación rotatoria-percusiva mejora el contacto de la broca con la roca, facilitando el

desgaste de la matriz y la emergencia del diamante. Estos hallazgos ayudan a optimizar el diseño de IDB y la tecnología de perforación.

Huang et al. (2023), en su artículo “Rock drillability measurement and grading method for a polycrystalline diamond composite bit” analiza la importancia de las brocas de compuesto de diamante policristalino (PDC) para perforar formaciones rocosas en la industria del petróleo y gas natural, destacando la necesidad de clasificar la perforabilidad de las rocas para optimizar el diseño y selección de brocas. El método de "medición y gradación de la perforabilidad de la roca" utilizado en China presenta deficiencias para rocas de dureza media y alta. Los problemas principales son un peso sobre la broca (WOB) demasiado bajo y parámetros estructurales inadecuados de las microbrocas PDC. Para resolver esto, se investigó la influencia del ángulo de inclinación del cortador en las microbrocas, proponiendo un ángulo óptimo que elimina la interferencia entre el cortador y la roca. Además, se realizaron experimentos de perforación con cinco tipos de rocas y diferentes WOB, encontrando una relación lineal entre el nivel de perforabilidad y el WOB. Se propone un nuevo método de medición y clasificación de la perforabilidad que resuelve eficazmente los problemas con rocas semiduras y más duras, y es compatible con datos de rocas blandas.

Ye et al. (2024), en su investigación “Domain adaptation neural network based prediction of real-time drill bit tooth wear” estudió la clasificación del desgaste de los dientes de las brocas, midiendo la pérdida de altura de los dientes. Un monitoreo preciso del desgaste es esencial para ajustar los parámetros de perforación y planificar el reemplazo oportuno de las brocas, mejorando la eficiencia y seguridad. Los métodos actuales tienen limitaciones, especialmente en la estabilidad del modelo debido a variaciones geológicas y de perforación. Se

propone un enfoque de modelado inteligente utilizando una red neuronal de adaptación de dominio (DANN) para predecir la tasa de penetración (ROP). El modelo usa la ROP medida para calcular los coeficientes de desgaste y establecer su relación con el grado de desgaste de los dientes, permitiendo un monitoreo en tiempo real. Las pruebas en diez brocas muestran que el modelo DANN mejora la adaptabilidad a condiciones variables y la precisión de las predicciones de ROP. Los errores promedio en los grados de desgaste interno y externo son de 7.5% y 16%, respectivamente, demostrando la eficacia del modelo en el monitoreo del desgaste de las brocas.

2.1.2. Nacionales

Otiniano (2023), en su trabajo de tesis “Reducción de costos de perforación diamantina mediante la implementación de brocas Kraken en un proyecto minero de Pataz – 2021”, realizó un diseño no experimental-transversal con una muestra obtenida de 2 sondajes (HQ - NQ) correspondientes a los trabajos de perforación diamantina de la minera Redrilsa. El autor evaluó 4 brocas de la marca Fordia - Kraken y 4 brocas de la marca Coretech - Fórmula para ser evaluados, en la cual determinó el problema de elevados costos de perforación con la broca formula, además de ello, tomó en cuenta las características de la broca y la dureza del terreno, y sustentó ratios de perforación más bajos por la implementación de brocas Kraken en un proyecto minero de Pataz, reduciendo los costos de perforación diamantina en 1.86 US \$/m en línea HQ y 2.91 US \$/m en línea NQ en comparación a los costos obtenidos con la broca Fórmula.

Huisa (2023), realizó una investigación titulada “Optimización de perforación diamantina mediante el uso de brocas Fordia en el Tajo Norte, Rampa 1-NV 3900 Sonda-67 empresa Geodrill S.A.C. Compañía Minera Antapaccay -

Espinar - Cusco” para optimizar la perforación diamantina mediante el uso de las brocas Fordia, en la cual consideró los costos de mano de obra, costo de máquina perforadora, aditivos de perforación, herramientas y otros materiales, además de implementos de seguridad, tipo de roca, longitud de avance, costo de brocas, vida útil, y diámetro de la broca. El autor realizó las evaluaciones de las perforaciones en 15 días, equivalente a 30 guardias, en la cual optimizó la producción en el tajo norte utilizando las brocas Fordia, reduciendo el costo por metro perforado de 29.52 US\$ a 27.82 US\$.

Mantilla (2019), en su trabajo de tesis “Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina” investigó el Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina, en la cual tuvo por objetivo establecer el inicio y fin de la trayectoria del taladro perforado. El autor consideró parámetros operacionales de profundidad del taladro (m), velocidad de rotación (RPM), caudal del fluido (gal/min) y pulldown, concluyendo que la variación de estos parámetros de perforación tiene relación directa con el control de la trayectoria (inclinación y azimut).

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Área de la investigación

El yacimiento minero de Raura, se ubica en la cima de la Cordillera Occidental, políticamente entre los Departamentos de Huánuco (Provincia de Lauricocha) y Lima (Provincia de Oyón) a una altitud de 4 500 a 4 800 m. s. n. Coordenadas U.T.M. son: 8845500 Norte y 309700 Este.

Figura 1 Ubicación de la minera Raura



Nota: Recuperado de Inga (2016).

2.2.1.1. Accesos

Es posible acceder desde la ciudad de Cerro de Pasco y Lima, a continuación, se muestra los diversos accesos a la Unidad Minera Raura (Ovalle, 2019):

Primera ruta (El tiempo de viaje desde la ciudad de Lima es aproximadamente 10 horas):

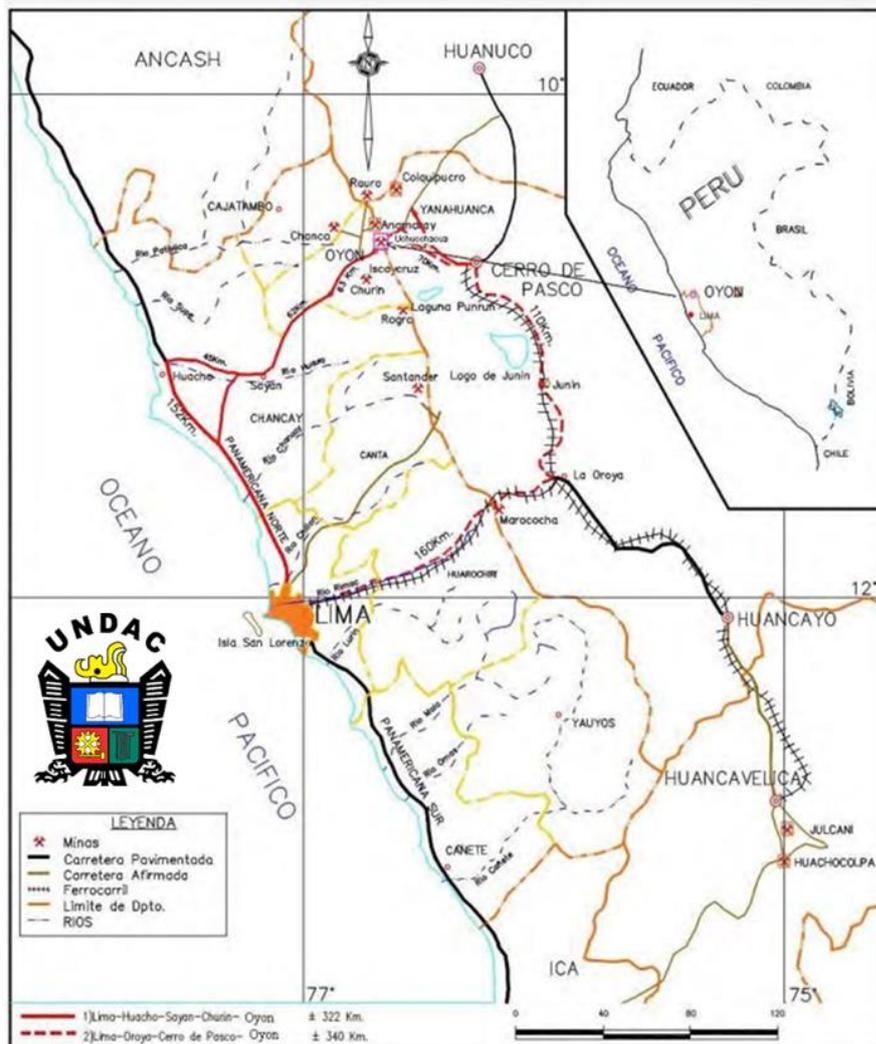
- Lima – Huacho = 154 Km Carretera asfaltada bien mantenida.
- Huacho – Sayán = 45 Km Carretera asfaltada bien mantenida.
- Sayán - Churín = 60 Km Carretera afirmada con mantenimiento estacional.

- Churín – Oyón = 45 Km Carretera afirmada con mantenimiento estacional.
- Oyón – Raura = 35 Km Carretera afirmada.

Segunda ruta (El tiempo de viaje desde la ciudad de Cerro de Pasco es aproximadamente 5 horas):

- Cerro de Pasco – Oyón = 99.9 Km Carretera afirmada
- Oyón - Raura = 35 Km Carretera afirmada.

Figura 2 *Accesos a la Unidad Minera Raura*



Nota: Recuperado de Perez (2020).

2.2.1.2. Prospección química de las rocas

Como resultado se lograron identificar cuatro anomalías geoquímicas significativas, asociados a elementos traza indicadores (“target element”) y elementos traza guías (elementos “pathfinder”), estas anomalías son tipificados como anomalías epigenéticas y por difusión de elementos en las rocas encajonantes (Fm. Jumasha y Volcánico Raura); de todas ellas, algunos son resultado de la dispersión geoquímica de elementos de zonas ya conocidas donde se encuentran estructuras mineralizadas.

La anomalía Margot - Santa Rosa, se encuentra distribuido entre la falla-veta Santa Rosa por el Sur hasta la falla-veta Margot (Brunilda, Hada 4) por el Norte, las anomalías son fuertes en plata, arsénico, plomo, zinc; moderadas a fuertes en cobre, manganeso; moderadas y puntuales en fierro, antimonio. Este sector en la actualidad tiene operaciones mineras subterráneas para la explotación de las estructuras tipo vetas, está anomalía tiene implicancias para la exploración de mineralización en skarn debajo de los volcánicos (Uribe, 2014).

2.2.1.3. Geología

En la zona de Raura afloran rocas desde el paleozoico hasta el cuaternario reciente donde rocas sedimentarias del Cretáceo Medio han sido intruídas por los stocks de diorita cuarcífera que posiblemente hayan sido los causantes de la mineralización. Se asume que éstos intrusivos fueron los generadores de las soluciones mineralizantes portadoras de los metales que se encuentran en las vetas y cuerpos de la mina (Cordero, 2013).

Geología estructural

Teniendo como patrón estructural los Andes Centrales del Perú, el anticlinal Santa Ana y el sinclinal Caballococha son los plegamientos más importantes del área con rumbo N 20°-30° W. El sobre escurrimiento al Suroeste pone en contacto areniscas y cuarcitas del grupo Goyllarisquizga con las calizas Jumasha.

Debido a fuerzas compresivas E-W se han producido varios sistemas de fracturas N 65° - 80° W (Vetas Gianina, Abundancia, Roxana, Torre de Cristal, Flor de Loto). Fallas locales en bloques es un patrón estructural importante en Catuva.

Últimas etapas de actividad tectónica por acción de estas mismas fuerzas originan fallas regionales que atraviesan el Distrito Minero de Raura, representando una reactivación del sistema NE, desplazando a los sistemas NW y Norte.

Geología local

La roca que aloja a la mineralización polimetálica tipo stockwork, esté constituida por calizas dolomíticas de la formación Jumasha, que se presentan en estratos entre 5 a 40 m. de potencia. Estas calizas a su vez se encuentran encajonados por calizas negras frescas con rumbo N75°E y buzamiento de 70° NE.

Los estratos de caliza presentan sistemas de fracturamiento de rumbo N 65° W y zonas de fallamiento local que desplazaron varios metros a las estructuras mineralizadas, tanto en forma vertical y horizontal.

2.2.1.4. Estratigrafía

Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias que afloran los alrededores de la Mina Raura pertenecen a la secuencia estratigráfica del Cretáceo.

Las más antiguas se exponen al Suroeste y Oeste, pertenecen al Cretáceo Inferior (Grupo Goyllojarizquizga) y están representadas por las formaciones Chima y Carhuaz. En contacto por sobre escurrimiento se presentan la franja calcaría de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha, y Celendin inferior con potencia total de 1,200 metros.

La formación Jumasha es la de mayor espesor con 800 metros y la de mayor importancia alberga los yacimientos minerales (Cordero, 2013).

a. Formación Chimú

De edad Neoconiano a Valanginiano inferior. Son cuarcitas blancas y gris blanquecinas de grano fino a medio presentándose en capas delgadas intercaladas con lutitas grises o negras y lechos de carbón, regionalmente son importantes por ser parte de la Cuenca carbonífera de Oyén.

b. Formación Carhuáz.

De edad Valanginiano superior a Apriano. Es una fase continental compuesta de areniscas, lutitas y cuarcitas que sobre yacen a la formación Chimú. Estén en contacto con las calizas Jumasha por sobre escurrimiento.

c. Formación Jumasha

En los alrededores de la mina afloran calizas de edad Cretáceo medio a superior, representadas por la formación Jumasha. Estén debajo de las rocas anteriormente descritas en contacto por sobre escurrimiento, que tiene el rumbo regional del plegamiento andino N 30° W. Son calizas en capas medianas a gruesas de color gris que cambian a un gris claro por intemperismo, su edad es Albiano superior a Turoniano.

Por efecto de intrusiones, de preferencia granodioríticas, las calizas Jumasha presentan diferentes grados de alteración que va desde la caliza fresca a una granatización (Skarn), pasando por Mármolización, silicificación, epidotización. Es importante la zona de Skarn por haber permitido la formación de los principales cuerpos mineralizados.

Rocas ígneas

La actividad ígnea se ha definido en el área y en base a las últimas reinterpretaciones que integra los estudios de la Geología de superficie efectuada por el Departamento de exploraciones de la compañía, con los estudios micro petrográficos de muestras representativas del Distrito.

Se considera tres fases de actividad ígnea en un lapso geológico comprendido entre 8 a 11 millones de años relacionados con los flujos de mineralización que tuvo lugar entre 8 a 10 millones.

La primera fase, esté representada por una fase volcánica explosiva de andesitas, dacitas y riodacitas y tobas riodacíticas del tipo explosivo. En contacto con las calizas Jumasha tiene fragmentos asimilados de esta última, en el área de Gretty-Brunilda existen

reemplazamientos importantes de minerales económicos de Plomo-Zinc que han dado lugar a la formación de cuerpos mineralizados de importancia.

Una segunda fase lo constituye la intrusión de granodiorita que viene a ser la roca intrusiva más antigua del área con una edad radiométrica de 11 millones de años. Se expone entre la Laguna Putusa y Alta Cerro Colorado y la Laguna Nifiococha en el Sur, y sobre la Laguna Tinquicocha al Norte del Distrito. Fue mapeada como “Diorita cuarcífera Cerro Colorado”. En sus contactos con la caliza ha producido un anillo de alteración llegando a formar Skarn como fase preliminar para la formación de los cuerpos mineralizados, en superficie el área se encuentra limonitizada con tonalidades ocre-amarillentas por efecto del Intemperismo y procesos de oxidación - lixiviación.

Finalmente, la última fase lo representa la intrusión del pórfido dacítico-monzonítico de edad radiométrica de 7 millones de años que origina también la formación de columnas de brecha y diques asociados al sistema de fallamiento Este-Oeste (Cordero, 2013).

2.2.2. Perforación diamantina

La perforación diamantina, una técnica especializada utilizada en la exploración geológica y la industria minera, se centra en la obtención de muestras de roca de alta calidad y precisión. Este método implica el corte y la recuperación de testigos cilíndricos de roca utilizando brocas con diamantes industriales incrustados. A través de este proceso, se obtiene información detallada sobre la litología y la estructura geológica del subsuelo a profundidades específicas.

La perforación diamantina ofrece la ventaja de obtener muestras geológicas precisas y representativas del entorno geológico. Esto se logra mediante la extracción de testigos continuos de roca en forma cilíndrica, que luego se caracterizan, analizan químicamente y se someten a pruebas metalúrgicas. La perforación se lleva a cabo siguiendo instrucciones técnicas precisas, incluidas medidas de seguridad, en términos de profundidad, diámetro, orientación y tasa de recuperación.

El método de perforación diamantina se basa en la excepcional dureza del diamante, lo que le permite cortar eficazmente cualquier tipo de roca o material. Esta técnica se utiliza tanto en superficie como en operaciones subterráneas, con la ayuda de una máquina llamada sonda. La sonda está equipada con una broca que contiene diamantes de diferentes tamaños, según los requisitos de perforación.

Durante el proceso de perforación, la corona diamantada, unida a la tubería mediante un escariador, se enfría y lubrica con lodo circulante a través de las barras de perforación huecas. Estas barras, que tienen longitudes específicas y se conectan entre sí, permiten la perforación a profundidades considerablemente mayores. Después de cada sección de perforación, se reemplaza la tubería para continuar la operación.

Una vez que la corona ha avanzado por rotación, se forma un testigo cilíndrico de roca sólida, que se recoge dentro del tubo interior mediante un mecanismo de pescador y wire line. Este proceso se repite hasta alcanzar la profundidad deseada, proporcionando muestras precisas y representativas para su posterior análisis y evaluación (Condori & Satalaya, 2022).

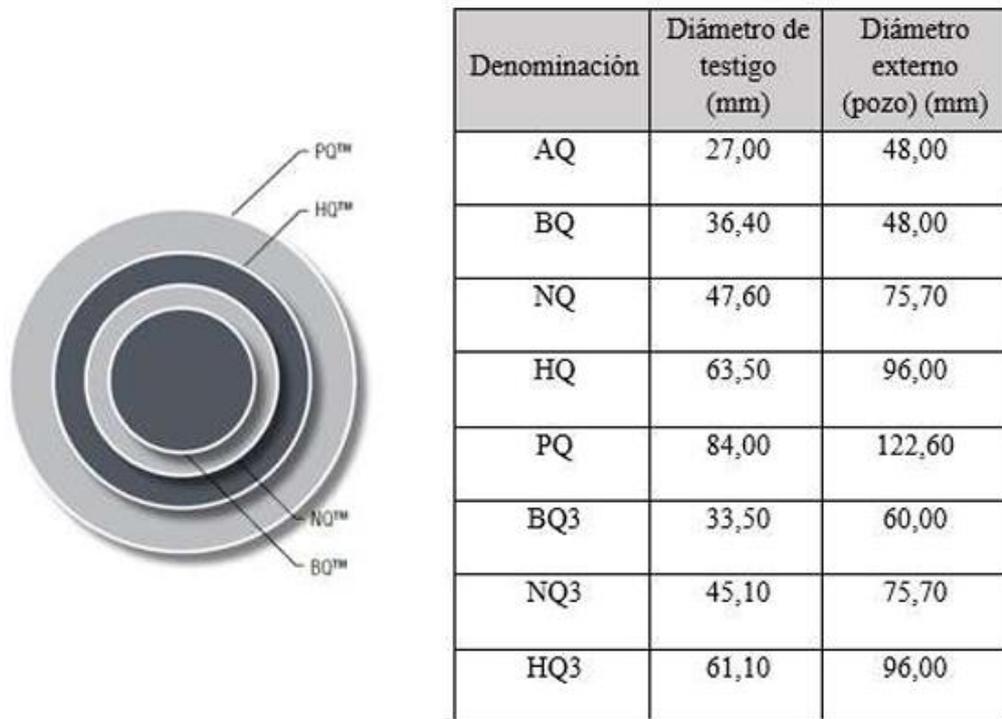
2.2.2.1. Procedimiento de perforación diamantina

El proceso de perforación diamantina varía según los diferentes diámetros de las muestras, los cuales están determinados por el propósito específico que se persigue. A modo de ejemplo, se mencionan los siguientes:

- Para muestras de diámetro PQ: Estas son utilizadas mayormente en labores metalúrgicas y otros fines.
- Para muestras de diámetro HQ: Estas son empleadas en labores de exploración debido a que proporcionan la muestra necesaria para llevar a cabo evaluaciones completas.
- Respecto a las muestras de diámetro NQ: Estas se utilizan después de obtener la muestra máxima de HQ. Es importante cambiar a este diámetro para continuar profundizando en caso de encontrar obstáculos.

En situaciones donde la perforación con NQ se ve obstaculizada, es crucial cambiar a la línea BQ, que permite alcanzar mayores profundidades. Además, se mencionan otros diámetros de perforación, como el diámetro AQ, que se refiere a perforaciones cortas y contribuyen a las labores mineras subterráneas. Los procedimientos estándar en la perforación diamantina incluyen: control diario del avance, cálculo de la recuperación del testigo, registro de logueo y muestreo (Bejarano, 2017).

Figura 3 Diámetro estándar de perforación diamantina



Nota: Recuperado de Altamirano & Coba (2021).

La exploración minera comprende una serie meticulosa de operaciones diseñadas para identificar y evaluar la viabilidad de los depósitos minerales subterráneos. Dentro de este proceso, la perforación diamantina representa una etapa fundamental y altamente especializada que se divide en 16 subprocesos consecutivos. Estos subprocesos se agrupan en tres etapas distintas, cada una de las cuales desempeña un papel crucial en la recopilación de datos geológicos precisos y en la toma de decisiones fundamentadas sobre la viabilidad de un yacimiento mineral.

El proceso de perforación con diamante se divide en 16 subprocesos consecutivos que se clasifican en tres etapas.

Etapa de Pre- perforación

- Recepción de plataforma

Para comenzar la perforación diamantina, se planifica una visita al campo con el objetivo de familiarizarse con la ubicación.

Posteriormente, se procede con el traslado del personal y se lleva a cabo una evaluación técnica y visual detallada del lugar.

- Traslado a plataforma

Se refiere al procedimiento de llevar bienes, instrumentos, herramientas y equipos al sitio de trabajo.

- Instalación de plataforma

Se organiza la conexión del cableado eléctrico con la subestación para proporcionar electricidad y conectarlo a la plataforma. Luego, se implementa un plan de trabajo para la instalación de equipos y herramientas, instrumentos y suministros. A continuación, se despeja y limpia el lugar para preparar la instalación de las barreras de seguridad duras. Una vez colocados los obstáculos, se procede a dar a la sonda la inclinación adecuada para su posterior anclaje.

- Puesta en marcha

En una primera fase, se enciende la unidad de fuerza, seguida por la puesta en marcha de la bomba de fluidos.

- Instalación de herramienta

Se procede a la instalación de las varillas y los tubos interiores, dependiendo de si la perforación es positiva o negativa. En una perforación positiva (inclinación superior a 0° vertical) se instala un

acoplamiento de relleno para evitar la fuga de fluido durante el ascenso del tubo interior. Para un pozo negativo (inclinación inferior a 0° vertical), colocamos manualmente las varillas antes de introducir manualmente el tubo interior.

- **Inyección de fluido combinado**

Se empieza con la preparación del fluido combinando los polímeros con el agua y así crear una mezcla homogénea, seguida de la instalación del cabezal inyector en la parte superior del cabezal para comenzar la inyección del fluido (Salas, 2016).

Etapas de perforación

Se procede a verificar los resguardos de los componentes móviles y las barreras duras, luego comience el proceso de rotación y perforación sin perder de vista las indicaciones de perforación.

- **Extracción del estrato**

Se introduce la muestra del macizo rocoso en el tubo interior y se comprueban los indicadores de presión hasta que la muestra se llene por 3/4 completo. La perforación y la inyección de fluido se detienen una vez que el tubo interior está lleno, y se corta el estrato.

- **Extracción del tubo interior**

Las perforaciones positivas comienzan con la elevación del pescante conectado al cable de acero. Se sujeta la caja de relleno a la serie de perforación para controlar la presión del agua hasta que el pescante entre en contacto con el collar. Luego, se produce su descenso y, finalmente, se coloca el tubo interior en el soporte. En el caso de las perforaciones negativas, el descenso del pescante atado al cable

metálico hasta que contacte con el collarín para su ascenso y posterior desacoplamiento, seguido de la colocación del tubo interior en el soporte.

- Extracción de testigos

La técnica será diferente según se trate de una extracción geológica o geotécnica. Para la extracción geológica se desacoplan el soporte de muelles y el collar del tubo interior y se deposita el testigo en la caja de testigos por percusión. Para la extracción geotécnica se desacoplan el porta-muelle y el collarín del tubo interior, y a continuación se conecta un dispositivo que se acopla a presión al tubo interior tras la introducción de agua a presión para la evacuación de la muestra y los restos en la caja de machos.

- Movimiento de accesorios de la perforación diamantina

Este procedimiento tiene tres funciones distintas: inserción y extracción de la varilla, modificación de la entrada de la perforación y reducción del diámetro. Las barras de perforación se manipulan manualmente para su acoplamiento o desacoplamiento antes de la sincronización del comando de control para la inserción o retirada de la barra. Cuando hay que modificar las entradas de perforación, se comienza con el ascenso o descenso de las barras de perforación, seguido de la evacuación de la tubería exterior a la superficie para un examen técnico visual. A continuación, se sustituye la barra de perforación y se baja o se eleva la barra de perforación. El hecho de que la perforación sea positiva o negativa determinará la disminución del diámetro. Si la perforación es satisfactoria, se retira la herramienta

para sustituir la entrada de perforación (zapata), y las barras se elevan hasta el fondo del pozo y se fijan a la corona del túnel. La broca se encoge hasta un diámetro reducido antes de insertar la sarta de varillas encogidas en el revestimiento fijado a la broca. Del mismo modo, para la perforación negativa, se retira la herramienta para cambiar la entrada de la perforación (zapata), se cambian las mordazas a un diámetro menor, se bajan las barras y, por último, se baja el tren de barras de menor diámetro (Herrera & Castilla, 2012).

Etapas después de la perforación

- Encajado de las muestras

El encajado de la muestra vendrá determinado por el objetivo de la perforación, que puede ser geológico o geotécnico. En el caso de una muestra geológica, la muestra se traslada manualmente del soporte a la caja de testigos, se colocan los tapones correspondientes y se cierra la caja. La técnica para una muestra geotécnica es la misma que para una muestra geológica, la diferencia es que la muestra se descarga en ángulo.

- Medición de trayectoria

Medición de la trayectoria Todo comienza con la inspección del equipo para comprobar que está en buen estado de funcionamiento para su montaje manual. Una vez que el instrumento se acopla al pescante en el fondo del pozo, se continúa recogiendo datos cada 3 metros hasta llegar a la cima, momento en el que se desarma y se almacena.

- Termino de sondaje

El procedimiento comienza con el traslado de las herramientas y termina con el desmontaje de la plataforma. El movimiento de la herramienta vendrá determinado por si la perforación es positiva o negativa. La perforación positiva comienza con la retirada de las barras de perforación, seguida de la retirada de las barras de revestimiento cortando el anclaje y apilándolas en un sector del emplazamiento. La perforación negativa comienza con la retirada de las barras de perforación, seguida de la retirada de las barras de revestimiento y su almacenamiento en un sector de la posición. Los amarres de la sonda se cortan durante el procedimiento de desmontaje, al que sigue el desmontaje de la plataforma y, por último, se desconecta la energía eléctrica.

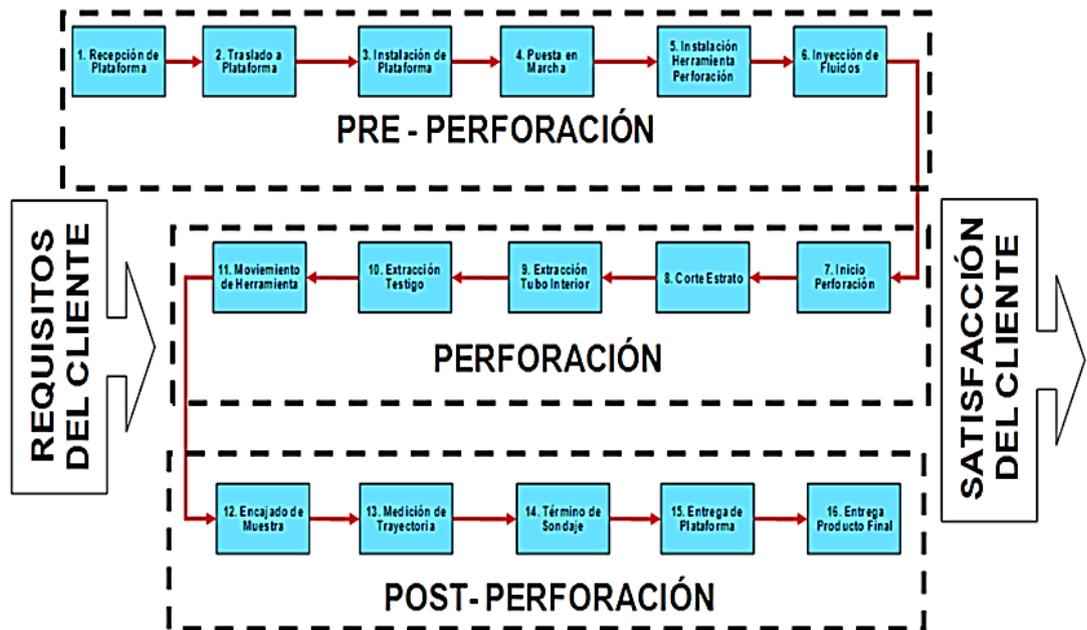
- Entrega de la plataforma

Comienza con la visita del cliente al emplazamiento para una evaluación técnica y termina con el abandono de la postura.

- Entrega del producto final

Las cajas se introducen en el vehículo y se conducen hasta el lugar donde se procesarán las muestras (Castilla & Herrera, 2012).

Figura 4 Proceso de perforación diamantina



Nota: Recuperado de Salas (2016).

2.2.3. Fluidos de perforación

Los fluidos de perforación suelen ser suspensiones coloidales, conocidas como gelatinas, que se basan en arcillas y que contienen agua en varias formas:

- Agua libre que se encuentra entre las partículas.
- Agua adsorbida, que se encuentra firmemente adherida a la superficie de las partículas.
- Agua absorbida o solvatada, que forma parte intrínseca de las partículas y las transforma en mayor o menor medida en gelatinas.

Los fluidos de perforación desempeñan una serie de funciones esenciales durante el proceso de perforación. Estas funciones incluyen el control de la presión de la formación, la eliminación de impurezas del pozo (conocidas como recortes), el sellado de grietas, el enfriamiento y la lubricación de la sarta de perforación, y la preservación de la estabilidad del pozo. La composición de los

fluidos de perforación puede variar dependiendo de las condiciones específicas del pozo, pero típicamente están compuestos de lodo bentonítico.

Con los avances recientes en la tecnología de lodos, ha surgido una tendencia a ver esta tecnología como una solución universal para los problemas de perforación. Sin embargo, es crucial recordar que el lodo sigue siendo un componente crucial y debe ser administrado con inteligencia.

El propósito fundamental del lodo es facilitar y garantizar el proceso de perforación, además de cumplir diversas funciones esenciales, como:

- Facilitar el transporte de los recortes desde el fondo del pozo hasta la superficie.
- Proporcionar refrigeración y lubricación a la herramienta de perforación.
- Recubrir las paredes del pozo con un revestimiento estabilizador.
- Controlar las sobre presiones de posibles acuíferos.
- Mantener en suspensión los recortes cuando se detiene la circulación del lodo.
- Ofrecer soporte de flotación para parte del peso de la tubería.
- Transmitir potencia hidráulica a la corona de perforación.

Cada solución debe ser el resultado de una evaluación precisa del problema, teniendo en cuenta tres variables interdependientes. En otras palabras, si el perforador tiene experiencia y la maquinaria no presenta fallos mecánicos, entonces la causa del problema podría radicar en la preparación de un lodo inadecuado para las condiciones del terreno atravesado.

Del mismo modo, si el lodo está formulado con las densidades, viscosidades y capacidades de transporte correctas, y la maquinaria exhibe una capacidad de bombeo óptima, es probable que los problemas sean causados por

prácticas deficientes por parte del operador. Igualmente, un perforador experimentado y un lodo adecuado podrían verse limitados por una bomba deficiente, equipos de mezcla inadecuados, o tubería y corona con un desgaste excesivo (Williamson, 2013).

- El triángulo del éxito en la perforación

Toda solución debe basarse en la búsqueda real del problema dentro de estas tres variables que funcionan de manera interdependiente. Es decir, si el perforista tiene experiencia y la máquina no presenta problemas mecánicos, entonces la causa raíz podría encontrarse en la preparación de un lodo inadecuado para el terreno que se está atravesando. De igual forma, si el lodo está formulado con la densidad, viscosidad y propiedades de transporte correctas, y la máquina tiene una buena capacidad de bombeo, es probable que las malas prácticas de perforación del operador sean las responsables de los problemas. Lo mismo podría aplicarse a un perforador experimentado y un lodo adecuado que, sin embargo, se ven limitados por una bomba deficiente, equipos de mezcla deficientes o tubería y corona con un desgaste excesivo.

- Aditivos en la perforación

El primer aspecto crucial para considerar al preparar un lodo es la calidad del agua que se utilizará. Algunas aguas contienen residuos minerales como calcio, magnesio, zinc, entre otros, que pueden actuar como contaminantes para los aditivos del lodo. Además, niveles bajos de alcalinidad pueden afectar su rendimiento.

Para abordar esto, se emplea inicialmente "Ceniza de Soda" en la mezcla para eliminar estos contaminantes y, al mismo tiempo, ajustar el pH del agua a un

nivel adecuado, generalmente entre 8.5 y 9, utilizando papel pH como herramienta de medición. Una vez tratada el agua, se requiere un aditivo que forme la primera pared o revestimiento en el pozo y, al mismo tiempo, tenga la capacidad de suspender los recortes producidos por la corona de perforación para evitar su acumulación en el fondo. Este aditivo se conoce como Bentonita.

Durante el proceso de perforación, es común encontrarse con formaciones de arcilla que tienen la propiedad de absorber agua, hincharse y desprenderse de su sitio.

En casos donde la formación del pozo contiene una cantidad considerable de arcilla, será crucial reducir el uso de bentonita, ya que, aunque es un tipo de arcilla comercial, no deseamos perder sus propiedades viscosificantes.

Uno de los desafíos más comunes durante la perforación es el torque y el arrastre de las brocas y las tuberías. El torque se refiere a la fricción experimentada al girar la columna de perforación, mientras que el arrastre es la fricción experimentada durante el movimiento de la columna de perforación. Esto puede ser causado por la falta de una película aceitosa en el pozo que reduzca la fricción.

Para abordar este problema, se utiliza el aditivo Penetrol, diseñado específicamente para proporcionar esta lubricidad especial al lodo. El Penetrol no solo ayuda a reducir la fricción y el torque, sino que también evita la absorción de agua por parte de las arcillas y estabiliza el pozo (Becerra, 2021).

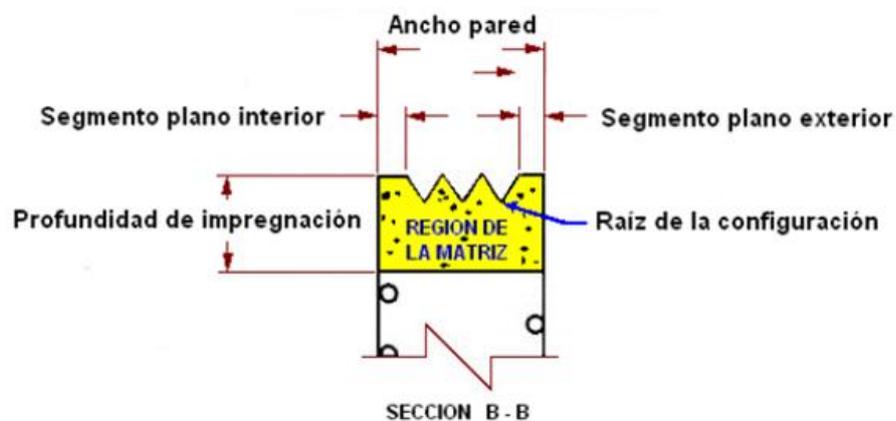
2.2.4. Brocas de perforación

Las coronas de perforación son elementos vitales en las operaciones de perforación diamantina y se ubican en la parte delantera de la sarta de perforación. Su función primordial es cortar la roca y avanzar en el proceso de sondaje. Estas coronas tienen un diseño anular, lo que implica que, al avanzar en la perforación, cortan una muestra cilíndrica de la roca que se recolecta en el barril porta testigos detrás de la corona. Existen varios tipos de coronas disponibles, cada una con una función específica, como las brocas de carburo de tungsteno, las de carburo de tungsteno triturado, las con diamantes insertados y las impregnadas con diamantes, esta última mayormente utilizada en sondajes exploratorios.

La elección del tipo de corona adecuada dependerá tanto de la experiencia del perforista como del tipo de roca en la que se esté perforando.

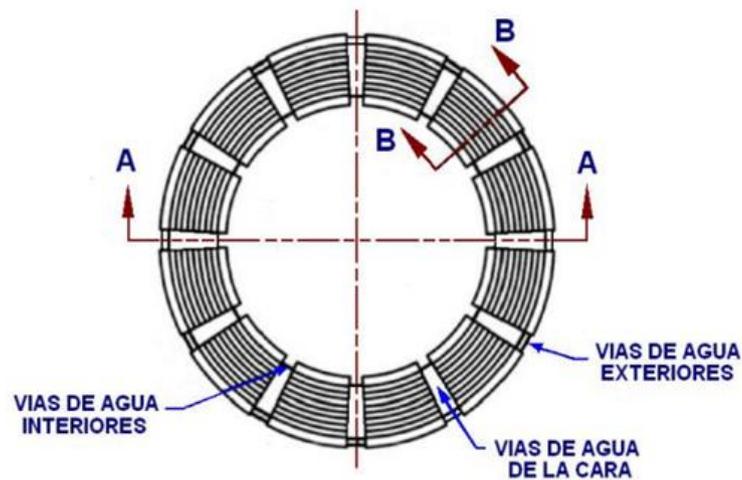
En los esquemas a continuación se presenta la disposición habitual de una corona diamantada. Tanto en la vista superior como en el perfil se pueden apreciar elementos como las vías de agua, la región de la matriz, el ancho de la pared, entre otros detalles estructurales.

Figura 5 Perfil de la broca



Nota: Recuperado de Soto (2022).

Figura 6 Vista transversal de la broca



Nota: Recuperado de Soto (2022).

En el mercado, hay una amplia variedad de fabricantes de coronas sacatestigos impregnadas. Una gama básica de tres productos con códigos de color fue rápidamente aceptada como estándar en la industria de los sondajes diamantinos. Con el tiempo, se han introducido nuevas matrices, materiales diamantados y técnicas de fabricación para desarrollar una nueva y mejorada línea de productos conocida como las Coronas de Serie. Estas coronas de Serie están identificadas por un código de color y un número del 2 al 10, lo que elimina la confusión causada por las diferentes codificaciones utilizadas por otros fabricantes (Cansaya, 2019).

2.2.4.1. Partes de una broca de perforación diamantina

Las brocas de diamante se están investigando como materiales bifásicos, donde los diamantes están inmersos en una matriz. Esta matriz, a su vez, es un material bifásico compuesto por una matriz de polvos metálicos y refuerzos de partículas, como es el caso de las brocas de infiltración. Las diferentes combinaciones de la cantidad y el tipo de polvo metálico, así como la cantidad y el tamaño de los diamantes, dan lugar a

diferentes tipos de brocas, cada una de las cuales se recomienda para perforar un tipo específico de suelo (Vargas, 2022).

Cuerpo de acero

El cuerpo de acero al carbono constituye la parte estructural de la broca, ya que sostiene y alberga la parte que realmente desgasta el material durante la perforación. En términos generales, este cuerpo tiene una estructura tubular a la que se adhiere la parte desgastante mediante procesos metalúrgicos o mecánicos.

Matriz

La punta de la broca no está completamente formada por diamantes puros; en cambio, estos están dispersos dentro de una estructura que los sostiene, similar a las pasas en un panetón. A medida que la broca se desgasta, los diamantes van emergiendo gradualmente de esta estructura o masa que los contiene, conocida como matriz.

Refuerzo

En ciertos casos, la broca puede estar compuesta además por refuerzos de carburo de tungsteno, los cuales asumen la tarea de desgastar la estructura rocosa en lugar de los diamantes. En general, tanto los refuerzos como los diamantes son componentes de una broca para perforación.

Diamantes

Los diamantes pueden ser sintéticos o naturales, aunque generalmente se prefieren los diamantes sintéticos debido a que, si bien los diamantes naturales pueden ser de alta calidad, su costo suele ser

mayor. En la siguiente figura se pueden observar las diferentes partes de las brocas mencionadas en los últimos apartados.

2.2.4.2. Tipos de brocas de perforación diamantina

Brocas impregnadas

Las brocas más comúnmente empleadas a nivel global son aquellas fabricadas con una matriz conformada por polvos metálicos y diamantes sintéticos, los cuales se distribuyen de manera uniforme. Para elegir la broca adecuada, es fundamental tener en cuenta la abrasión y la dureza de la roca como aspectos críticos. Esta clase de broca puede ser utilizada en diversos tipos de rocas (Mamani, 2022).

Dentro de los tipos de rocas donde se puede utilizar este tipo de broca son

- Dolomita
- Granito
- Taconita
- Riolita
- Cuarzo

Idealmente una corona impregnada perforará en forma constante, con un desgaste simultáneo de la matriz y los diamantes. A continuación, se detalla la selección de broca impregnada de acuerdo con ciertas variables.

En forma progresiva, se han introducido nuevas matrices, materiales diamantados y técnicas de fabricación para crear una gama nueva y mejorada de productos; se trata de las coronas impregnadas de Serie.

Las coronas de Serie, que se distinguen por sus códigos de color y números del 2 al 10, tienen la finalidad de simplificar la identificación y evitar confusiones causadas por diferentes sistemas de codificación de otros fabricantes. Se sigue una regla general donde la Serie de la corona aumenta conforme la roca es más dura; por ejemplo, la Serie 10 se reserva para rocas más resistentes, mientras que las Series 2 y 4 son más adecuadas para formaciones menos compactas y abrasivas. Las coronas impregnadas no tienen restricciones específicas de uso, ya que pueden emplearse tanto en rocas duras como en material alterado, aunque el método de perforación puede requerir ajustes. Su ventaja principal radica en su capacidad para obtener muestras de diferentes diámetros, desde 48 mm hasta 146 mm, a profundidades que pueden alcanzar cientos de metros o incluso kilómetros, utilizando brocas de carburo de tungsteno o diamante en casos especiales.

En terrenos muy duros como macizos rocosos, granito o cuarcitas, las brocas de carburo de tungsteno pierden rápidamente eficacia, lo que conlleva a interrupciones frecuentes para afilarlas, lo cual resulta poco rentable. Por consiguiente, su uso no es económico en terrenos extremadamente duros. Por el contrario, en terrenos más blandos, la perforación con brocas de diamante resulta más suave, lo que minimiza el daño al testigo y mejora su recuperación. Por ello, cuando las diferencias de precio no son significativas, se prefieren las brocas de diamante para asegurar un mejor porcentaje de recuperación de testigos, que es el objetivo principal de la perforación (Mamani, 2022).

Brocas de inserción superficial

Las brocas de diamante de inserción superficial están compuestas por una única capa de diamantes naturales o sintéticos incrustados en una matriz extremadamente resistente a la abrasión en la cara de la broca. Los patrones de incrustación de los diamantes están diseñados para asegurar un solapamiento óptimo y prevenir el desgaste prematuro de la matriz.

Estas brocas se recomiendan principalmente para la perforación en formaciones de suelos o rocas relativamente suaves, abrasivas y fracturadas, donde las brocas de diamante impregnadas no son eficientes. También se aconseja su uso en la perforación de formaciones más duras cuando la velocidad de rotación y el peso sobre las brocas disponibles no son óptimos para el uso de brocas de diamante impregnadas, debido a limitaciones en los equipos de perforación (Mamani, 2022).

La corona de estas brocas lleva diamantes sintéticos, naturales o policristalinos para la perforación de rocas suaves o semiduras. En las coronas de inserción, los diamantes están incrustados sobre la superficie de la corona y sobresalen en forma de casquete, con un tamaño que varía entre 10 y 80 piedras por quilate. En contraste, en las coronas de concreción, los diamantes son considerablemente más pequeños, con tamaños que van desde 80 hasta 1000 piedras por quilate, y están mezclados y distribuidos uniformemente por la matriz.

Dentro de los tipos de rocas donde se puede utilizar este tipo de broca son:

- Carbón de piedra
- Arcilla esquitosa

- Piedra arenisca
- Piedra sedimentaria
- Piedra caliza
- Esquisto
- Dolomitas
- Granitos de dureza media (Mamani, 2022)

2.2.4.3. Diferencia entre brocas de diamantes para perforación y las brocas

Estas brocas de perforación se recomiendan principalmente para ser usadas en perforaciones relativamente suaves, abrasives y en formaciones no consolidadas que no son efectivas en las rocas impregnadas.

También son adecuadas para formaciones más duras donde la velocidad rotacional disponible y la carga de la broca son insuficientes para usar las brocas impregnadas.

En la mayoría de los casos, las brocas de diamantes para perforación proveen mejores rangos de penetración que las brocas impregnadas con diamantes en formaciones más blandas debido al gran rango de exposición de los cristales de diamante de forma individual.

Las brocas de diamantes para perforación difieren de las brocas impregnadas porque están dispuestas en una sola capa de diamante perforador en las superficies de trabajo de la corona de la broca en un patrón predeterminado.

Sin embargo, tal y como los cristales de diamante están puestos en una sola capa, las brocas de diamantes para perforación tendrán

generalmente un rendimiento menor que loas brocas impregnadas con diamante (Otiniano, 2023).

2.2.4.4. Criterios generales de selección de coronas

Las coronas de Christensen se clasifican según el número de Serie, esta denominación se basa en una descripción de la norma DCDMA, sigla de “Diamond Code Drill Manufacturies Association”, de que considera el tipo de terreno o formación a perforar, relacionando la dureza de la roca con el número de Serie de la corona. Esto significa que si el terreno es blando, fracturado, abrasivo; la corona apropiada sería una Serie # 1 ó # 2. Para la formación dura, la Serie de la corona más alta, Serie # 9 o más.

Manual para elegir coronas según el tipo de roca:

A continuación, se presenta una tabla que relaciona el tipo de roca, las características de la roca y la correspondencia con la corona de serie recomendada.

Tabla 1 Criterios geológicos de selección de Broca

Característica de la Roca	Tipos de Roca	Corona o Broca
Extremadamente dura y compacta, de grano fino y no abrasiva. La potencia de la sonda debe ser limitada.	Cuarzo, calcedonia, jaspe, riolitas, tacanitas, chert, rocas con mineral de fierro.	Serie # 10 Dorada 
Muy dura y compacta, grano fino y moderadamente abrasiva. Es una corona de corte muy rápido y capaz de perforar a altas velocidades de penetración.	Dioritas, cuarcitas, taconitas, riolitas	Serie #9 Purpura 
Dura, de grano fino a medio grueso. Formaciones solidas a suavemente fracturadas.	Andesita, granito, gneiss, esquisto, basalto, gabro, diorita, hematita, Pórfido silificado.	Serie#8 Negra 
Moderadamente abrasiva, grano fino a grueso. Formaciones solidas a suavemente fracturadas.	Pegmatitas, gabro, monzonitas, dolomita, serpertina, pizarra.	Serie#7 Negra 
Abrasiva, de grano medio a grueso. Formación mediamente fracturada. Se comporta bien en formaciones sujetas a cambios en la dureza y abrasividad de la roca	Calcita, conglomerados, Areniscas, riolita, talco,pizarra.	Serie#6 Negra 
Abrasiva, grano grueso. Formación fracturada y quebrada.	Arenisca, pegmatitas, cuarcitas.	Serie#4 Gris 
Extremadamente abrasiva, grano medio grueso. De blando a muy dura, altamente fracturada, fallas y derrumbes.	Areniscas, granitos, piedras calizas, cuarcitas	Serie#2 Roja 

Nota: Recuperado de Cansaya (2019).

Es importante tomar en cuenta las velocidades y la potencia de la sonda, para el diámetro y profundidad del pozo a perforar. Si se dispone de un equipo de alta potencia y empuje, se recomienda usar una corona de Serie baja, por el contrario, si se dispone de un equipo de baja potencia, se debe usar coronas de Serie alta (Soto, 2022).

- Sonda baja potencia: Use número Serie alta.
- Sonda alta potencia: Use número Serie baja

Es importante obtener la mayor información geológica posible de las condiciones esperadas del terreno, tales como: tipo de roca esperada, dureza de la roca, condiciones del pozo. Es así, que según la condición de la roca se debe considerar:

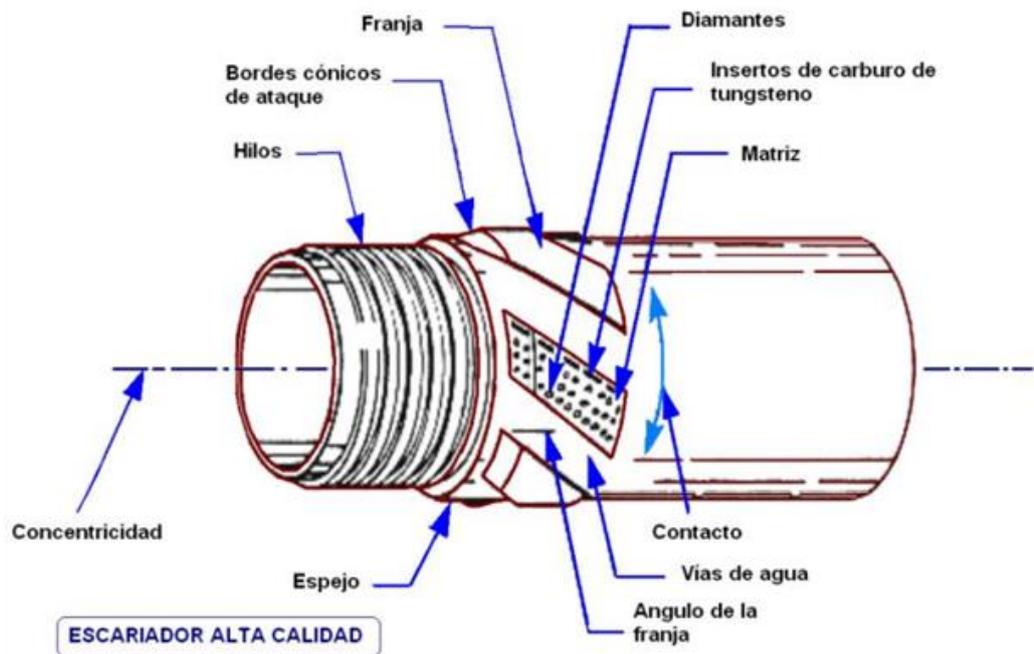
- Roca dureza baja, grano grueso, fracturada => Use número Serie baja.
- Roca dureza alta, grano fino, competente => Use número de Serie alta.

2.2.4.5. Escariadores

El escariador es un componente tubular del barril sacatestigos que conecta la corona con el tubo exterior del barril. Este componente está equipado con uno o más anillos compuestos de diamantes y/o franjas de carburo de tungsteno. Su ubicación se encuentra inmediatamente detrás de la broca y cumple dos objetivos principales.

En primer lugar, el escariador tiene la función de mantener el diámetro nominal de la perforación a lo largo del pozo, lo que facilita la introducción de una nueva broca sin que se atasque. En segundo lugar, el escariador ayuda a estabilizar el barril porta testigo, previniendo el desgaste excesivo en el extremo inferior y evitando oscilaciones no deseadas de la corona (Cansaya, 2019).

Figura 7 Escariador de alta calidad



Nota: Recuperado de Fernandez et al (2015).

2.2.4.6. Zapatas de revestimiento

Las zapatas o Casing Shoe son usadas para ensanchar o avanzar el casing por una corta distancia en un hueco previamente perforado. Las zapatas para revestimiento van atornilladas al tren de revestimientos y se usan para penetrar una sobrecarga con el fin de asentar el revestimiento en el lecho de la roca o para prolongar la entubación cuando se coloca revestimiento en un pozo (Riquelme, 2017).

Tipos de zapatas:

- Metálicas
- De carburo de tungsteno en prismas y plaquitas trituradas
- De inserción de diamantes
- De impregnación de diamantes

El criterio usado para elegir una zapata es el mismo que para las coronas normales.

a. **Incrustadas**

Las zapatas para revestimiento incrustadas son diseñadas para penetrar formaciones duras y bastante uniformes.

b. **Impregnadas**

Las zapatas para revestimiento impregnadas están diseñadas para penetrar formaciones de sobrecarga moderada tales como arena, grava y bolones en condiciones abrasivas.

2.3. Definición de términos básicos

- **Perforación diamantina:** Es un método de exploración minera que permite hacer el sondaje de formaciones geológicas, mediante la perforación de roca y suelo con el uso de brocas diamantadas de diferentes diámetros y durezas para la posterior obtención, registro, y almacenamiento de muestras llamadas testigos.
- **Testigo de Perforación:** Muestra cilíndrica, continua, conformada por materiales que corta la corona diamantada de la perforación, es a esta muestra a la que se le pueden realizar ensayos de laboratorio (mecánica de rocas y mecánica de suelos), también es posible describir sus parámetros litológicos, geotécnicos mediante el logueo.
- **Influencia:** Se refiere al efecto o consecuencia que puede tener una cosa sobre otra, es decir, se emplea para denotar la repercusión de algo en la función de una persona u objeto que pueda manipularse. El término influencia puede ser aplicado en cualquier campo, cualquier agente en la tierra es capaz de tener influencia sobre otro o cualquier proceso, por ejemplo; la influencia que ejerce el agua sobre las rocas, el proceso de erosión

del agua compromete el estado sólido durante un determinado tiempo, ya que su corriente altera cualquier espacio en el que se encuentre.

- **Brocas:** Es una herramienta de corte, la cual se utiliza para triturar y cortar las formaciones del subsuelo durante el proceso de perforación diamantina, se encuentra localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación y su función es perforar los estratos de la roca mediante el vencimiento de su esfuerzo de compresión y de la rotación de la broca.
- **Aditivos:** Es un diluyente polimérico térmicamente estable y altamente eficaz, quita las arcillas bentoníticas de la sarta de perforación y dispersa los anillos de arcillas ayudando a liberar la tubería que se encuentra atascada.
- **Bentonita:** Un material compuesto por minerales de arcilla, principalmente montmorillonita con cantidades escasas de otros minerales del grupo de las esmectitas. La principal característica es que absorbe varias veces su peso en agua y tiene excelentes propiedades coloidales, lo que la vuelve excelente recurso para la preparación de lodos de perforación.
- **Sondajes:** El sondaje es una técnica de exploración de suelos, utilizada principalmente por empresas mineras que buscan examinar los componentes minerales del material extraído antes de trabajar en la zona seleccionada. Consiste en perforaciones de pequeño diámetro de ancho que pueden llegar hasta los 1200 metros de profundidad.
- **Endoskarn:** Formado dentro del plutón, es generado a partir de la recirculación de fluidos hidrotermales, sus espesores varían de acuerdo con las condiciones fisicoquímicas de formación del Skarn. El endoskarn es más abundante en sistemas someros, es decir en las zonas laterales del contacto, en cambio es rara su ocurrencia en zonas de cúpula. Su formación se debe al

intercambio metasomático entre el plutón y los componentes aportantes de Ca y Mg del exterior (roca caja).

- **Exoskarn:** Formado a partir del reemplazamiento metasomático de rocas carbonatadas con contenidos de calcio (calizas) o magnesio (dolomitas) asociados a la generación de granates-piroxenos, poseen una morfología tabular o lenticular de hasta 500 m de distancia del intrusivo en el caso de skarn proximales, se forman generalmente en los techos de las intrusiones (cúpulas), y raramente en las zonas laterales siendo los mismos de baja ley.
- **RQD:** Rock Quality Designation, fue desarrollado por Deere (1964), en respuesta a la necesidad de una técnica objetiva y rápida para la estimación de la calidad del macizo rocoso desde las perforaciones diamantinas durante la fase inicial exploratoria. Para determinar el RQD, se debe identificar las fracturas naturales y mecánicas, tomando en cuenta solo las fracturas naturales, se miden los trozos de testigos que son mayores a 10 cm, a lo largo de toda la corrida, la longitud modificada es la suma de todos estos trozos mayores a 10 cm. De acuerdo con el RQD, un macizo rocoso es calificado en función del grado de fracturamiento.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- El tipo de broca influye en el rendimiento de la perforación diamantina en la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón – 2024.

2.4.2. Hipótesis específica

- La litología influye en la perforación diamantina de la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón-202.

- Los métodos estadísticos permitirán determinar la influencia del tipo de broca en la perforación diamantina.
- Los métodos estadísticos permitirán determinar la relación entre tipo de aditivo, rendimiento en la perforación diamantina y los costos operativos asociados.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

- Diámetro de broca
- Tipo de aditivo
- Litología

2.5.2. Variable dependiente

- Metros de avance

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2 Operacionalización de las variables

Variable	Definición operacional	Dimensiones
Independiente: Tipo de broca	Las brocas son una herramienta de corte, las cuales se utilizan para triturar y cortar las formaciones del subsuelo durante el proceso de perforación diamantina. Su desgaste se debe a diferentes factores entre ellos el tipo de rocas, por lo cual, la descripción litológica del sondaje es de suma importancia.	Diámetro de la brocas y tipo de material.
Independiente: Tipo de aditivo	En la perforación diamantina, los aditivos son sustancias que se añaden al fluido de perforación para mejorar su rendimiento	Descripción técnica del producto
Independiente: Litología	La litología es la rama de la geología que se encarga del estudio de las rocas. Se centra en la composición, textura, estructura y clasificación de las rocas, así como en su distribución espacial y relaciones con otros materiales geológicos.	Mineralogía y petrología
Dependiente: Metros de avance de perforación	La perforación diamantina es el proceso por el cual se realiza un corte con el uso de una broca diamantada de distinta dureza, para perforar la roca y de esta manera recuperar una muestra de la roca conocida como testigo o core.	Distancia que la broca ha recorrido en la roca

Nota: Considerando las dimensiones de las variables.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicada; Tamayo (2006), describen este tipo de investigación como la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos sobre los parámetros y variables de control en la perforación diamantina, las cuales fueron aplicados para determinar la influencia del tipo de broca en el logueo de la veta Margot.

3.2. Nivel de investigación

La presente investigación fue de nivel explicativo, dado que se planteó determinar la influencia del tipo de broca en la perforación diamantina, teniendo en cuenta los parámetros de RQD y profundidad de avance, con la finalidad de buscar respuestas que ayuden a mejorar la operación de logueo.

3.3. Métodos de investigación

El desarrollo de la presente investigación empleó el método científico como metodología general en la cual se cuantificaron parámetros medibles como % RQD, profundidad de avance, masa de aditivos, además de ello, también

presentó un método descriptivo en la cual se tomaron en cuenta las características físicas de los macizos rocosos para su clasificación, teniendo en cuenta que este tipo de método depende en gran medida de la expertis del sujeto evaluador (Hernández & Mendoza, 2018).

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación consistió en la recopilación de data del control técnico de logueo en la perforación diamantina de la veta Margot de la CIA Minera Raura, para determinar la influencia de las brocas Hardcore y Boyles.

Investigación es de diseño no experimental de corte longitudinal (evolutivo), realizada en un periodo de 4 meses, en la cual nos enfocamos en investigar y observar los parámetros técnicos de la operación.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Arias (2006), define población como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. La población del estudio es el Diseño RM de la veta Margot-CIA minera Raura-Oyón-2024.

3.5.2. Muestra

Según Tamayo (2006) define la muestra como: "el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada.

Las muestras del presente trabajo son los siguientes sondeos:

- DDH-U-RAE-23-029

- DDH-U-RAE-23-043
- DDH-U-RAE-23-050
- DDH-U-RAE-23-056
- DDH-U-RAE-23-064
- DDH-U-RAE-23-069
- DDH-U-RAE-23-074

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos empleadas en esta investigación fueron las siguientes:

- **Evaluación de plano de cubicación de minerales**

Instrumentos: Software de modelado geológico, planos geológicos, y mapas de cubicación.

- **Perforación de sondajes**

Instrumentos: Equipos de perforación diamantina (máquinas perforadoras con brocas de tungsteno impregnadas con diamantes), medidores de profundidad, y sensores de avance de perforación.

- **Registro de perforación diamantina**

Instrumentos: Formatos de registro, bases de datos digitales, y sistemas de monitoreo en tiempo real (software de monitoreo de perforación).

- **Logueo de testigos**

Instrumentos: Registros de logueo (manuales o digitales), cámaras para fotografía de testigos, y herramientas de medición de propiedades litológicas (como el RQD y la profundidad de avance).

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se ejecutó el procesamiento de la data de los cores de interés mediante hojas de cálculo, en donde se realizó un análisis de los reportes detallados de avances diarios de la Mina Raura durante los meses de mayo, junio y julio, estos reportes se compararon con los datos de logeo, dando realce a la información litológica, fracturamiento, tipos de brocas y aditivos utilizados, a fin de identificar las condiciones óptimas para mejores resultados en los trabajos de perforación diamantina.

3.8. Tratamiento estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos en la perforación diamantina de la veta Margot en la CIA Minera Raura, se utilizó Microsoft Excel como herramienta principal para la organización y procesamiento de la información. Se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas y comparativas para evaluar el rendimiento de los distintos tipos de brocas en función de su eficiencia operativa y costos. Se aplicaron los siguientes métodos:

- Cálculo de medidas de tendencia central (promedio) y dispersión (desviación estándar) para evaluar la consistencia de los datos en distintos períodos.
- Gráficos de barras y dispersión para visualizar la relación entre las variables y detectar tendencias en el rendimiento de las brocas.
- Tablas dinámicas para facilitar la comparación de datos entre los diferentes meses y brocas utilizadas.
- Análisis de variabilidad mediante el cálculo de porcentajes de mejora o disminución en el desempeño de cada broca.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación cumple con los estándares de comportamiento ético esperado, como normas éticas se consideró:

- El cuidado y protección de las personas, medio ambiente y la propiedad durante el desarrollo de los trabajos de perforación diamantina.
- La información obtenida de otros autores es citada, respetando la propiedad de estos

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

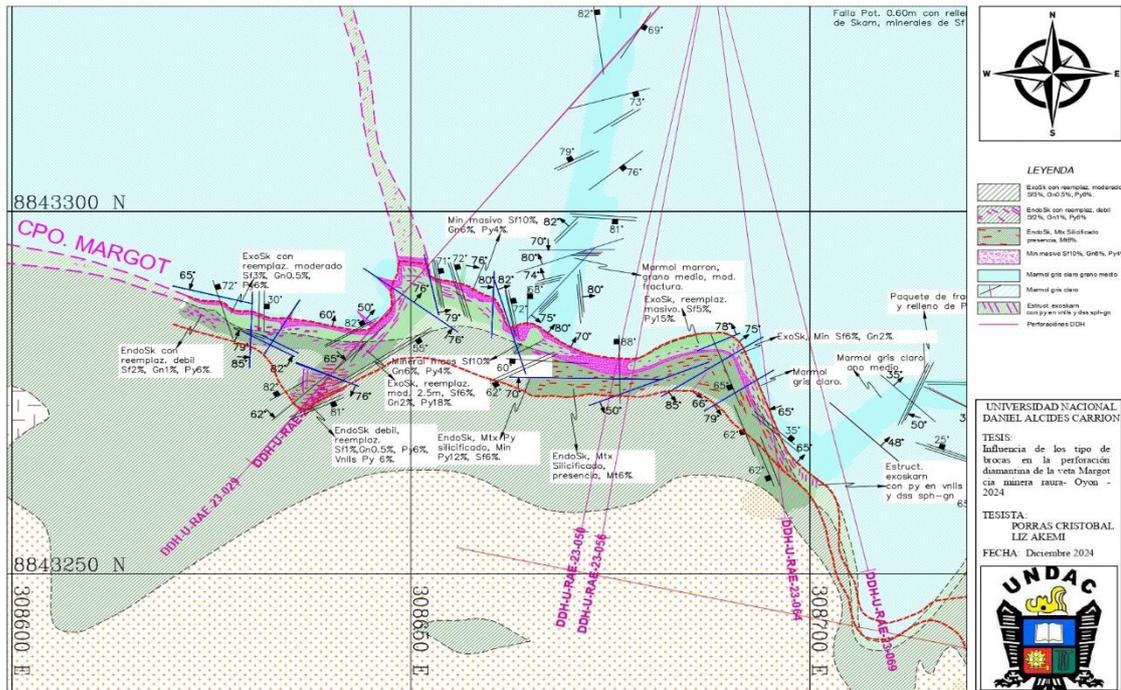
A continuación, se presentarán los resultados de la recolección de datos de logueo y el análisis de la data correspondiente.

4.1.1. Litología

La Mina Raura es una formación geológica de tipo Skarn que tuvo lugar en el periodo de Mioceno, en la cual podemos observar roca de caja del tipo carbonatos como calizas de distintos tamaños de grano, pertenecientes al grupo Jumasha. Se pudo observar áreas con cambios estructurales definidos como endoskarn y exoskarn, y mármol, con mineralización de Pb, Zn, Cu, As, Ag, Sb, y Mn, tal y como se puede observar en el plano geológico de la figura X. En la parte central en el contacto del stock pórfido dacítico con las calizas de la formación Jumasha se encuentra la mejor exposición actual del metasomatismo de contacto con halos de endoskarn, exoskarn y mármol. mineralización económica predominante es de Cu-Zn-Pb en sistemas de Vetas y Bolsonadas.

Esta veta se emplaza en una secuencia de rocas ígneas y sedimentarias alteradas, típicas de yacimientos polimetálicos.

Figura 8 Litología de la Minera Raura



4.1.1.1. Zona de calizas

Las calizas observadas son del tipo grainstone y mudstone de grano fino, con estratos variables de 1 a 50 m, de colores gris oscuro con mármol gris claro, a la base la roca se encuentra intensamente fracturada y se observa vetas de calcita blanca con py diseminada, seguida de fallas. Las rocas sedimentarias están compuestas principalmente por calizas y lutitas, que han experimentado diversas alteraciones hidrotermales, como silicificación y dolomitización. Estas rocas sirven como anfitriones de la mineralización y presentan evidencias de deformación tectónica, como fracturas y fallas que han actuado como conductos para los fluidos mineralizantes.

- **Litología:** Calizas masivas a estratificadas, predominantemente calcílicas, con posibles intercalaciones de dolomitas.
- **Formación:** Estas calizas se formaron en un ambiente sedimentario marino, donde la precipitación de carbonato de calcio a partir del agua de mar dio lugar a la formación de rocas carbonatadas.
- **Mineralogía:** Principalmente calcita (CaCO_3), con posibles inclusiones de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).
- **Alteración:** Las calizas en contacto con fluidos magmáticos pueden mostrar signos de recristalización y silicificación.

4.1.1.2. Zona de mármol

Corresponden a Mármolización selectiva de predominante grano fino a medio, posiblemente selectiva en los estratos más cálcicos.

- **Litología:** Mármol blanco a gris, con variaciones en textura desde granoblástica a sacaroide.
- **Formación:** El mármol se formó a partir de la recristalización de calizas bajo condiciones de metamorfismo regional o de contacto, lo que resultó en una textura más densa y cristalina.
- **Mineralogía:** Principalmente calcita recristalizada, con menores proporciones de dolomita y posibles trazas de otros minerales metamórficos.
- **Alteración:** Puede presentar bandas de silicatos debido a la interacción con fluidos hidrotermales.

4.1.1.3. Zona de mármol skarnizado

La presencia de skarns es significativa en la veta Margot, resultando de la interacción de los intrusivos granodioríticos con las rocas

sedimentarias carbonatadas, las cuales son resultado de la alteración de calizas y dolomitas por fluidos ricos en calcio derivados de los intrusivos.

- **Litología:** Mármol parcialmente reemplazado por minerales skarn.
- **Formación:** Resulta de la interacción de mármol con fluidos magmáticos ricos en elementos metálicos, provocando la recristalización y la introducción de nuevos minerales.
- **Mineralogía:** Garnet (andradita y grossularia), epidota, diopsido, y otros silicatos de calcio.
- **Alteración:** Evidente recristalización y reemplazo mineral.

4.1.1.4. Zona de intrusivos

Estas rocas intrusivas juegan un papel crucial en la mineralización de la veta Margot. Los intrusivos han generado un metamorfismo de contacto, alterando las rocas sedimentarias adyacentes y creando un ambiente propicio para la movilización y deposición de minerales hidrotermales, presentando texturas faneríticas con cristales de feldespatos, cuarzo y mica.

- **Litología:** Granodioritas y dioritas, con textura fanerítica, de grano medio a grueso.
- **Formación:** Estos intrusivos se formaron a partir del enfriamiento y solidificación de magma a profundidades relativamente bajas en la corteza terrestre.
- **Mineralogía:** Feldespatos, cuarzo, biotita, hornblenda y piroxenos, con posibles inclusiones de magnetita y otros óxidos de hierro.
- **Alteración:** Hidrotermalización que puede incluir sericitización, cloritización y silicificación.

4.1.1.5. Zona de skarn

Se puede observar en el contacto de las rocas calcáreas de la Formación Jumasha con las brechas de intrusión dacítica y granodiorita se tienen una aureola metasomática, diferenciándose zonas de Exoskarn constituidos por granates de grano medio a grueso de textura granoblástica de coloraciones verde y verde-café del tipo grosularia andradita, la zona de Endoskarn está constituido por granates marrones claros y opacos del tipo almandino, se le encuentra como masas irregulares posiblemente en los clastos de granodiorita.

a. Endoskarn

- **Litología:** Roca intrusiva alterada y reemplazada por minerales skarn.
- **Formación:** Se forma cuando los fluidos magmáticos alteran y mineralizan la roca ígnea intrusiva.
- **Mineralogía:** Garnet (andradita y grossularia), diopsido, epidota, wollastonita, y minerales de óxidos de hierro como magnetita e ilmenita.
- **Alteración:** Intensa silicificación y carbonatización, con presencia de minerales de skarn en reemplazo de los originales ígneos.

b. Exoskarn

- **Litología:** Calizas y dolomitas alteradas y mineralizadas.
- **Formación:** Se forma cuando los fluidos magmáticos interactúan con rocas carbonatadas adyacentes al intrusivo, causando la formación de minerales skarn.

- **Mineralogía:** Garnet (andradita y grossularia), diopsido, epidota, clinohumita, forsterita, serpentina, y sulfuros metálicos como pirita, esfalerita, galena y calcopirita.
- **Alteración:** Silicificación, cloritización y carbonatización, con una alta proporción de minerales metálicos.

4.1.2. Mineralización

La veta Margot es rica en sulfuros metálicos y minerales de ganga, que se presentan en diversas formas:

4.1.2.1. Sulfuros metálicos

- **Pirita (FeS₂):** Abundante en la veta, actuando como un mineral indicador de la mineralización.
- **Esfalerita (ZnS):** Principal fuente de zinc.
- **Galena (PbS):** Principal fuente de plomo.
- **Calcopirita (CuFeS₂):** Principal fuente de cobre.

Minerales de ganga

- **Cuarzo (SiO₂):** Comúnmente asociado con la mineralización metálica.
- **Calcita (CaCO₃):** Frecuente en zonas de alteración carbonatada.
- **Barita (BaSO₄):** Presente en menor proporción, pero significativa.

4.1.3. Características de las brocas Hardcore y Boyles

Para la perforación diamantina de la Veta Margot se tuvieron en cuenta 3 tipos de brocas, las cuales corresponden a la de tipo Hardcore X8, Hardcore X10, y Boyles, las mismas que fueron de diámetro HQ y se operaron teniendo en cuenta las condiciones de operación de la tabla 3.

Tabla 3 Condiciones de operación

Parámetro	Valor
Diámetro de broca	HQ
Velocidad de penetración	200 RPI
Presión	
Caudal	
Aditivos	

Nota: Datos considerados por experiencia.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Análisis de las brocas de perforación diamantina

Se tomaron en cuenta 7 sondajes denominados DDH 23-029, DDH 23-043, DDH 23-050, DDH 23-056, DDH 23-064, DDH 23-069, y DDH 23-074, las cuales se ubicaron dentro de la zona denominada Veta Margot, y se realizaron durante los meses de mayo, junio, y julio.

Sondaje DDH 23-029

4.2.1.1. Análisis de broca Hardcore X8- DDH-23-029

El Sondaje DDH 23-029 se realizó en el mes de mayo del 2024 y empleó brocas del tipo Hardcore, X8 y X10 de diámetro HQ, empleando aditivo CHP ultra según requerimiento y expertis de los operadores. Este sondaje perforó 141.6 m, encontrando litologías del tipo caliza y mármol, con un total de 17 de turnos, tal y como se representa en la tabla 4.

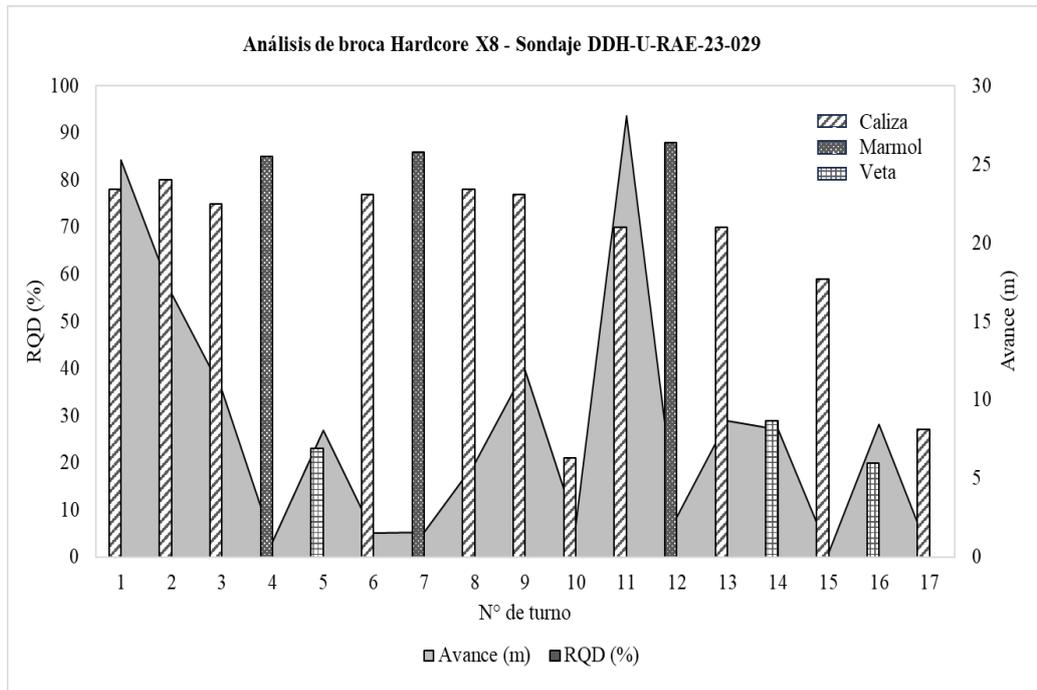
Tabla 4 Análisis de la broca Hardcore X8 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0	25.3	25.3	78	Caliza
2	25.3	42.05	16.75	80	Caliza
3	42.05	52.7	10.65	75	Caliza
4	52.7	53.65	0.95	85	Mármol
5	53.65	61.7	8.05	23	Veta
6	61.7	63.2	1.5	77	Caliza
7	63.2	64.8	1.6	86	Mármol
8	64.8	70.8	6	78	Caliza
9	70.8	82.7	11.9	77	Caliza
10	82.7	84.7	2	21	Caliza
11	85.2	113.3	28.1	70	Caliza
12	113.3	115.8	2.5	88	Mármol
13	115.8	124.5	8.7	70	Caliza
14	124.5	132.65	8.15	29	Veta
15	132.65	132.95	0.3	59	Caliza
16	132.95	141.4	8.45	20	Veta
17	141.4	141.6	0.2	27	Caliza

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

En la figura 9 se puede observar el avance de la perforación diamantina y las litologías por turno, observándose un valor máximo de avance de 28.1 m con un RQD de 70% en una litología del tipo caliza. También, se puede observar que a partir del turno 12 existe una disminución del avance y el RQD de los testigos, por lo que fue necesario cambiar el tipo de broca.

Figura 9 Análisis de la broca Hardcore X8 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

4.2.1.2. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-029

A partir de los 141.60 m de profundidad, se cambió al tipo de broca Hardcore X10, que con un total de 63 turnos alcanzó una profundidad de 396.80 m, identificándose una zona de intrusivos, tal y como se puede observar en la tabla 5. Los metros de avance reportados por esta broca fue de 255.2 m.

Tabla 5 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029

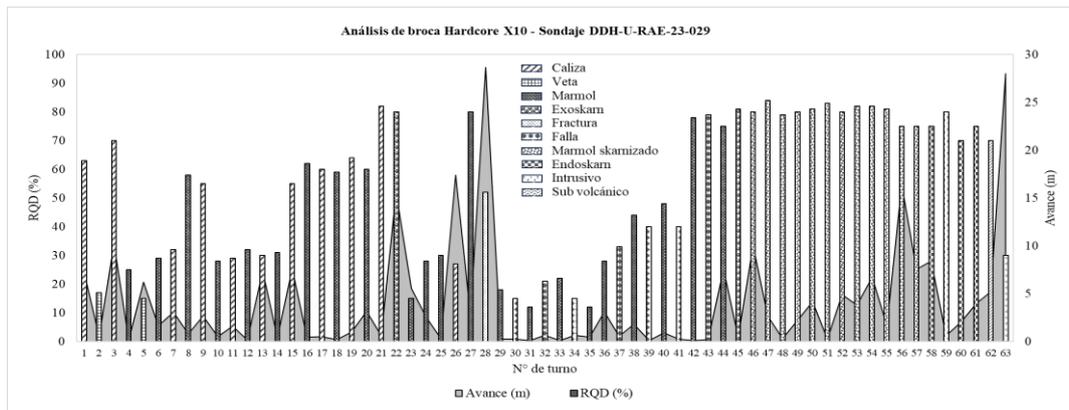
Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	141.60	148.90	7.30	63	Caliza
2	148.90	149.40	0.50	17	Veta
3	149.40	159.65	10.25	70	Caliza
4	159.65	159.80	0.15	25	Mármol
5	159.80	166.00	6.20	15	Veta
6	166.00	167.65	1.65	29	Mármol
7	167.65	170.70	3.05	32	Caliza
8	170.70	171.50	0.80	58	Mármol
9	171.50	174.15	2.65	55	Caliza
10	174.15	174.65	0.50	28	Mármol
11	174.65	176.25	1.60	29	Caliza
12	176.25	176.40	0.15	32	Mármol
13	176.40	183.75	7.35	30	Caliza
14	183.75	184.15	0.40	31	Mármol
15	184.15	191.75	7.60	55	Caliza
16	191.75	192.20	0.45	62	Mármol
17	192.20	192.70	0.50	60	Caliza
18	192.70	192.90	0.20	59	Mármol
19	192.90	193.90	1.00	64	Caliza
20	193.90	197.05	3.15	60	Mármol
21	197.05	197.65	0.60	82	Caliza
22	197.65	213.25	15.60	80	Exoskarn
23	213.25	218.80	5.55	15	Mármol
24	218.80	221.35	2.55	28	Mármol
25	221.35	221.65	0.30	30	Mármol
26	221.65	239.05	17.40	27	Calizas
27	239.05	241.85	2.80	80	Mármol
28	241.85	270.50	28.65	52	Fractura
29	270.50	270.75	0.25	18	Mármol
30	270.75	271.00	0.25	15	Falla
31	271.00	271.10	0.10	12	Mármol
32	271.10	271.75	0.65	21	Falla
33	271.75	271.85	0.10	22	Mármol
34	271.85	272.50	0.65	15	Falla
35	272.50	272.95	0.45	12	Mármol
36	272.95	276.05	3.10	28	Mármol
37	276.05	276.60	0.55	33	Falla
38	276.60	278.40	1.80	44	Mármol
39	278.40	278.50	0.10	40	Falla
40	278.50	279.40	0.90	48	Mármol
41	279.40	279.65	0.25	40	Falla
42	279.65	279.75	0.10	78	Mármol
43	279.75	279.95	0.20	79	Falla
44	279.95	287.50	7.55	75	Mármol
45	287.50	287.95	0.45	81	Exoskarn
46	287.95	298.00	10.05	80	Mármol skarnizado

47	298.00	300.65	2.65	84	Mármol skarnizado
48	300.65	300.95	0.30	79	Mármol skarnizado
49	300.95	303.20	2.25	80	Mármol skarnizado
50	303.20	307.35	4.15	81	Mármol skarnizado
51	307.35	307.60	0.25	83	Mármol skarnizado
52	307.60	312.50	4.90	80	Mármol skarnizado
53	312.50	316.30	3.80	82	Mármol skarnizado
54	316.30	323.00	6.70	82	Mármol skarnizado
55	323.00	324.65	1.65	81	Mármol skarnizado
56	324.65	341.05	16.40	75	Mármol skarnizado
57	341.05	348.60	7.55	75	Mármol skarnizado
58	348.60	357.00	8.40	75	Endoskarn
59	357.00	357.60	0.60	80	Intrusivos
60	357.60	359.65	2.05	70	Endoskarn
61	359.65	363.60	3.95	75	Endoskarn
62	363.60	368.80	5.20	70	Sub volcánico
63	368.80	396.80	28.00	30	Intrusivo

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

La figura 10 representa el RQD (%) en función de los metros de avance, representándose además el tipo de litología que se ha podido observar en cada parte del testigo. Se puede identificar que a partir del turno 43, el RQD correspondiente a cada turno es superior al 70%.

Figura 10 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-029



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

Sondaje DDH 23-043

4.2.1.3. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-043

Se realizaron 36 turnos en el sondaje DDH-U-RAE-23-043 empleando un tipo de broca Hardcore X10, desde los 0 metros hasta los

380.65 m, en la cual se observó una zona de intrusivos. Los resultados de los parámetros observados en dicho sondaje se pueden observar en la tabla 6.

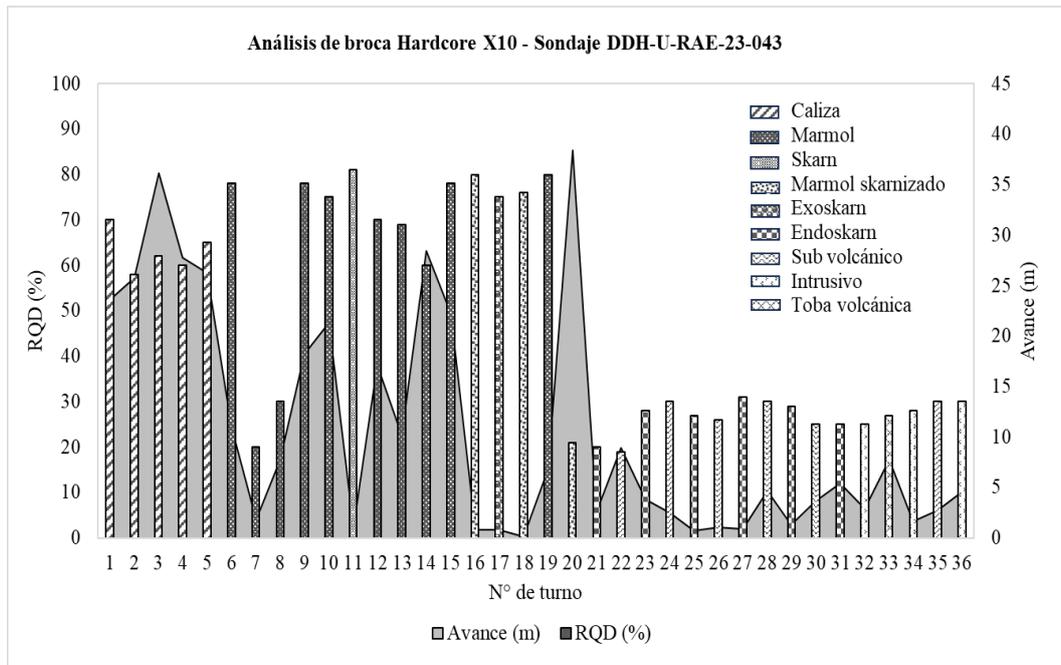
Tabla 6 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-043

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0.00	23.55	23.55	70	Caliza
2	23.55	49.30	25.75	58	Caliza
3	49.30	85.40	36.1	62	Caliza
4	85.40	113.15	27.75	60	Caliza
5	113.15	139.40	26.25	65	Caliza
6	139.40	150.30	10.9	78	Mármol
7	150.30	152.10	1.8	20	Mármol
8	152.10	159.75	7.65	30	Mármol
9	159.75	178.00	18.25	78	Mármol
10	178.00	199.35	21.35	75	Mármol
11	199.35	200.45	1.1	81	Skarn
12	200.45	217.60	17.15	70	Mármol
13	217.60	227.80	10.2	69	Mármol
14	227.80	256.25	28.45	60	Mármol
15	256.25	278.45	22.2	78	Mármol
16	278.45	279.30	0.85	80	Mármol Skarnizado
17	279.30	280.15	0.85	75	Exoskarn
18	280.15	280.30	0.15	76	Mármol Skarnizado
19	280.30	287.10	6.8	80	Mármol
20	287.10	325.50	38.4	21	Mármol Skarnizado
21	325.50	328.10	2.6	20	Endoskarn
22	328.10	337.00	8.9	19	Sub – volcánico
23	337.00	340.80	3.8	28	Endoskarn
24	340.80	343.25	2.45	30	Sub – volcánico
25	343.25	344.00	0.75	27	Endoskarn
26	344.00	345.05	1.05	26	Sub – volcánico
27	345.05	345.95	0.9	31	Endoskarn
28	345.95	350.65	4.7	30	Sub – volcánico
29	350.65	352.00	1.35	29	Endoskarn
30	352.00	355.65	3.65	25	Sub – volcánico
31	355.65	361.10	5.45	25	Endoskarn
32	361.10	364.00	2.9	25	Intrusivo
33	364.00	371.75	7.75	27	Toba volcánica
34	371.75	373.40	1.65	28	Intrusivo
35	373.40	376.10	2.7	30	Sub – volcánico
36	376.10	380.65	4.55	30	Intrusivo

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

En la figura 11 se puede observar que a partir del turno 20, el RQD es menor al 40 %, lo cual corresponden a litologías del tipo endoskarn, sub volcánico, toba volcánica e intrusivos.

Figura 11 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-043



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

Sondaje DDH 23-050

4.2.1.4. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-050

En el sondaje DDH-U-RAE-23-050 se realizaron 25 turnos alcanzando una profundidad de 330.90 m, encontrándose desde los 300.60 m una zona de intrusivos.

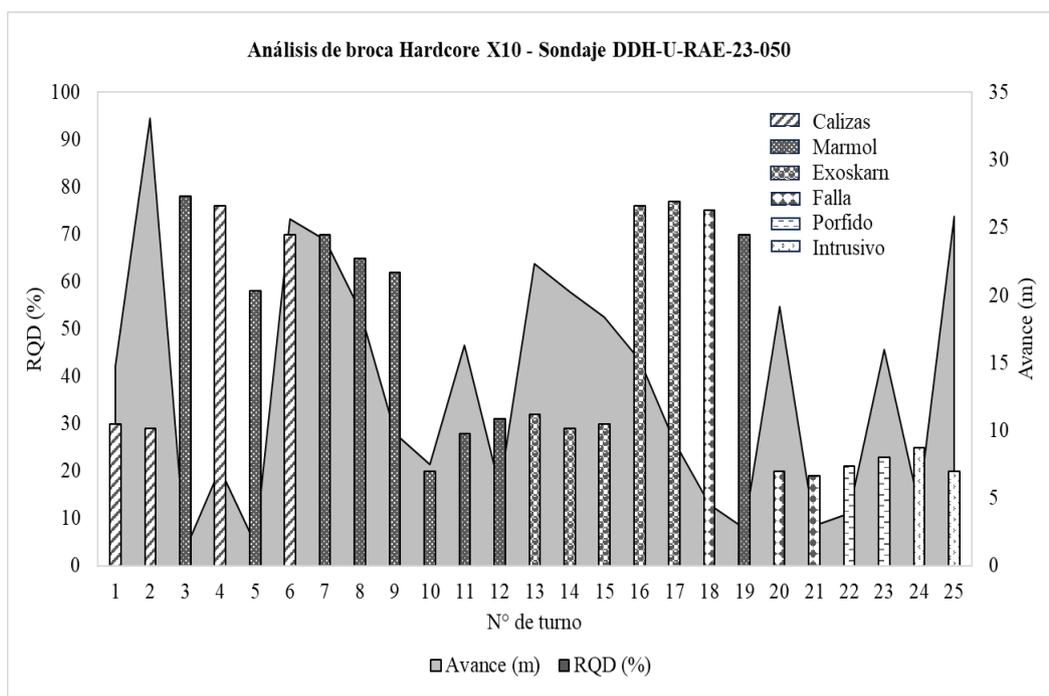
Tabla 7 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-050

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0.00	14.85	14.85	30	Calizas
2	14.85	47.90	33.05	29	Calizas
3	47.90	49.15	1.25	78	Mármol
4	49.15	56.35	7.20	76	Calizas
5	56.35	57.95	1.60	58	Mármol
6	57.95	83.60	25.65	70	Calizas
7	83.60	107.65	24.05	70	Mármol
8	107.65	126.55	18.90	65	Mármol
9	126.55	136.35	9.80	62	Mármol
10	136.35	143.85	7.50	20	Mármol
11	143.85	160.15	16.30	28	Mármol
12	160.15	165.90	5.75	31	Mármol
13	165.90	188.25	22.35	32	Exoskarn
14	188.25	208.50	20.25	29	Exoskarn
15	208.50	226.85	18.35	30	Exoskarn
16	226.85	242.05	15.20	76	Exoskarn
17	242.05	251.25	9.20	77	Exoskarn
18	251.25	255.80	4.55	75	Falla
19	255.80	258.60	2.80	70	Mármol
20	258.60	277.75	19.15	20	Falla
21	277.75	280.70	2.95	19	Falla
22	280.70	284.60	3.90	21	Pórfido
23	284.60	300.60	16.00	23	Pórfido
24	300.60	305.10	4.50	25	Intrusivo
25	305.10	330.90	25.80	20	Intrusivo

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

En la figura 12 podemos observar que a partir de los 258.60 m se logró valores de RQD menores al 30%, encontrándose con litologías del tipo pórfidos e intrusivo, además de fallas en el macizo rocoso.

Figura 12 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-050



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

Sondaje DDH 23-056

En el sondaje DDH-U-RAE-23-056 se emplearon brocas de tipo Hardcore y Boyles, alcanzando una profundidad total de 399.45 m.

4.2.1.5. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-056

El sondaje con la broca Hardcore X10 alcanzó una profundidad de 229.70 m con un total de 15 turnos, tal y como se puede observar en la tabla 8.

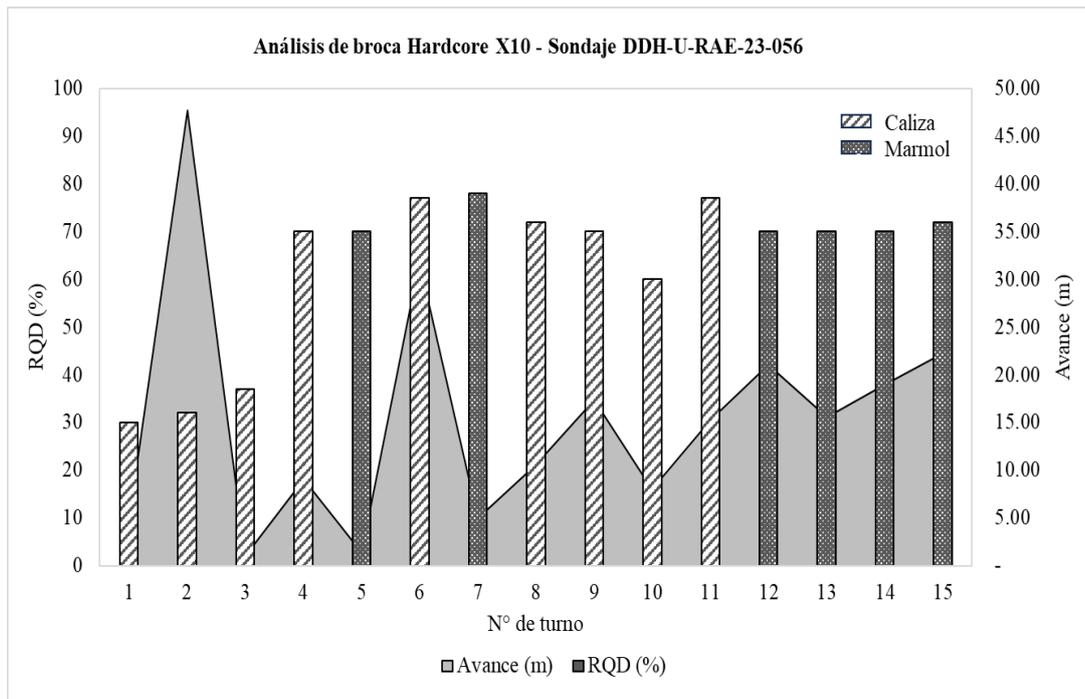
Tabla 8 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-056

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0.00	4.70	4.70	30	Calizas
2	4.70	52.40	47.70	32	Calizas
3	52.40	53.45	1.05	37	Calizas
4	53.45	62.50	9.05	70	Calizas
5	62.50	63.90	1.40	70	Mármol
6	63.90	95.75	31.85	77	Calizas
7	95.75	100.70	4.95	78	Mármol
8	100.70	111.25	10.55	72	Calizas
9	111.25	128.65	17.40	70	Calizas
10	128.65	136.65	8.00	60	Calizas
11	136.65	151.95	15.30	77	Calizas
12	151.95	172.95	21.00	70	Mármol
13	172.95	188.47	15.52	70	Mármol
14	188.47	207.40	18.93	70	Mármol
15	207.40	229.70	22.30	72	Mármol

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

En la figura 13 se puede observar los valores de RQD a partir del turno 4, son superiores al 50%, y se pudo identificar zonas de calizas y mármol.

Figura 13 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-056



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

4.2.1.6. Análisis de broca Boyles - DDH-23-056

A partir de los 229.70 m de profundidad se empleó una broca de marca Boyles, alcanzando una profundidad total de 399.45 m, en un total de 22 turnos, tal y como se puede observar en la tabla 9. Se pudo identificar litologías tipo mármol, mármol skarnizado, endoskarn, sub volcánico e intrusivo.

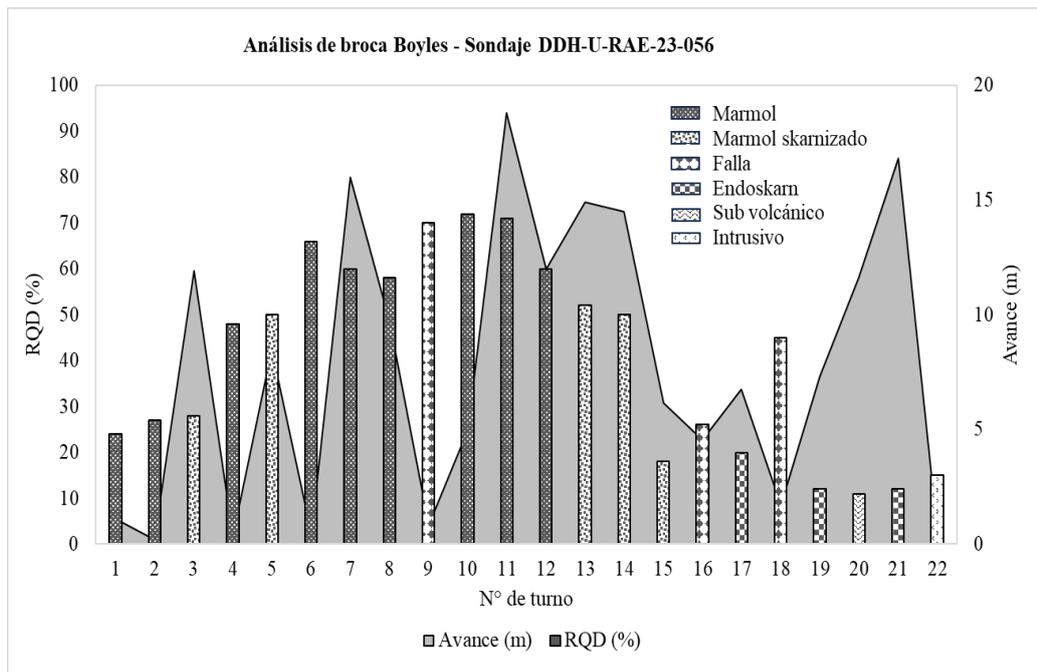
Tabla 9 Análisis de la broca Boyles – Sondaje DDH-U-RAE-23-056

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	229.70	230.80	1.10	24	Mármol
2	230.80	231.00	0.20	27	Mármol
3	231.00	242.90	11.90	28	Mármol skarnizado
4	242.90	243.25	0.35	48	Mármol
5	243.25	251.73	8.48	50	Mármol skarnizado
6	251.73	252.20	0.47	66	Mármol
7	252.20	268.20	16.00	60	Mármol
8	268.20	278.00	9.80	58	Mármol
9	278.00	278.85	0.85	70	Falla
10	278.85	283.80	4.95	72	Mármol
11	283.80	302.60	18.80	71	Mármol
12	302.60	314.60	12.00	60	Mármol
13	314.60	329.50	14.90	52	Mármol skarnizado
14	329.50	344.00	4.50	50	Mármol skarnizado
15	344.00	350.15	6.15	18	Mármol skarnizado
16	350.15	354.70	4.55	26	Falla
17	354.70	361.45	6.75	20	Endoskarn
18	361.45	363.15	1.70	45	Falla
19	363.15	370.45	7.30	12	Endoskarn
20	370.45	382.05	11.60	11	Sub volcánico
21	382.05	398.85	16.80	12	Endoskarn
22	398.85	399.45	0.60	15	Intrusivo

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

En la figura 14 se puede observar que a partir de los 314.60 m los valores de RQD empiezan a decrecer con valores menores al 52%.

Figura 14 Análisis de la broca Boyles – Sondaje DDH-U-RAE-23-056



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

Sondaje DDH 23-064

4.2.1.7. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-064

En el sondaje DDH-U-RAE-23-064 se realizaron 19 turnos, alcanzando una profundidad de 224.85 m, identificando en el último tramo una litología de tipo mármol skarnizado, tal y como se puede observar en la tabla 10.

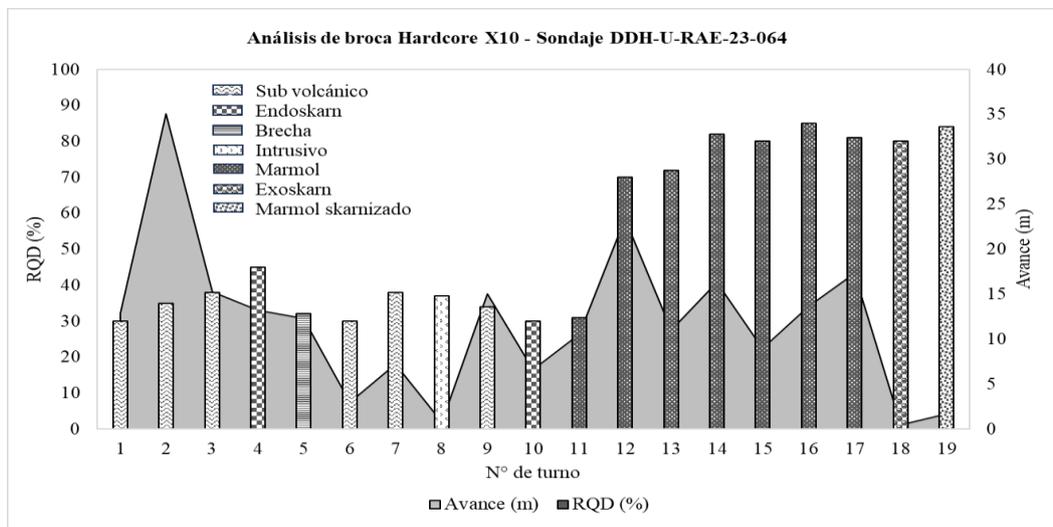
Tabla 10 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-064

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0.00	12.90	12.90	30	Sub volcánico
2	12.90	48.00	35.10	35	Sub volcánico
3	48.00	63.25	15.25	38	Sub volcánico
4	63.25	76.50	13.25	45	Endoskarn
5	76.50	88.80	12.30	32	Brecha
6	88.80	91.80	3.00	30	Sub volcánico
7	91.80	99.05	7.25	38	Sub volcánico
8	99.05	99.80	0.75	37	Intrusivo
9	99.80	114.80	15.00	34	Sub volcánico
10	114.80	121.45	6.65	30	Endoskarn
11	121.45	132.00	10.55	31	Mármol
12	132.00	155.40	23.40	70	Mármol
13	155.40	166.40	11.00	72	Mármol
14	166.40	182.75	16.35	82	Mármol
15	182.75	191.75	9.00	80	Mármol
16	191.75	205.40	13.65	85	Mármol
17	205.40	222.70	17.30	81	Mármol
18	222.70	223.15	0.45	80	Exoskarn
19	223.15	224.85	1.70	84	Mármol skarnizado

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

Se puede observar en la figura 15 que a partir del turno 12, los valores de RQD se mantienen con valores superiores al 70%, identificándose en ese tramo del macizo rocoso, litologías de tipo mármol y mármol skarnizado.

Figura 15 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-064



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

Sondaje DDH 23-069

4.2.1.8. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-069

En el sondaje DDH-U-RAE-23-069 se realizaron 22 turnos, alcanzando una profundidad de 223.50 m, hasta encontrar una litología de tipo mármol skarnizado, tal y como se puede observar en la tabla 11.

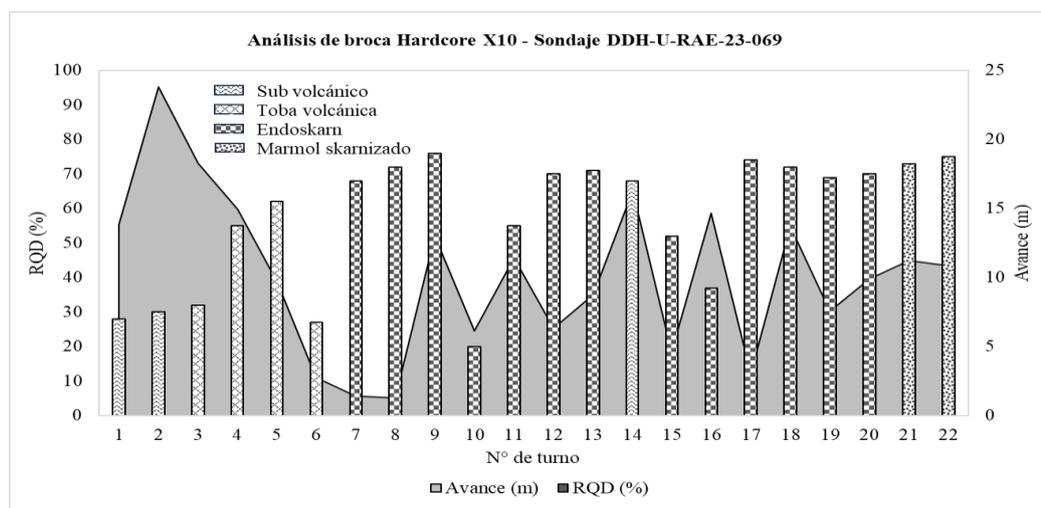
Tabla 11 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-069

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0.00	13.85	13.85	28	Sub volcánico
2	13.85	37.65	23.80	30	Sub volcánico
3	37.65	55.95	18.30	32	Toba volcánica
4	55.95	70.90	14.95	55	Toba volcánica
5	70.90	80.55	9.65	62	Toba volcánica
6	80.55	83.30	2.75	27	Toba volcánica
7	83.30	84.70	1.40	68	Endoskarn
8	84.70	86.00	1.30	72	Endoskarn
9	86.00	99.00	13.00	76	Endoskarn
10	99.00	105.15	6.15	20	Endoskarn
11	105.15	116.55	11.40	55	Endoskarn
12	116.55	122.90	6.35	70	Endoskarn
13	122.90	131.65	8.75	71	Endoskarn
14	131.65	147.95	16.30	68	Sub volcánico
15	147.95	152.55	4.60	52	Endoskarn
16	152.55	167.20	14.65	37	Endoskarn
17	167.20	170.25	3.05	74	Endoskarn
18	170.25	183.95	13.70	72	Endoskarn
19	183.95	191.50	7.55	69	Endoskarn
20	191.50	201.40	9.90	70	Endoskarn
21	201.40	212.65	11.25	73	Mármol skarnizado
22	212.65	223.50	10.85	75	Mármol skarnizado

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

En la gráfica 16 se puede observar que los niveles de RQD que se alcanzan a partir de los 170.25 m de profundidad son valores cercanos al 70 %, identificándose litologías del tipo endoskarn y mármol skarnizado.

Figura 16 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-069



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

Sondaje DDH 23-074

4.2.1.9. Análisis de broca Hardcore X10 - DDH-23-074

En el sondaje DDH-U-RAE-23-074 se realizaron 16 turnos, alcanzando una profundidad de 257.75 m, tal y como se observa en la tabla 12.

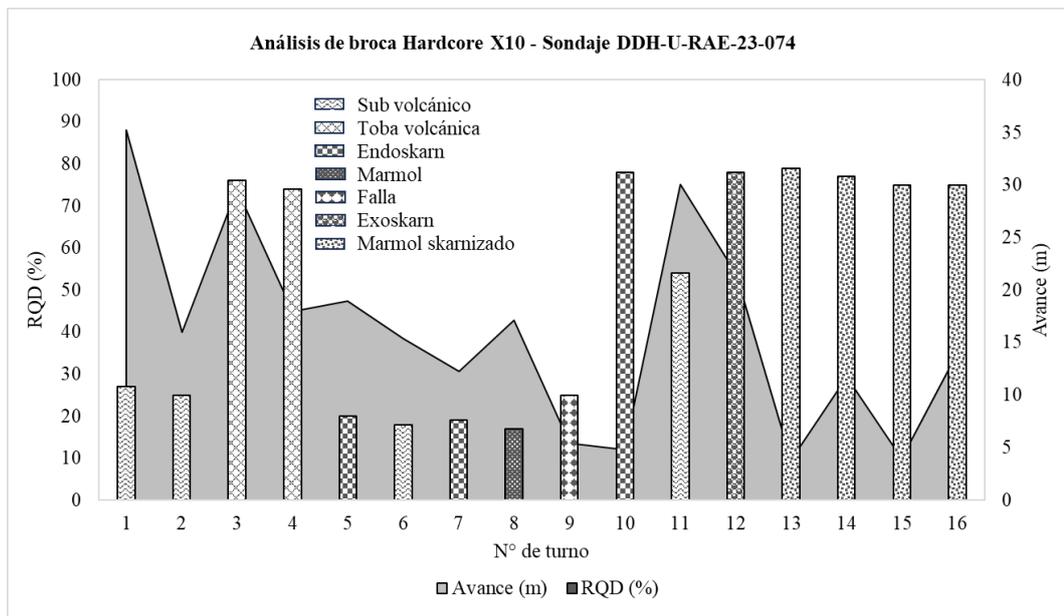
Tabla 12 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-074

Turno	Metros de profundidad (m)		Avance (m)	RQD (%)	Litología
	Desde	Hasta			
1	0.00	35.20	35.20	27	Sub volcánico
2	35.20	51.15	15.95	25	Sub volcánico
3	51.15	80.75	29.60	76	Toba volcánica
4	80.75	98.70	17.95	74	Toba volcánica
5	98.70	117.65	18.95	20	Endoskarn
6	117.65	133.00	15.35	18	Sub volcánico
7	133.00	145.25	12.25	19	Endoskarn
8	145.25	162.40	17.15	17	Mármol
9	162.40	167.80	5.40	25	Falla
10	167.80	172.60	4.80	78	Endoskarn
11	172.60	202.65	30.05	54	Sub volcánico
12	202.65	224.20	21.55	78	Exoskarn
13	224.20	228.00	3.80	79	Mármol skarnizado
14	228.00	239.75	11.75	77	Mármol skarnizado
15	239.75	243.75	4.00	75	Mármol skarnizado
16	243.75	257.75	14.00	75	Mármol skarnizado

Nota: Datos recopilados de los sondajes.

La figura 17 representa los valores de RQD calculado para cada turno, y en la que se puede observar, que a partir del turno 12, se alcanzan valores superiores al 70%.

Figura 17 Análisis de la broca Hardcore X10 – Sondaje DDH-U-RAE-23-074



Nota: El área bajo la curva representa el avance y las barras al RQD.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Análisis de los metros de avance por broca

En el mes de mayo se realizó un total de 777, 4 m de perforación correspondientes a los sondajes DDH-U-RAE-23-029 y DDH-U-RAE-23-043, sin embargo, los valores reportados por la broca Hardcore X10 alcanzaron un valor de 4.05 m/turno, siendo en menor valor reportado en los 3 meses de monitoreo, por otro lado, en el mes de julio, se reportaron los mayores valores de metros de avance, con un valor de 16.1 m/turno, sin embargo los metros total de avance en dicho mes fueron los más bajos, con un total de 674.1 m de perforación del macizo rocoso.

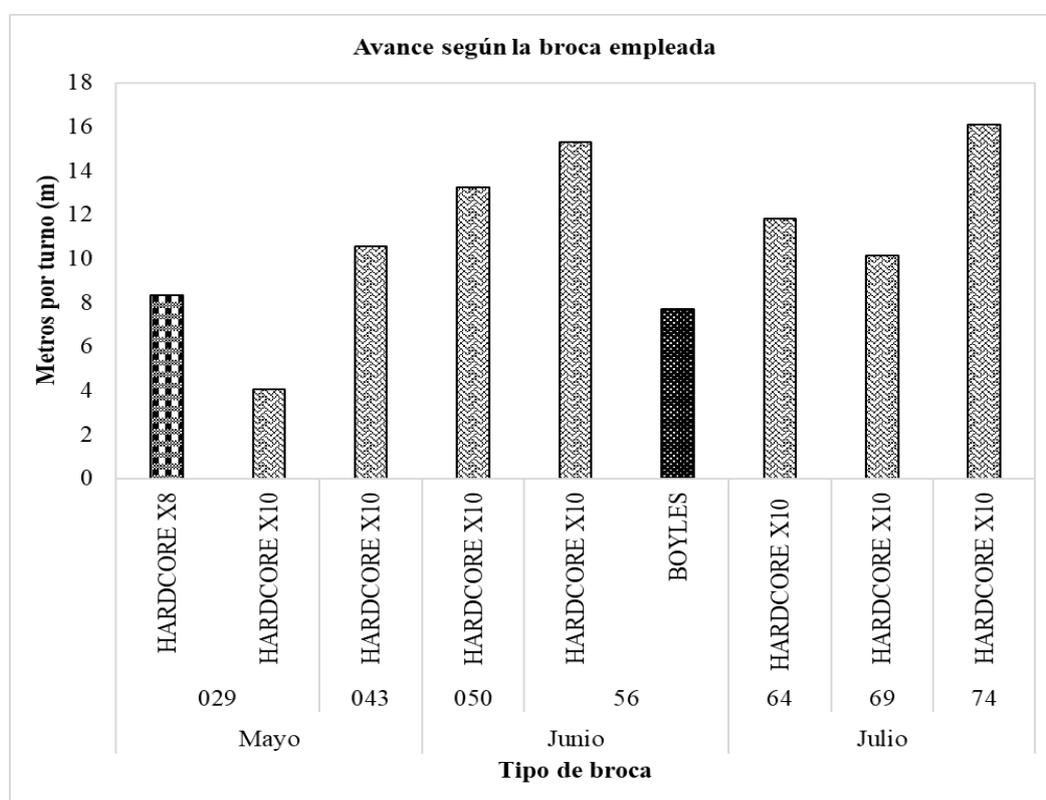
Tabla 13 Comparativa de metros de avance según los meses y brocas

Periodo	Sondaje	Broca	Turnos	Metros de Avance	Metros/Turno
Mayo	029	HARDCORE X8	17	141.6	8.3294
		HARDCORE X10	63	255.2	4.0508
	043	HARDCORE X10	36	380.65	10.5736
Junio	050	HARDCORE X10	25	330.9	13.2360
	056	HARDCORE X10	15	229.7	15.3133
		BOYLES	22	169.75	7.7159
Julio	064	HARDCORE X10	19	224.85	11.8342
	069	HARDCORE X10	22	223.5	10.1591
	074	HARDCORE X10	16	257.75	16.1094

Nota: Datos recopilados de los sondeos presentados previamente.

La figura 18 representa los metros de avance por cada tipo de broca empleada en los distintos sondeos para cada turno, identificando la mejor performance de la broca tipo Hardcore X10, seguido de la broca Hardcore X8 con un valor de 8.33 m/turno, y el tipo Boyles presentó la más baja performance con un valor de 7.72 m/turno.

Figura 18 Comparativa de metros de avance según los meses y brocas



Nota: Las barras representan los metros por turno.

4.3.2. Análisis de los costos por metro de avance

La tabla 14 representa la evaluación de los costos de perforación diamantina teniendo en cuenta solo costo de las brocas de perforación empleadas en cada sondaje, teniendo en cuenta que los costos de operación y mantenimiento se van a mantener constantes para cada tipo de broca lo cual nos permite realizar una evaluación en \$/m de avance. Según la tabla mencionada, se observa un valor de 5.78 \$/m de avance en el sondaje DDH-U-RAE-23-043 empleando una broca tipo Hardcore X10, siendo estos valores los más representativos, por otro lado, los valores de más costo en perforación fue el uso de la broca Hardcore X8 con un ratio de 13.42 \$/m.

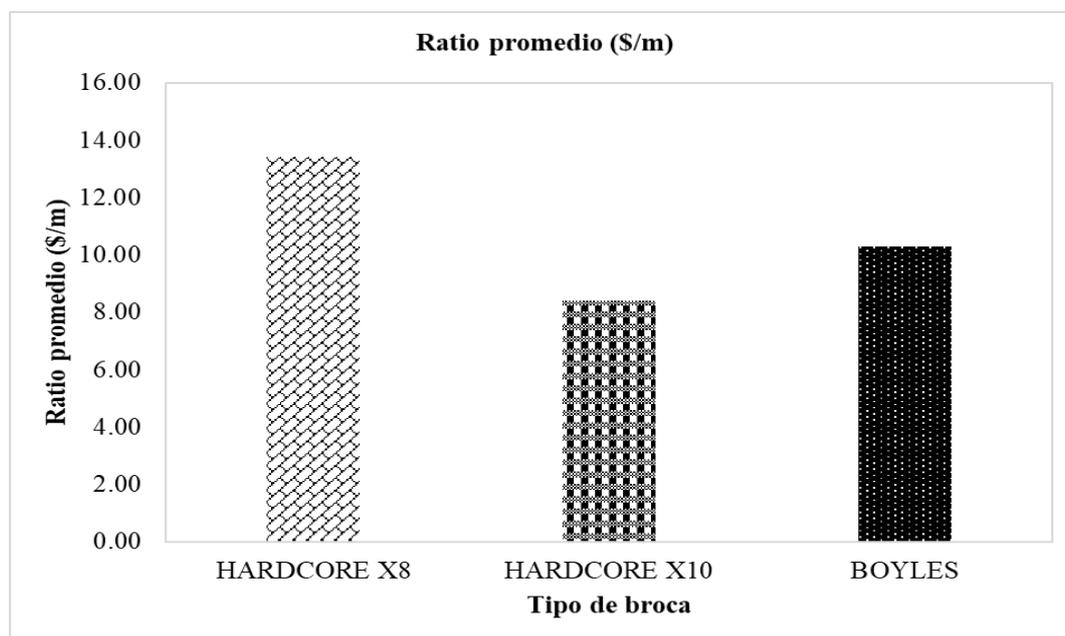
Tabla 14 *Comparativa de costos por metros de avance según los meses y brocas*

Periodo	Sondaje	Broca	Costo (\$)	Ratio (\$/m)
Mayo	029	HARDCORE X8	1900	13.42
		HARDCORE X10	2200	8.62
	043	HARDCORE X10	2200	5.78
Junio	050	HARDCORE X10	2200	6.65
	056	HARDCORE X10	2200	9.58
		BOYLES	1750	10.31
Julio	064	HARDCORE X10	2200	9.78
	069	HARDCORE X10	2200	9.84
	074	HARDCORE X10	2200	8.54

Nota: Datos recopilados de los sondajes presentados previamente.

Para poder evaluar los distintos tipos de brocas, se realizó un promedio de los ratios de avance para los 3 tipos de brocas empleadas, en la cual podemos observar de manera comparativa la mejor performance de la broca Hardcore X10, teniendo en cuenta que para los distintos tipos de sondajes se identificaron litologías similares del tipo carbonatos como calizas y mármoles, además de sub volcánico, endoskarn, exoskarn, mármol skarnizado, toba volcánica, intrusivo, pórfidos, además de fallas.

Figura 19 Comparativa de costos por metros de avance según los meses y brocas



Nota: Las barras representan los costos por metros de avance.

4.4. Discusión de resultados

Se llevó a cabo la perforación diamantina de 7 puntos de veta Margot de la CIA Minera Raura, las cuales correspondieron a los meses de mayo, junio, y julio del año 2024, con la finalidad de identificar los distintos tipos de litologías, alteraciones, y mineralizaciones asociadas a dicha veta. En el mes de mayo de 2024 se llevaron a cabo 2 sondajes, denominados DDH 23-029 y DDH 23-043 en el cual se emplearon 2 tipos de brocas de la misma marca (Hardcore X8, y X10). Los primeros metros de avance del sondaje DDH 23-029, identificaron minerales del tipos caliza y mármol, y se llevó a cabo con la broca Hardcore X8, logrando alcanzar 141.64 m de avance en un total de 17 turnos, observándose que a partir del turno 16, tantos los metros de avance como el valor de RQD (%), disminuyeron notoriamente, por lo que fue necesario cambiar de broca a un tipo Hardcore X10. A partir de los 141.60 m de perforación se avanzó con dicha broca,

hasta una profundidad de 396.8 m realizados en 63 turnos, con un total de 255.2 metros perforados de macizo rocoso, además se puede observar que la broca en los últimos tramos de la perforación, presentaron valores altos de RQD(%), En el mes de mayo se puede observar que la broca Hardcore X10 presentó una mejor performance de avance y de calidad del testigo extraído, con respecto a la broca Hardcore x8, por lo cual, a partir de ese análisis se dejó de usar dicha broca, presentando los valores más costosos de ratio de perforación, con un valor de 13.42 \$/ m.

Con respecto al sondaje DDH 23-043 se llevó a cabo empleando broca Hardcore X10, que, con un total de 36 turnos, alcanzó una profundidad de 380.65m, identificando litologías de tipo Mármol skarnizado, Sub volcánicos, endoskarn, toba volcánica, e intrusivos. Los metros de avance en este sondaje, fueron los mayores que se reportaron durante el monitoreo de los 7 sondajes realizados, además, tomando en cuenta un costo de broca de 2200\$ se estimó un ratio de 5.78 \$/m, siendo uno de los valores más representativos que se pudieron calcular con respecto a los costos de broca por metro de avance. El análisis de los tipos de broca empleados en el mes de mayo para los tipos de sondaje antes mencionados, demuestran notoriamente que la broca Hardcore X10 presenta valores más económicos de costos por metros de avance, por lo que a partir de este análisis quedo descartado el uso de la broca Hardcore X8.

En el mes de junio del 2024, se llevaron a cabo los sondajes DDH 23-050, y DDH 23-056, empleando brocas del tipo Hardcore X10, y Boyles. El sondaje DDH 23-050 se realizó con una broca del tipo Hardcore X10, que con un total de 25 turnos alcanzó 330.90 m de avance, identificando litologías del tipo calizas, marmol, exoskarn, pórfidos e intrusivos. El análisis de los ratios de perforación

en función del costo de la broca, estimaron un valor de 6.65 \$/m, además de ello, se pudo observar en el análisis de la data de RQD y metros de avance, que la broca alcanzó los resultados esperados de los metros de avance en función de los costos.

Otro de los sondajes realizados en el mes de junio, corresponde al DDH 23-056, en la cual se emplearon 2 tipos de brocas, la Hardcore X10 y la del tipo Boyles, la cual se introdujo a la operación, con la finalidad de evaluar su performance, teniendo en cuenta los ratios de avance en función de costos. La perforación con la broca Hardcore X10 en este sondaje, fue hasta los 229.70 m de profundidad alcanzados en un total de 15 turnos, identificándose litologías del tipo caliza, marmol, exoskarn, pórfidos, e intrusivos. Se debe tener en cuenta que en los distintos tipos de sondajes se han encontrado fallas y brechas que han generado testigos con valores de RQD bastantes bajos. En este tramo de perforación la broca Hardcore X10 alcanzó un ratio de 9.58\$/ turno, por lo cual permitió evaluar un tipo de broca de marca Boyles, teniendo en cuenta que el ratio de la broca Hardcore X10 del mes de junio fue superior a los alcanzados en el mes de mayo. El análisis de la broca Boyles en el sondaje DDH 23-056 estimó un ratio de 10.31 \$/m, calculados para 22 turnos y 110.45 m de avance.

Los resultados del sondaje DDH 23-056 con respecto a los metros de avance y los ratios, teniendo en cuenta un precio de broca Boyles menor a la Hardcore, con un valor de 300\$ por debajo del precio de la broca Hardcore X10, determinaron el mayor costo que significa el uso de la broca Boyles, la cual se ve reflejada en los ratios y en los metros de avance.

En el mes de julio del 2024 se analizaron los valores de RQD y metros de avance de los sondajes DDH 23-064, DDH 23-069, y DDH 23-074, las cuales se llevaron a cabo empleando un tipo de broca Hardcore X10, dado que tanto las

brocas Hardcore X8 y Boyles, presentaron estimaciones de ratios menores. El sondaje DDH 23-064 alcanzó una profundidad de 224.85 m de avance en un total de 19 turnos, en la cual se identificaron litologías del tipo sub volcánico, endoskarn, marmol, exoskarn y marmol skarnizado, además de presencias de fallas y brechas, las cuales perjudicaron la extracción de los testigos. Teniendo en cuenta la estimación del ratio, mantiene un valor de 9.78 \$/m, valor que mantiene correlación con los del mes de junio, con respecto al mismo tipo de broca.

El sondaje DDH 23-069 realizado con un tipo de broca Hardcore X10, alcanzó una profundidad de 223.50 m en un total de 22 turnos, además de estimarse un ratio de 9.84\$/m de avance, en la cual se identificaron litologías del tipo tobas volcánicas, endoskarn, sub volcánicos y mármol skarnizado. Por último, el sondaje DDH 23-074 realizado con la broca antes mencionada, ratificó las estimaciones de los ratios, con un valor de 8.54 \$/m, con un total de 16 turnos realizados y 257.75 m de avance.

El análisis de los valores alcanzados en los distintos tipos de sondajes realizados a la veta Margot, demostraron la mejor adaptación de la broca Hardcore X10 al tipo de terreno, la cual se ve reflejada en los ratios estimados para cada broca.

El trabajo de investigación realizado tiene similitud con el trabajo presentado por Otiniano, 2021, en la cual realizó estudios de diversos tipos de brocas, sin embargo, el autor evaluó brocas Fordia - Kraken y Coretech – Fórmula. Un aspecto comparativo importante, se puede evidenciar en que los costos por metro lineal perforado son bastantes similares a los obtenidos en la presente tesis, señalando valores de 9.69 US \$/m para línea HQ, empleando broca Kraken. La importancia de evaluar los materiales de perforación tiene como

finalidad optimizar los costos por metro lineal perforado, teniendo en cuenta que las litologías para cualquier terreno son muy distintas unas de otras, e intervienen factores geológicos que aportan distintas características al terreno, es por ello que fue necesario evaluar los distintos tipos de materiales empleados en la perforación diamantina.

CONCLUSIONES

- En los distintos tipos de sondajes realizados a la veta Margot de la Cía Minera Raura en los meses de mayo, junio y julio de 2024, se identificaron diversas litologías, como calizas, mármol, sub volcánico, endoskarn, exoskarn, toba volcánica, pórfidos e intrusivos. La mayor distribución correspondió a los carbonatos, como calizas y mármol, en los 7 sondajes realizados. Esto demuestra que la litología influyó en la perforación, dado que las brocas y el rendimiento de los sondajes deben adaptarse a las características de estas formaciones.
- Teniendo en cuenta los metros de avance, se observó que el sondaje DDH-U-RAE-043, realizado con la broca Hardcore X10, alcanzó la mayor longitud del testigo con 380.65 m de avance en 36 turnos operados. Además, en el sondaje DDH-U-RAE-056, la broca Hardcore X10 mostró la mejor eficiencia con un avance de 15.31 metros por turno, estimado en un total de 15 turnos. Estos resultados confirman que la broca Hardcore X10 tiene una influencia positiva en el rendimiento de la perforación diamantina, logrando un avance significativo en ambos aspectos, tanto en distancia como en eficiencia por turno.
- En cuanto a los costos operativos, al asumir los costos promedio de las brocas Hardcore X8 (1900 \$), Hardcore X10 (2200 \$), y Boyles (1750 \$), se determinó que el costo más bajo por metro perforado fue de 5.78 \$/m en el sondaje DDH-U-RAE 23-043, utilizando la broca Hardcore X10, mientras que el mayor costo se presentó en el sondaje DDH-U-RAE 23-029, con un costo de 13.42 \$/m utilizando la broca Hardcore X8. Además, se estableció que el ratio promedio de la broca Hardcore X10 fue de 8.40 \$/m, lo que demuestra que esta broca tiene un mejor rendimiento en términos de costos operativos en comparación con las otras brocas evaluadas (Hardcore X8 y Boyles).

RECOMENDACIONES

- Evaluar la contribución de la adición y tipo de aditivos en la perforación diamantina, con respecto a los metros de avance por turno, y la calidad del testigo extraído.
- Evaluar otros tipos de brocas que puedan ser de menor costo y permitan obtener ratios de avance mucho mayor.
- En base a los sondajes realizados, se puede realizar el modelo geológico del depósito, y realizar una evaluación geometalúrgica del yacimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, B., & Coba, V. (2021). *Influencia de los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso para disminuir costos por desviación de sondajes en un proyecto minero de Cajabamba 2020*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme.
- Becerra, J. (2021). *Gestión de la perforación diamantina a través de metodología ágiles (SCRUM-KANBAN)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bejarano, V. (2017). *Proceso de perforación diamantina y logueo geológico en el proyecto minero la Granja Rio Tinto en Querocoto - Chota – Cajamarca*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Cansaya, B. (2019). *Selección y empleo de coronas impregnadas en la perforación diamantina*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Castilla, J., & Herrera, J. (2012). *El Proceso de Exploración Minera Mediante Sondeos*. Madrid: Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.10695>
- Condori, A., & Satalaya, R. (2022). *Propuesta de optimizar la exploración utilizando perforación diamantina en la contrata minera MDH PD SAC – Unidad minera Cerro de Pasco, 2022*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Cordero, J. (2013). *Evaluación técnico económico para la aplicación del método Sublevel stoping con taladros largos en la mina Catuva - Compañía Minera Raura S.A.* Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Fernandez, R., Barrio, R., & Tessone, M. (2015). *Perforaciones en exploración minera*. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.

- Hernández, P., & Arias, F. (2014). Sistema de prácticas profesionales sobre Gestión de Procesos en la Universidad del Magdalena. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 54-64. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.299>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill educación.
- Herrera, J., & Castilla, J. (2012). *Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos*. Madrid: Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.10517>
- Huang, K., Li, H., Yang, Y., Li, G., & Chen, H. (2023). Rock drillability measurement and grading method for a polycrystalline diamond composite bit. *Journal of Applied Geophysics*, 215(105129). <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.105129>
- Huisa, J. (2023). *Optimización de perforación diamantina mediante el uso de brocas Fordia en el Tajo Norte, Rampa 1-NV 3900 Sonda-67 empresa Geodrill S.A.C. Compañía Minera Antapaccay - Espinar - Cusco*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Inga, C. (2016). *La geomécanica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Mamani, E. (2022). *Anteproyecto para la instalación de planta de fabricación de brocas para perforación diamantina en la ciudad de Arequipa - 2022*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Mantilla, V. (2019). *Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

- Otiniano, V. (2023). *Reducción de costos de perforación diamantina mediante la implementación de brocas Kraken en un proyecto minero de Pataz - 2021*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/34199/Otiniano%20Paredes%2c%20Victor%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ovalle, L. (2019). *Eficiencia operativa en los procesos de perforación, voladura, carguío, acarreo y sostenimiento en la Unidad Minera Raura - Huanuco*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Perez, W. (2020). *Planteamiento de un modelo probabilístico para pronosticar riesgos de accidentes en la Compañía Minera Raura S.A.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Riquelme, D. (2017). *Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles, en las Actividades de Perforación Diamantina, basado en la Norma OHSAS 18001:2007 en la Unidad Minera Cerro Lindo*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Salas, A. (2016). *Análisis y mejora de la calidad en el proceso de perforación en diamantina utilizando la metodología DMAIC*. Santiago de Chile: Universidad Andres Bello.
- Soto, C. (2022). *Medición de sondajes diamantinos para la evaluación de trayectoria de pozos de exploración geológica – Unidad Minera EL PORVENIR - NEXA*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Tamayo, M. (2006). *Diccionario de la investigación científica* (Segunda ed.). Limusa.
- Uribe, E. (2014). *Exploraciones aledañas y descubrimiento de nuevos recursos que permiten una visión de ampliación de la producción en Mina Raura*. Lima: INGEMMET.

- Vargas, E. (2022). *Optimización de los parámetros de perforación con el sistema diamantina para el control de la desviación de la trayectoria del taladro, en la unidad operativa Yauricocha, CIA. sierra Metals Inc, Yauyos – Lima, 2020.* Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Williamson, D. (2013). Fundamentos de los fluidos de perforación. *UNAM*, 25(1), 67-69.
<https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/4676/Asignaturas/1458/Archivo2.3223.pdf>
- Ye, S., Song, X., Blunt, M., & Bijeljic, B. (2024). Domain adaptation neural network based prediction of real-time drill bit tooth wear. *Geoenergy Science and Engineering*, 240(213041). <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.213041>
- Zhiming, W., Wucheng, S., Jifeng, K., Yakun, T., Songcheng, T., & Longchen, D. (2024). Influence of drilling technology on wear evolution of impregnated diamond bits. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 123(106793). <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2024.106793>

ANEXOS

Anexo 1

Análisis de data Margoth (Mayo)

DDH-U-RAE-23-029							DDH-U-RAE-23-043						
Esesor	Litología	Broca	N Broca	Bentonita	VIS	CHP Ultra	Esesor	Litología	Broca	N Broca	Bentonita	VIS	CHP Ultra
De 0.00 a 141.60	Calizas gris oscuras con mármol gris claro, a la base la roca se encuentra intensamente fracturada y se observa una veta de 30cm de espesor de calcita blanca con py diseminada, seguida de una falla de 20 cm, en este tramo se cambia la broca.	HARDCORE X8	337854	142.00		54.00	De 0.00 a 256.25		HARDCORE X10	337779	204.00	20.00	47.00
De 141.60 a 303.20	Hacia el tope la roca se encuentra intensamente fracturada, en los 10 primeros metros se reporta veta de calcita rodocrosita de 1 m de espesor, seguida de calizas y mármol, se reporta un tramo de fallas con mármol desde 270.50 m hasta 279.65 m, este tramo se encuentra intensamente fracturado a fracturado, posteriormente el mármol se vuelve skarnizado y se intercala con niveles de exoskarn verde claro.	HARDCORE X10	337779	240.00	7.00	82.00							
De 303.20 a 396.80	Este tramo empieza con mármol skarnizado y niveles de exoskarn, a medida que se profundiza en el sondaje se observa una intercalación de endoskarn y subvolcánicos, se reporta 2 m de fallas y panizo. En el tramo 363.60 m a 368.80 m se reporta un cuerpo subvolcánico descrito como pórfido de cuarzo-monzonita, culmina con 30 m aproximadamente de un cuerpo intrusivo de intensamente a moderadamente fracturado.	HARDCORE X10	326074	150.00	18.00	34.00	De 256.25 a 380.65		HARDCORE X8	331595	276.68	38.00	62.00

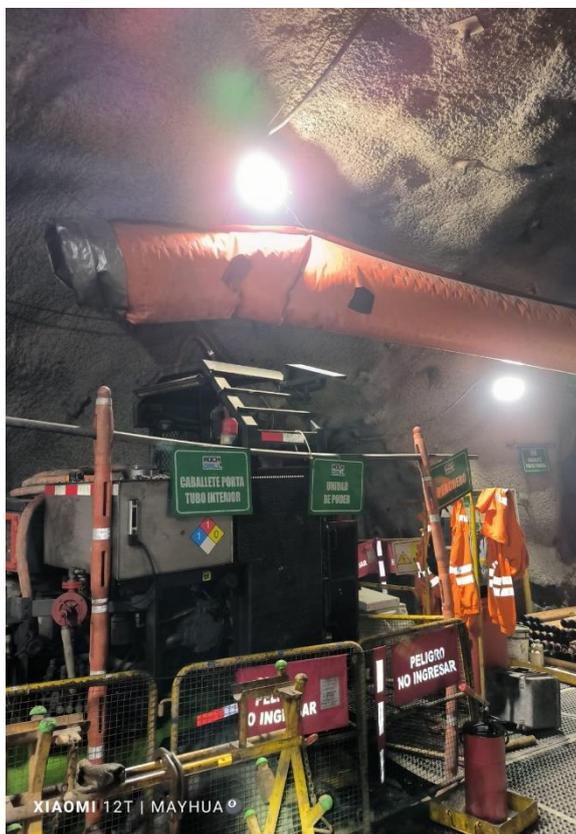
Anexo 2

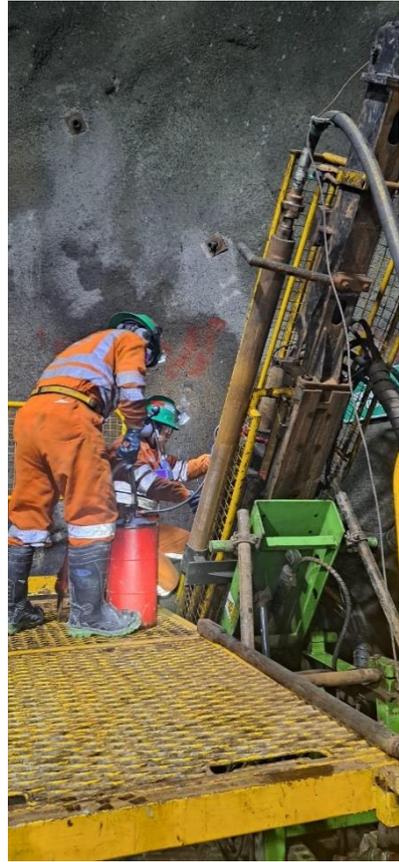
Análisis de data Margoth (Junio)

Sondaje	Metraje desde	Metraje hasta	Descripción litológica	Litología (figura)	Aditivos									
					ROD (figura)	Broca	N Broca	Bentonita	kg	PAC	kg	Polímero	kg	
DDH-U-RAE-23-050	-	-				HARDCORE X10	331595							
DDH-U-RAE-23-050	-	14.85	Caliza fracturada	Calizas gris oscuras	De fracturado-intensamente fracturado-fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-050	14.85	47.90	Fracturado	Calizas gris oscuras	De moderadamente fracturado-levemente fracturado-moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	44.00	VIS	8.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-050	47.90	49.15		Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X10	341149							
DDH-U-RAE-23-050	49.15	56.35		Calizas gris oscuras	Moderadamente a levemente fracturado	HARDCORE X10	341149							
DDH-U-RAE-23-050	56.35	57.95	Mármol fracturado	Mármol	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	50.00	VIS	6.00		CHP ULTRA	8.00
DDH-U-RAE-23-050	57.95	83.60	fracturado, se posa una falla y se pierde retorno	Calizas gris oscuras	De moderadamente a levemente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	66.00	VIS	10.00		CHP ULTRA	12.00
DDH-U-RAE-23-050	83.60	107.65	Mármol fracturado	Mármol	De moderadamente fracturado a levemente fracturado, seguida de moderadamente fracturado, luego 1 m de intensamente fracturado, moderadamente y levemente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	100.00	VIS	7.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-050	107.65	126.55	Fracturado	Mármol	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	44.00	VIS	10.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-050	126.55	136.35	Mármol fracturado	Mármol	De moderado a levemente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	25.00				CHP ULTRA	5.00
DDH-U-RAE-23-050	136.35	143.85	Mármol muy fracturado	Mármol	De fracturado a intensamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	25.00				CHP ULTRA	5.00
DDH-U-RAE-23-050	143.85	160.15		Mármol	De intensamente fracturado a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149							
DDH-U-RAE-23-050	160.15	165.90	Mármol fracturado	Mármol	De moderadamente a intensamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	25.00				CHP ULTRA	3.00
DDH-U-RAE-23-050	165.90	188.25		Mármol	De intensamente fracturado a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149							
DDH-U-RAE-23-050	188.25	208.50	Mármol fracturado	Mármol con niveles de endoskam verde claro	De moderadamente a intensamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	25.00	VIS	5.00		CHP ULTRA	7.00
DDH-U-RAE-23-050	208.50	226.85		Mármol con niveles de endoskam verde claro	De intensamente fracturado a fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-050	226.85	242.05	Mármol fracturado	Mármol con niveles de endoskam verde claro	De moderadamente a levemente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	25.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-050	242.05	251.25		Mármol con niveles de endoskam verde claro	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	4.00
DDH-U-RAE-23-050	251.25	255.80		Mármol con niveles de endoskam verde claro	De fracturado a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	326072						CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-050	255.80	258.60		Zona de fallas	De moderadamente fracturado a intensamente fracturado	HARDCORE X10	326072							
DDH-U-RAE-23-050	258.60	277.75		Mármol	De fracturado, intensamente fracturado y fracturado	HARDCORE X10	326072							
DDH-U-RAE-23-050	277.75	280.70		Zona de fallas	De fracturado a intensamente fracturado	HARDCORE X10	326072						CHP ULTRA	12.00
DDH-U-RAE-23-050	280.70	284.60	Fracturado con arena y panizo	Zona de fallas con niveles de endoskam verde claro	Intensamente fracturado	HARDCORE X10	326072	BENTONITA	50.00	VIS	5.00		CHP ULTRA	7.00
DDH-U-RAE-23-050	284.60	300.60		Subvolcánicos-Pórfido dacítico	Intensamente fracturado	HARDCORE X10	326072						CHP ULTRA	12.00
DDH-U-RAE-23-050	300.60	305.10		Subvolcánicos-Pórfido dacítico con fallas	Intensamente fracturado	HARDCORE X10	326072						CHP ULTRA	9.00
DDH-U-RAE-23-050	305.10	330.90	Fracturado	Intensamente fracturado	De fracturado a intensamente fracturado	HARDCORE X10	326072	BENTONITA	66.00	VIS	12.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-056	-	-		Calizas	Fracturado	HARDCORE X10	326072							
DDH-U-RAE-23-056	-	-		Calizas	Fracturado	HARDCORE X10	326072							
DDH-U-RAE-23-056	-	4.70		Calizas	Fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	1.00
DDH-U-RAE-23-056	4.70	52.40	Fracturado	Calizas	De intensamente fracturado a fracturado, moderadamente fracturado a intensamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	44.00	VIS	8.00		CHP ULTRA	8.00
DDH-U-RAE-23-056	52.40	53.45		Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X10	341149							
DDH-U-RAE-23-056	53.45	62.50		Calizas	De moderadamente a levemente fracturado	HARDCORE X10	341149							
DDH-U-RAE-23-056	62.50	63.90		Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	12.00
DDH-U-RAE-23-056	63.90	95.75	Fracturado	Calizas	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	66.00	VIS	12.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-056	95.75	100.70		Calizas	Levemente fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	2.00
DDH-U-RAE-23-056	100.70	111.25	Fracturado	Calizas	De levemente a fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	4.00
DDH-U-RAE-23-056	111.25	128.65		Calizas	De fracturado, intensamente fracturado y fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	5.00
DDH-U-RAE-23-056	128.65	136.65	Fracturado	Mármol	De intensamente fracturado a fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	44.00	VIS	10.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-056	136.65	151.95		Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X10	341149						CHP ULTRA	9.00
DDH-U-RAE-23-056	151.95	172.95	Fracturado	Mármol	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	341149	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-056	172.95	177.05		Mármol	Levemente fracturado	BOYLES UPS03	507434	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	3.00
DDH-U-RAE-23-056	177.05	188.75	Mármol silíceo	Mármol	De moderadamente a levemente fracturado	BOYLES UPS03	507434	BENTONITA	50.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	188.75	193.15	Fracturado	Mármol	Fracturado	BOYLES UPS03	507434	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	4.00
DDH-U-RAE-23-056	193.15	206.40	Mármol con tramos fracturado	Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X8	331549	BENTONITA	25.00	VIS	3.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	206.40	206.60		Mármol skarnizado	Levemente fracturado									
DDH-U-RAE-23-056	206.60	218.50	Fracturado	Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X8	331549	BENTONITA	44.00	VIS	8.00		CHP ULTRA	8.00
DDH-U-RAE-23-056	218.50	218.85		Mármol skarnizado	Levemente fracturado									
DDH-U-RAE-23-056	218.85	227.33		Mármol	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X8	331549	BENTONITA	50.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	7.00
DDH-U-RAE-23-056	227.33	227.80		Mármol skarnizado	Moderadamente fracturado									
DDH-U-RAE-23-056	227.80	243.80	Fracturado	Mármol	Moderadamente fracturado	HARDCORE X8	331549	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	4.00
DDH-U-RAE-23-056	243.80	253.60	Mármol fracturado	Mármol	De levemente a moderadamente fracturado	HARDCORE X8	331549	BENTONITA	25.00				CHP ULTRA	4.00
DDH-U-RAE-23-056	253.60	254.45		Falla	Intensamente fracturado									
DDH-U-RAE-23-056	254.45	259.40	Fracturado	Mármol	Fracturado-Intensamente fracturado-Fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	259.40	278.20	caliza fracturado	Mármol	De fracturado a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	25.00					
DDH-U-RAE-23-056	278.20	290.20	Fracturado	Mármol	Levemente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	44.00	VIS	8.00		CHP ULTRA	10.00
DDH-U-RAE-23-056	290.20	325.10	Mármol fracturado	Mármol skarnizado	Levemente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	50.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	325.10	339.60	Fracturado	Mármol skarnizado	De fracturado a levemente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	22.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	339.60	345.75	Arena con panizo	Mármol skarnizado	De levemente a fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	25.00				CHP ULTRA	5.00
DDH-U-RAE-23-056	345.75	350.30		Tramo de falla	Intensamente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	50.00				CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	350.30	357.05	Mineralizado	Tramos de fallas con endoskam	Intensamente fracturado	HARDCORE X10	326086						CHP ULTRA	7.00
DDH-U-RAE-23-056	357.05	358.75	Falla arena	Tramo de falla, panizo	Intensamente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	50.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	358.75	366.05		Endoskam	De intensamente a moderadamente fracturado	HARDCORE X10	326086						CHP ULTRA	7.00
DDH-U-RAE-23-056	366.05	377.65		Subvolcánico, pórfido dacítico, con niveles de endoskam	De moderadamente a fracturado, intensamente fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	50.00	VIS	4.00		CHP ULTRA	6.00
DDH-U-RAE-23-056	377.65	394.45		Endoskam con niveles de subvolcánicos, pórfido dacítico	De intensamente fracturado a fracturado	HARDCORE X10	326086						CHP ULTRA	7.00
DDH-U-RAE-23-056	394.45	395.05	Mármol silíceo	Intensamente fracturado	Fracturado	HARDCORE X10	326086	BENTONITA	25.00				CHP ULTRA	6.00

Anexo 4

Recopilación de imágenes de mina





Anexo 5

Logueo de testigos

