



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Metodología desarrollada para perforación a diamantina con
extracción de testigos, ejecutada en la fase de exploración geológica
avanzada para proyectos mineros”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

ROMÁN PULLA ANTONELLA HERNANDA

RIVERA QUEZADA HENRY SEBASTIÁN

Director:

ING. LEONARDO NÚÑEZ RODAS

CUENCA – ECUADOR

2023

DEDICATORIA

Dedico de manera especial, este logro tan importante a mi querida esposa Ana Paula, a mis dos hijas, Romina y Rafaela, pues ellas son el principal cimiento para la estabilidad de mi vida y mi paz interior. Además, son mi inspiración, mi motor y mi razón de esforzarme cada día de mi vida para dar lo mejor y ser su protector.

Sebastián Rivera

Este trabajo para la obtención del título en Ingeniera en Minas va dedicado a Dios y a la Virgen María Auxiliadora, por guiarme en el camino correcto y por nunca haberme abandonado; por darme valor para ser constante y no rendirme ante las adversidades de mi travesía. Lo dedico también a mis padres, Janeth Pulla y Hernán Román, por inculcarme valores éticos y humanos, por enseñarme lo valioso del amor propio y por ser mi fuente de inspiración y de mis logros a lo largo de mi carrera estudiantil. A mis hermanos, Mateo y Johnel Román, por ser los compinches en mis aventuras de ingeniera y permitirme ser la hermana mayor que aprende a querer y a entregarse por lo soñado. A Santiago Astudillo, por acompañarme en el inicio de mi carrera, por apoyarme completamente en mis días de estudios y por su amor incondicional.

Antonella Román

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, doy gracias a Dios por permitirme gozar plenamente de mi familia y por contar con su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria. También doy gracias a mis formadores por transmitirme sus conocimientos y por ayudarme a convertir en profesional. Gracias a mi madre querida Fernanda Quezada y a mi abuela Teresa Bermeo por inculcarme muchos valores, entre ellos, la perseverancia que me ayudó a no darme por vencido a pesar de las dificultades en el camino. También agradezco a mi madre por su esfuerzo diario, por su paciencia, por su dedicación y amor absoluto. Ha demostrado su preocupación por mí y su anhelo por verme convertido en profesional. Gracias a la compañía Romandrill por abrirme sus puertas y brindarme su confianza para poder realizar el presente trabajo de tesis.

Sebastián Rivera

Agradezco a Dios y a la Virgen por guiarme en el camino de la verdad y nunca dejarme desmayar ante las adversidades que se me presentaron en la vida. A mis padres por la dedicación y el amor con el que me educaron. Gracias a los excelentes valores transmitidos, hoy soy una mujer constante, soñadora y capaz de realizar todos los objetivos que me he propuesto a lo largo de mi trayecto. A mis hermanos, por cambiar mi forma de percibir la vida, por darme las mejores experiencias de amor y gratitud. A la Compañía Romandrill, por trasmitirme su experiencia, permitirme aprender y aportar con mis convicciones. A toda mi familia por brindarme sabiduría a lo largo de mi carrera profesional, por apoyarme en la toma de decisiones y permitirme crecer y convivir con personas extraordinarias. Al Ing. Leonardo Núñez, por la dedicación para transmitirme su conocimiento, por ser mi guía en este trayecto para la obtención del título de Ingeniera en Minas. A los Ingenieros Fernando Valencia, Federico Auquilla, Patricio Feijoo y Eduardo Luna, por ser una fuente de inspiración y valentía para seguirme capacitando.

Antonella Román

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	5
CONCEPTOS GENERALES	5
1.1. La exploración en procesos mineros	5
1.2. Perforación a diamantina.....	6
1.2.1. Método convencional	7
1.2.2. Método dominado por cable o Wireline.....	7
1.3. Datos generales de la Empresa Romandrill Cía. Ltda.....	7
1.3.1. Organigrama de la Empresa Romandrill Cía. Ltda.....	9
1.4. Equipos de perforación diamantina.....	12
1.4.1. Hydracore 2.000	13
1.4.2. Hydracore 4.000	14
1.4.3. Hydracore 5.000	16
1.4.4. Boart Longyear Lm-75.....	18
1.5. Equipo centrifugador de lodos de perforación	20
1.6. Herramientas y consumibles de perforación	23
1.6.1. Aditivos de perforación.....	23
1.6.1.1. Funciones de los aditivos de perforación	24
1.6.1.2. Tipos de aditivos	25

1.6.1.3. Densidad del fluido	28
1.6.1.4. Características medias de un lodo de perforación.....	28
1.6.2.1. Corona insertada o incrustada	29
1.6.2.2. Corona Impregnada.....	29
1.6.3. Escariador (Remer Shell)	30
1.6.4. Barras de perforación	30
1.6.5. Barras de revestimiento (Casing).....	31
1.6.6. Head Assembly (Cabezal de Perforación).	32
1.6.7. Bomba de lodo	33
1.6.8. Caja porta testigo.....	34
CAPÍTULO 2.....	36
DATOS DEL PROYECTO EJECUTADO	36
2.1. Ubicación	36
2.2. Geología y mineralización	36
2.3. Tiempos de perforación.....	36
2.4. Proceso de perforación a diamantina	40
2.5. Distribución de plataforma de perforación	41
2.6. Inicio de perforación	41
2.6.1. Etapa 1 (Pre-perforación).....	41
2.6.1.1. Instalación de la plataforma	42
2.6.1.2. Etapa 2 (Trayecto de perforación).....	45
2.6.1.3. Revestimiento.....	47
2.6.1.4. Procedimiento	48
2.6.1.5. Perforación con sistemas de orientación y desviación	48
2.6.1.5.1. Accesorios de orientación	48
2.6.1.5.2. Procedimiento	49
2.6.1.5.3. Accesorios de desviación	50

2.6.1.5.4. Procedimiento para verificación de desviación de pozo	50
2.6.1.6. Etapa 3 (Finalización de perforación)	50
2.6.1.7. Etapa 4 (Desmontaje del área)	50
2.6.1.7.1. Retiro de equipos.....	51
2.6.1.7.2. Retiro de materiales.....	51
2.6.1.7.3. Levantamiento de geomembrana y vigas	51
2.6.1.7.4. Desmantelamiento de la cubierta	51
2.6.1.7.5. Floculación de sólidos suspendidos totales (SST)	52
2.6.1.7.6. Disposición final de agua de perforación.....	52
2.6.1.7.7. Recolección de lodos.....	52
2.6.1.7.8. Recolección de desechos.....	52
2.6.1.8. Normativa del Equipo de Protección Personal (EPP).....	53
2.6.1.9. Medidas de seguridad aplicables al proceso de perforación	55
2.6.1.10. Parámetros influyentes en el proceso de perforación.....	56
2.6.1.11. Análisis de inconvenientes y soluciones presentados en el proceso de perforación a diamantina.....	58
2.6.1.12. Procedimiento de Obturación de pozo por presencia de acuífero.....	63
CAPÍTULO 3.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
3.1. Conclusiones	65
3.2. Recomendaciones.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Equipo de aire reverso marca Boart Logyear	6
Figura 1.2 Perforadora a diamantina Hydracore 2000	13
Figura 1.3 Perforadora a diamantina Hydracore 4000	15
Figura 1.4 Perforadora a diamantina Hydracore 5.000	17
Figura 1.5 Perforadora a diamantina LM-75	18
Figura 1.6 Equipo centrifugador de lodos.....	21
Figura 1.7 Diagrama de circuito cerrado de recirculación de agua para perforación	23
Figura 1.8 Porcentajes de composición básica aditivos de perforación.....	24
Figura 1.9 Caja porta testigos con núcleo consolidado.....	26
Figura 1.10 Embudo Marsh	27
Figura 1.11 Características medias de un fluido de perforación.....	28
Figura 1.12 Corona diamantada	29
Figura 1.13 Reaming Shell SS	30
Figura 1.14 Barra de perforación	31
Figura 1.15 Barra de revestimiento o Casing.....	31
Figura 1.16 Head Assembly	32
Figura 1.17 Core Borrel System	33
Figura 1.18 Bomba de lodos	34
Figura 1.19 Caja porta testigo	35
Figura 2.1 Proceso de perforación a diamantina.....	41
Figura 2.2 Plataforma de perforación	43
Figura 2.3 Armado de la plataforma	44
Figura 2.4 Cuadrilla de perforación	45

Figura 2.5 Cuadrilla de perforación	47
Figura 2.6 Equipo de protección personal completo Romandrill	55
Figura 2.7 Medidas de seguridad aplicables al proceso de perforación.....	56
Figura 2.8 Metodología de obturación de pozo por presencia de acuífero	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Trayectoria de trabajos ejecutados.....	10
Tabla 1.2. Características Hydracore 2.000	13
Tabla 1.3. Características Hydracore 4.000	15
Tabla 1.4. Características Hydracore 5000	17
Tabla 1.5. Características Boart Longyear Lm-75.....	19
Tabla 1.6. Tipos de aditivos.....	25
Tabla 2.1. Segmentos que conforman la plataforma de perforación.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Gráfico de registro de perforación: inicio de perforación, POZO 1.....	73
Anexo 2. Gráfico de registro de perforación: cambio de línea de perforación, POZO 1.....	74
Anexo 3. Gráfico de registro de perforación: cambio de línea de perforación y finalización de pozo, POZO 1.....	75
Anexo 4. Gráfico de registro de perforación: finalización de pozo, POZO 1.	76
Anexo 5. acondicionamiento del lugar para armado de plataforma, POZO 1.....	77
Anexo 6. Finalizando armado de plataforma, POZO 1.	77
Anexo 7. Movilización de herramienta de perforación hacia plataforma, POZO 1. .	78
Anexo 8. Movilización de equipos complementarios de perforación hacia plataforma, POZO 1.	78
Anexo 9. Capacitación a personal previo inicio de perforación.	79
Anexo 10. Inicio de perforación.	79
Anexo 11. Supervisión de tinajas de lodos durante perforación.....	80
Anexo 12. Cambio de línea hq a nq durante perforación	80
Anexo 13. Supervisión operaciones durante la perforación.	81

**“METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA PERFORACIÓN A
DIAMANTINA CON EXTRACCIÓN DE TESTIGOS, EJECUTADA EN LA
FASE DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA AVANZADA PARA PROYECTOS
MINEROS”**

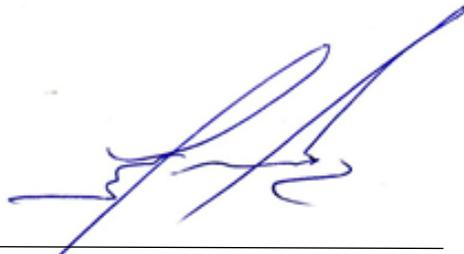
RESUMEN

El presente trabajo de titulación, tuvo como objetivo estudiar la metodología de la perforación a diamantina con extracción de testigos, utilizada en la fase de exploración avanzada en proyectos mineros. Lo que se planteó desde la fase inicial, cuando la plataforma de perforación era conformada, hasta el cierre del pozo de interés.

De modo que se describió la maquinaria utilizada, las herramientas y el mecanismo de acción de los aditivos consumibles. Además, se analizaron varias situaciones en las que se presentaron eventos fortuitos para obtener un registro de soluciones aplicadas, útiles en futuros desenlaces de similares particularidades en campo.

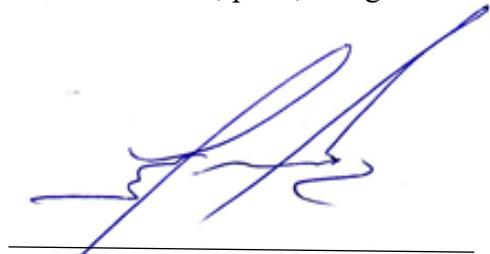
Es importante destacar que toda la información destinada a este trabajo, se basó en el sistema funcional y operativo de la empresa de perforación Romandrill Cía. Ltda., con sede en la ciudad de Cuenca.

Palabras clave: Perforación a diamantina, exploración avanzada, pozo, testigos.



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Director del Trabajo de Titulación



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Antonella Hernanda Román Pulla

Autora



Henry Sebastián Rivera Quezada

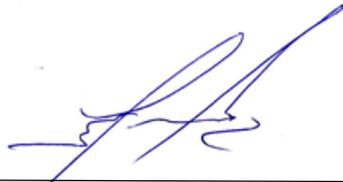
Autor

**"METHODOLOGY DEVELOPED FOR DIAMOND DRILLING
WITH CORE EXTRACTION, EXECUTED IN THE ADVANCED
GEOLOGICALEXPLORATION PHASE FOR MINING
PROJECTS"**

ABSTRACT

The present titling work aimed to study the methodology of diamond drilling with core extraction used in the advanced exploration phase in mining projects, that is, from the initial phase of the formation of the drilling platform to the closure of the well of interest. For this, the machinery used, the tools and the mechanism of action of the consumable additives were described; In addition, several situations where fortuitous events occur were analyzed, so that they allow us to obtain a record of applied solutions that may be useful for future outcomes with similar particularities in the field. It is important to note that all the information for this work was based on the functional and operational system of the drilling company Romandrill Cía. Ltda., based in the city of Cuenca.

Keywords: Diamond drilling, advanced exploration, well, cores.



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Director of the Degree Project



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Coordinator of the School



Antonella Hernanda Román Pulla
Author



Henry Sebastián Rivera Quezada
Author



Antonella Hernanda Román Pulla

Henry Sebastián Rivera Quezada

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Julio, 2023

**“METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA PERFORACIÓN A
DIAMANTINA CON EXTRACCIÓN DE TESTIGOS, EJECUTADA EN LA
FASE DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA AVANZADA PARA PROYECTOS
MINEROS”**

INTRODUCCIÓN

Las actividades mineras, tanto en Ecuador como en el mundo entero, se remontan hace mucho tiempo atrás. En el país, los indicios de actividades mineras se presentaron desde la época incaica, cuando las comunidades extraían desde arcillas hasta metales preciosos como el oro, con el fin de producir utensilios, cerámicas, joyas, entre otros bienes (Banco Central del Ecuador , 2021).

En la actualidad, Ecuador es un país apto para inversión en lo referente a pequeña, mediana y gran minería. De hecho, la Ley de minería ha emitido regulaciones que promueven sustentabilidad y desarrollo económico en sectores como: salud, educación, agricultura, industria civil, telecomunicaciones, etc. Lo que permite generar recursos para desarrollar planes de manejo ambiental y desarrollo en las zonas donde las actividades mineras se llevan a cabo (Banco Central del Ecuador , 2021).

La perforación como actividad dentro de la fase de exploración, es una de las más importantes, ya que sus operaciones permiten que se evalúen los terrenos de interés con mayor determinación, es por ello, que las actividades de perforación han ido evolucionando a lo largo de la historia de la minería, empezando desde los métodos artesanales empleados en donde una persona era capaz de realizar excavaciones sin

necesidad de un equipo adecuado de protección, utilizando equipos pequeños y ensamblados manualmente, hasta en nuestros días donde se ha adoptado el desarrollo tecnológico. En la actualidad, las perforaciones se llevan a cabo por equipos modernos, accionados por sistemas hidráulicos, con capacidades para poder alcanzar profundidades de hasta 3000 metros, estos equipos son modulares, es decir, se pueden movilizar vía terrestre, aérea o pueden ser autopropulsados.

Estos equipos utilizan plataformas de 6 x 9 metros de área y se operan por cuadrillas conformadas por un perforista y dos ayudantes, estas operaciones son supervisadas por ingenieros en minas o geólogos, quienes monitorean las operaciones de la perforación; además, es importante la presencia de ingenieros en seguridad aérea y/o terrestre que apliquen la normativa vigente en supervisión del área y en seguridad del personal, así también para lograr una sustentabilidad ambiental se debe contar con personal calificado en el área de medio ambiente. Cabe recalcar que en la actualidad todo personal que labora dentro de una concesión minera, es previamente capacitado y formado apropiadamente para cumplir su rol dentro de la concesión.

Las perforaciones en la actualidad se enfrentan a grandes inconvenientes, cada operación es distinta, por ende, los inconvenientes podrán asemejarse, pero nunca cumplir el rol de ser idénticos entre cada operación.

A partir de esto, en este trabajo de titulación se presenta información sobre el proceso de perforación en superficie, los equipos, las herramientas y los consumibles que se necesitan para tener una extracción eficiente de testigos o núcleos. Además, se han indicado los inconvenientes presentados dentro de un proyecto y las soluciones que se han empleado para que los testigos sean obtenidos en las mejores condiciones.

Objetivo general

Describir detalladamente la metodología desarrollada en torno a la perforación a diamantina con extracción de testigos, ejecutada en la fase de exploración geológica avanzada para proyectos mineros.

Objetivos específicos

Identificar equipos, herramientas, aditivos y consumibles involucrados en las operaciones de exploración con recuperación de testigos.

Especificar la metodología utilizada por la Empresa Romandril Cía. Ltda., en operaciones de perforación.

Planteamiento del problema

Actualmente, la industria de perforación a diamantina se ha incrementado en Ecuador, generando una mayor competencia entre compañías, pues la minería es una de las principales fuentes de ingreso del país. Muchas empresas transnacionales invierten grandes cantidades de dinero y de recursos para crear proyectos mineros a gran escala, lo que a su vez produce una alta demanda tecnológica en maquinaria, herramientas, equipos y personal calificado para cada área implicada en la ejecución de estos proyectos.

El mercado de la perforación diamantina también se ve afectado por grandes empresas de perforación internacionales que brindan sus servicios en Ecuador. También existen compañías que los ofrecen a costos más bajos, con equipos y herramientas de diferente gama. Todos los factores mencionados conllevan a que el metro de perforación diamantina se haya vuelto variable durante los últimos años.

En este trabajo de titulación se investigó la metodología utilizada por la empresa de perforación denominada “Romandril Cía. Ltda.”, que brinda su actividad comercial a través de ciclos de mejora continua, basados en un método desarrollado por Shewhart y utilizado por Deming, denominado ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), pues como empresa les ha permitido participar en importantes proyectos mineros a nivel nacional, por medio de los cuales mejoran continuamente la capacidad de su equipo para cumplir con los estándares de la minería actual. Este ciclo de mejora continua consiste en:

- 1. Planificar.** - Incorporar todas las áreas relacionadas a la perforación diamantina, cumple el programa establecido por el cliente, supervisa el proceso de perforación de inicio a fin.

2. **Hacer.** - Crear planes preventivos para disminuir el porcentaje de inconvenientes, enumera los problemas ocurridos durante un período determinado de tiempo.
3. **Verificar.** - Llevar un seguimiento de los avances diarios del proyecto, evidenciando si se pueden realizar los objetivos planteados.
4. **Actuar.** - Informar al personal sobre los avances y mejoras del proyecto.

Un buen planeamiento estratégico es la base de la mejora de procesos que llevan a idear planes de optimización con alternativas favorables desde el punto de vista operativo y de seguridad para todo el personal involucrado en el proyecto (Becerra, 2021).

Justificación

Información y análisis de la campaña de perforación diamantina para procesos productivos de exploración avanzada, que permiten al cliente establecer las reservas de cada concesión en las que se ejecutará el proyecto minero. Asimismo, se considera que la información obtenida en este trabajo, permitirá optimizar los niveles de certeza mediante la recuperación de testigos, disminuyendo el rango de error y aumentando la efectividad en la perforación. Esto lograría resultados satisfactorios y al mismo tiempo se brinda un servicio de calidad a los clientes.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1. La exploración en procesos mineros

Los proyectos de minería ejecutados, desde pequeña hasta gran minería, constan de cinco períodos o fases:

- **Prospección.** - Se basa en la estimación e identificación de yacimientos con probabilidades de encontrar recursos minerales de interés.
- **Exploración.** - Trabaja de la mano con la prospección y culmina con operaciones técnicas como la perforación a diamantina con recuperación de núcleo, que determinan la viabilidad del proyecto y definen el yacimiento minero.
- **Explotación.** – Comprende diversas actividades de operaciones mineras, siendo esta, la fase con mayor movimiento socioeconómico dentro de los procesos mineros, los cuales, se basan en la extracción del mineral de interés, a través de un previo conocimiento que permite identificarlos.
- **Beneficio.** – El beneficio en operaciones de explotación minera ordena los procesos en la disociación de mena y ganga, para su posterior fase de comercialización.
- **Cierre.** – Consiste en realizar una planificación sostenible y sustentable para el área explotada y su entorno (Paganini, 2022).

La etapa de exploración minera es considerada la de mayor riesgo, económicamente hablando, debido a que la inversión realizada tiende a recuperarse, siempre y cuando, el desarrollo de la exploración sea exitoso y seguido de una explotación fructífera.

La exploración minera inicia con la pre - exploración, la cual consiste en una indagación realizada por técnicos, cuya labor es el reconocimiento de las características del suelo, fuentes hídricas cercanas, flora y fauna de la zona, comunidades aledañas, entre otros. Tras esto viene la exploración avanzada que implementa operaciones técnicas como: sondajes para determinar zonas con mayor existencia de mineral. Finalmente, esta evaluación refleja el valor económico según los minerales encontrados. (Maldonado, 2021)

Por eso, las perforaciones son los procesos de importancia en la fase de exploración, pues su finalidad es reafirmar o suprimir indagaciones anteriores sobre la existencia

de mineralización en zonas de interés a diferentes profundidades, lo que a su vez concede importante información. El objetivo es diagnosticar si los yacimientos mineralizados a explorar a futuro serán económicamente rentables.

Los procesos de perforación se pueden ejecutar mediante perforación a diamantina o aire reverso.

La perforación por aire reverso emplea el aire como un fluido principal para la extracción de detritus o ripios dentro del pozo. Esta perforación dirige aire al fondo del pozo para recuperar los ripios producidos en el mismo. Apenas necesita un mínimo de contacto con las paredes, lo que genera poca contaminación de la muestra y una perforación más limpia y menos costosa (Salas, 2016).



Figura 1.1 Equipo de aire reverso marca Boart Logyear

Fuente: (Boart Longyear, 2023)

1.2. Perforación a diamantina

“La perforación diamantina es una técnica que permite extraer muestras del subsuelo a diferentes profundidades” (Carvajal, Rodríguez, Patiño, & Guevara, 2015). Además, desarrolla una metodología interesante, pues su operación consiste en explorar subsuelos para obtener una muestra cilíndrica llamada “testigo”. Para realizar esto, es indispensable el uso de una broca diamantada, razón por la cual se denomina

“perforación diamantada”. Es importante mencionar que, entre los procedimientos de perforación a diamantina, existen dos métodos clasificados como: “método convencional” y “método dominado por cable o Wireline”.

1.2.1. Método convencional

Este método consiste en levantar a superficie toda la sarta de tuberías o barras de perforación con la que se está perforando el pozo, una vez que se ha llenado el porta testigos. Al momento que se encuentra en superficie se procede a extraer la muestra y colocar en la caja porta testigos, esta acción es repetitiva hasta finalizar el sondaje o pozo de perforación.

1.2.2. Método dominado por cable o Wireline

Dentro de esta operación, no es necesario retirar la sarta de tuberías o barras de perforación, debido a que se emplea el sistema Wireline que nos permite pescar el porta testigos y extraer a la superficie para posteriormente, desocupar y repetir el ciclo, estas prácticas son repetitivas dentro de las maniobras de perforación.

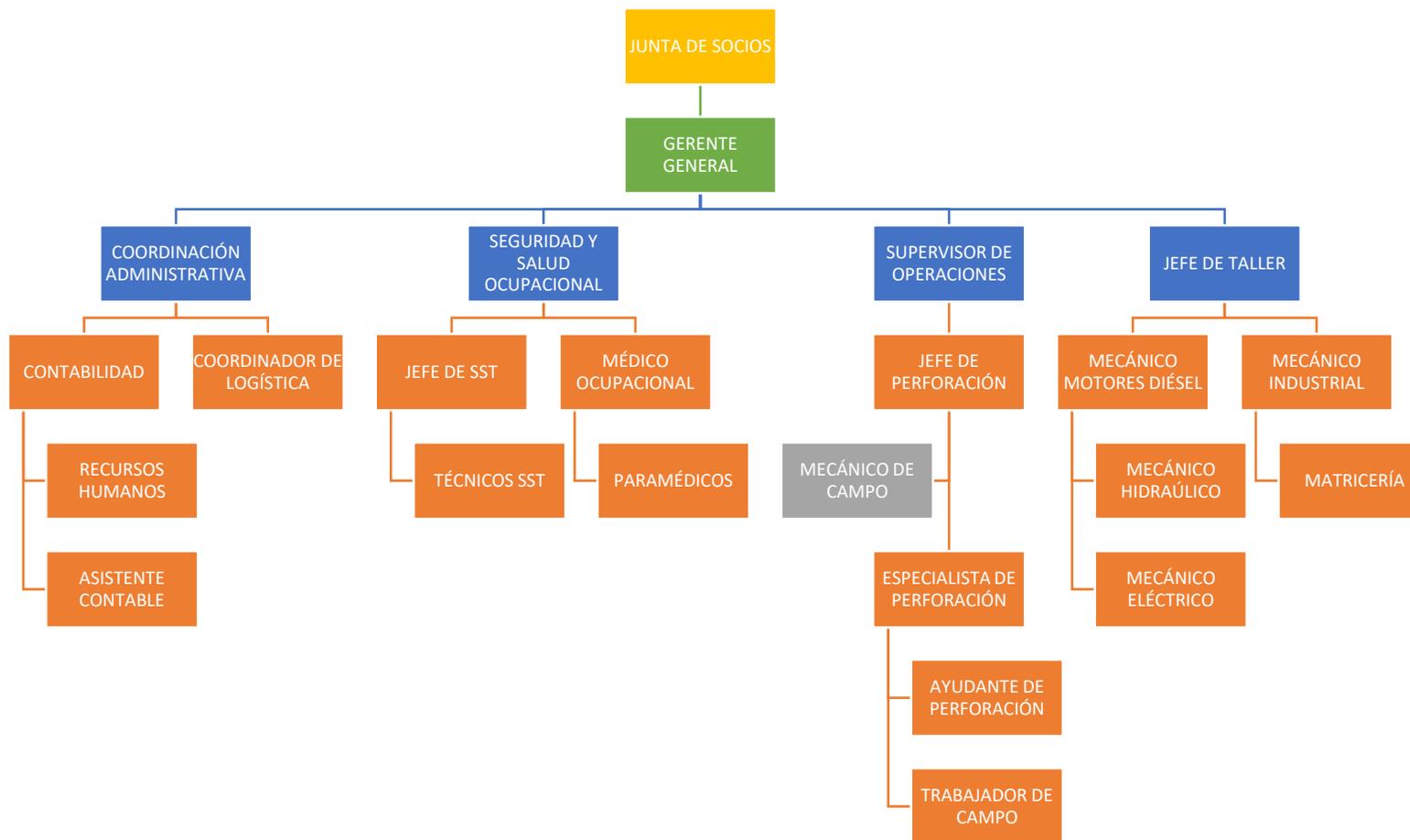
Este procedimiento de perforación, en la fase de exploración avanzada, sostiene una variabilidad de inclinaciones y diámetros. Normalmente, las operaciones de exploración inician con diámetros mayores de perforación, donde se define a PQ, como la línea de perforación inicial que posee el diámetro mayor del pozo de 122.6 mm y un diámetro de testigo de 85 mm. Dependiendo de la profundidad del pozo o sondaje se avanzaría con las siguientes líneas: HQ de un diámetro de pozo de 96 mm y un diámetro de testigo de 63.5 mm, NQ de un diámetro de pozo de 75.7 mm y un diámetro de testigo de 47.6 mm y por último, BQ de un diámetro de pozo de 60 mm y un diámetro de testigo de 36.4 mm, teniendo en consideración que los cambios de líneas pueden ser manejados a través de dos factores esenciales, en primer lugar las condiciones que presenta el macizo rocoso, y en segundo lugar los diámetros de testigos que el cliente necesita obtener.

1.3. Datos generales de la Empresa Romandrill Cía. Ltda.

En la industria de la minería, las etapas más influyentes durante las operaciones son la exploración y la explotación. Lo que se busca es determinar zonas con índices

elevados que presenten minerales de interés, con el objetivo de explotarlos de una manera óptima y adecuada. Por eso, Romandrill Cía. Ltda., ofrece asistencia en las respectivas fases de exploración, es una empresa cien por ciento ecuatoriana, dedicada a la prestación de servicios de perforación a diamantina en minería y obra civil.

1.3.1. Organigrama de la Empresa Romandrill Cía. Ltda.



Fuente: (Organigrama de Empresa de Romandrill Cía. Ltda., 2023)

Romandrill ha cumplido con varios años de experiencia dedicada a la prestación de servicios en la fase de exploración. La empresa inició sus actividades el 17 de octubre de 2007, en la provincia del Azuay, cantón Cuenca. A lo largo de su trayecto ha logrado culminar exitosamente proyectos mineros a gran escala dentro del Ecuador.

Tabla 1.1. Trayectoria de trabajos ejecutados.

	Contratante	Objeto del contrato (descripción de bienes o servicios)	Fechas de ejecución
1	AURELIAN DEL ECUADOR S.A.	Servicio de perforación a diamantina con extracción de núcleo para estudios de prospección (34.794,16 metros).	01/01/2010 31/12/2012
2	CONDORGOLD S.A.	Servicio de perforación a diamantina con extracción de núcleo para estudios de prospección.	20/06/2011 01/02/2012
3	ENAMI EP.	Servicio de perforación a diamantina con extracción de núcleo para el proyecto de estudio de prospección y exploración de calizas en el área Isimanchi (6.377,3 metros).	01/08/2012 01/03/2013
4	CAMINOSCA S.A.	Servicio de perforación a diamantina con extracción de núcleo para estudios de Geotecnia (5.000 metros).	01/10/2011 30/11/2012
5	INIGEMM EP.	Servicio de perforación de seis sondeos mecánicos con recuperación de testigos (150 metros).	01/05/2013 31/06/2013

6	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD - CFE	Barrenación con equipo rotatorio y barril muestreador para la recuperación de núcleos, pruebas geotécnicas y de permeabilidad como Lefranc y Lugeon. Instalación tubería PVC lisa y ranurada de 3".	26/05/2014 31/08/2015
7	LUNDIN GOLD	Servicio de perforación a diamantina con extracción de núcleo para estudios de prospección.	07/03/2015 08/06/2018
8	UCEM	Servicios de perforación exploratoria para evaluar yacimientos de las concesiones Shobol y Cuiquiloma.	01/04/2017 01/04/2018
9	GEOESTUDIOS S.A.	Servicios de perforación a diamantina en el intercambiador de Huangarcucho – Lumagpamba (Puente Europa) – Paute – Gualaceo, de 35 kilómetros de longitud, ubicado en la provincia de Azuay.	23/04/2019 26/06/2019
10	DCIPROY CIA. LTDA.	Perforación a diamantina con extracción de núcleo para el proyecto hidroeléctrico Minas San Francisco.	07/01/2019 10/05/2019
11	CONSORCIO SME	Servicios de Perforación a Diamantina con Recuperación de Núcleo en el Proyecto Fruta del Norte.	01/07/2018 01/09/2019
12	AURELIAN DEL ECUADOR S.A.	Servicios de perforación con diamantina - contrato MC-C235.	15/07/2018 31/08/2020

13	AURELIAN ECUADOR S.A.	Contrato de prestación de servicios de investigación geológico-geotécnica al sur de la Concesión Colibrí 5. # 4800000445.	04/07/2022 07/09/2022
14	AURELIAN ECUADOR S.A. / AURELIANMENOR S.A.	Contrato de prestación de servicios de perforación diamantina # 4800000090.	01/03/2021 01/01/2023
15	HANRINE EXPLORATION AND MINING S.A.	Contrato civil de servicios de perforación en el proyecto IMBA-AMADORES, en provincias de Imbabura y Carchi.	07/01/2021 10/05/2023

Fuente: Elaboración propia

1.4. Equipos de perforación diamantina

Los equipos de perforación a diamantina se caracterizan por utilizar insumos de perforación diamantados que proporcionan un corte de testigo óptimo. Su sistema funcional se basa en la recuperación por rotación de las barras de perforación, las mismas que al llegar a la profundidad deseada se extrae el testigo de roca mediante el sistema Wireline hasta la superficie, recuperando la muestra a lo largo del trayecto de perforación.

Romandrill cuenta con distintos equipos de perforación a diamantina de las marcas Hydracore Drills y Boart Longyear, las cuales se diferencian por sus diseños y capacidades de perforación o profundidades. Los equipos de perforación a diamantina que se presentan a continuación, están compuestos por módulos subdivididos en partes, para brindar mayor facilidad de maniobra en distintas condiciones de terrenos.

Su movilización hacia los puntos de perforación puede ser:

- Por medio terrestre (obreros).
- Autopropulsado (montado sobre orugas de goma).
- Aéreo (helicóptero).

1.4.1. Hydracore 2.000

La HYDRACORE 2.000, es una de las perforadoras con mayor demanda, debido a que su cabezal HQ estándar. Está accionado por dos motores de combustión interna diésel Kubota de 57 HP.



Figura 1.2 Perforadora a diamantina Hydracore 2000

Fuente: (Hydracore Drills, 2023)

Tabla 1.2. Características perforadoras Hydracore 2.000

Características generales	Características específicas		
Su cabezal permite acoplar líneas de perforación desde HQ, NQ y BQ, así también, permite revestir el pozo de perforación con línea HWT hasta una	Capacidad de Perforación (profundidad) Línea BQ 900m. Línea NQ 640m. Línea HQ 320m.	Unidad de potencia 2 motores – 57 HP marca Kubota Turbo Diesel.	Otras especificaciones Tanque hidráulico – 12,5 galones.

<p>profundidad de 100 m.</p> <p>El cabezal trabaja a una velocidad promedio de 522 rpm con un torque de 1350 libras, puede llegar a trabajar hasta los 1200 rpm, con un torque de 336 libras.</p> <p>Resulta ser un equipo perforador más rápido que máquinas con mayor tamaño y costo, fácil de transportar por vía terrestre o aérea.</p>		<p>1 bomba de lodos marca Patrisolli accionada por un motor hidráulico de 7.8cc, con una capacidad de bombeo de 100 l/min a una velocidad promedio de 900 rpm y una presión de 1000 psi.</p>	<p>Enfriador – Enfriado por agua.</p> <p>Estructuras de aluminio.</p> <p>Tanque de combustible Diesel de 55 galones.</p>
---	--	--	--

Fuente: (Romandrill Perforaciones, 2022)

1.4.2. Hydracore 4.000

La Hydracore 4.000 es una perforadora de alta potencia, con un cabezal de diámetro PQ, accionado por tres motores de combustión interna diésel Isuzu de 70 HP.



Figura 1.3 Perforadora a diamantina Hydracore 4000

Fuente: (Romandrill, 2022)

Tabla 1.3. Características perforadoras Hydracore 4.000

Características generales	Características Específicas		
<p>Su cabezal permite acoplar líneas de perforación desde HQ, NQ, BQ, también, permite revestir el pozo de perforación en línea HWT, hasta una profundidad de 300 m.</p> <p>La capacidad de trabajo promedio del cabezal es de 600</p>	<p>Capacidad de perforación (profundidad máxima)</p> <p>Línea BQ 1524 m.</p> <p>Línea NQ1.219 m.</p> <p>Línea HQ 609 m.</p>	<p>Unidad de potencia</p> <p>3 motores – Isuzu 70 HP Turbo diésel</p> <p>Bomba de lodos marca American Mfg Manufacturing, modelo 420 accionada por un motor hidráulico de 8.8</p>	<p>Otras especificaciones</p> <p>Tanque hidráulico – 34 galones.</p> <p>Enfriador – enfriado por intercambiador de calor.</p> <p>Estructuras de aluminio.</p>

<p>rpm, con un torque de 1700 libras, pudiendo llegar a un límite de velocidad máxima de 1400 rpm, con un torque de 300 libras.</p> <p>Es un equipo muy ligero y vigoroso. Las ventajas del HC4000 son sus dimensiones. Se caracteriza como un equipo modular, debido a que es fácil de separarse en varias piezas, lo que permite su cómodo transporte vía terrestre o aérea.</p>		<p>cc, permite bombear 126 l/min, a una velocidad de 625 rpm y una presión de 700 psi.</p>	<p>Tanque de combustible Diesel de 55 galones.</p>
--	--	--	--

Fuente: (Romandrill Perforaciones, 2022)

1.4.3. Hydracore 5.000

La HYDRACORE 5.000 se caracteriza por ser una perforadora que permite llegar a mayores profundidades, gracias a su cabezal PQ, accionado por cuatro motores de combustión interna diésel Isuzu de 70 HP.



Figura 1.4 Perforadora a diamantina Hydracore 5.000

Fuente: (Hydracore Drills, 2023)

Tabla 1.4. Características perforadoras Hydracore 5000

Características generales	Características específicas		
<p>Su cabezal permite acoplar líneas de perforación desde PQ, HQ, NQ y BQ, con una capacidad de revestimiento en línea PWT a una profundidad de 200 m.</p> <p>La capacidad de trabajo del cabezal es de 600 rpm, con un torque de 1700 libras,</p>	<p>Capacidad de Perforación (profundidad)</p> <p>Línea BQ 3.000 m.</p> <p>Línea NQ 1.950 m.</p> <p>Línea HQ 900 m.</p> <p>Línea PQ 450 m.</p>	<p>Unidad de potencia</p> <p>4 motores – Isuzu 70 HP Turbo diésel.</p> <p>Bomba de lodos marca American Mfg Manufacturing, modelo 435 accionada por un motor</p>	<p>Otras especificaciones</p> <p>Tanque hidráulico – 34 galones.</p> <p>Enfriador – enfriado por intercambiador de calor.</p> <p>Estructuras de aluminio.</p>

<p>pudiendo llegar a un límite de velocidad máxima de 1400 rpm, con un torque de 300 libras.</p> <p>Es un equipo modular y portátil, fácil de transportar por vía aérea y terrestre.</p>		<p>hidráulico de 9.8 cc, permite bombear 142 l/min, a una velocidad de 635 rpm y una presión de 1000 psi.</p>	<p>Tanque de combustible de 55 galones.</p>
--	--	---	---

Fuente: (Romandrill Perforaciones, 2022)

1.4.4. Boart Longyear Lm-75

El LM75 es un equipo de perforación para interior mina, es modular con una serie de opciones para adaptarse a las necesidades específicas de cada sitio. Cuenta con un cabezal HQ y Power Pack LM75 con un motor de 600 V.



Figura 1.5 Perforadora a diamantina LM-75

Fuente: (Tripp, 2023)

Tabla 1.5. Características perforadoras Boart Longyear Lm-75.

Características generales	Características específicas	
<p>Este equipo es empleado para perforaciones subterráneas, en túnel, nos permite perforar en todos los ángulos, es modular y fácil de transportar.</p> <p>Su cabezal permite acoplar líneas de perforación HQ, NQ, y ARQ.</p>	<p>Capacidad de perforación (profundidad)</p> <p>Línea ARQTK –</p> <p>Ascendente: 820 m.</p> <p>Horizontal: 1500 m.</p> <p>Descendente: 1500 m.</p> <p>Línea BQ –</p> <p>Ascendente: 430 m.</p> <p>Horizontal: 1500 m.</p> <p>Descendente: 1350 m.</p> <p>Línea NQ –</p> <p>Ascendente: 260 m.</p> <p>Horizontal: 1190 m.</p> <p>Descendente: 990 m.</p> <p>Línea HQ –</p> <p>Ascendente: 130 m.</p> <p>Horizontal: 610 m.</p> <p>Descendente: 610 m.</p>	<p>Otras especificaciones</p> <p>Power Pack</p> <p>Este equipo es accionado por un motor eléctrico de 130HP a 600 V ó 60 Hz.</p> <p>Bomba de lodos marca American Mfg Manufacturing, modelo 435 accionada por un motor hidráulico de 63 cc, permite bombear 142 l/min, a una velocidad de 635 rpm y una presión de 1000 psi.</p>

Fuente: (Romandrill, 2022)

1.5. Equipo centrifugador de lodos de perforación

Este equipo está diseñado para separar sólidos de perforación, como bien se conoce en operaciones de perforación y extracción de núcleos el uso del agua como fluido de lubricación es indispensable. Por eso, un equipo centrifugador tiene como principal objetivo reducir su consumo. Debe separar los sólidos del agua y generar el menor consumo de agua continua posible. De modo que existe una alta demanda para que estos equipos sean introducidos en proyectos mineros, dado su interés en disminuir el consumo del agua.

A continuación, se puede observar el esquema de la centrifugadora y sus especificaciones principales que permiten observar que este equipo es de fácil transporte, es decir, modular. Su motor es de combustión interna a Diesel. No es necesario el uso de un generador eléctrico para su accionamiento.

Especificaciones del equipo de centrifugado:

1.- Motor

Potencia	45 HP
Peso	495 lb.

2.- Panel de control:

Panel de control	Sistema hidráulico.
Peso	380 lb.

3.- Centrífuga:

Caudal máximo de flujo	151,46 l/min.
Peso	1025 lb.

4.- Tanque de lodos:

Capacidad nominal	1,13 m ³
Peso	475 lb.

Fuente: (Multi Power, 2020)



Figura 1.6 Equipo centrifugador de lodos

Fuente: (Multi Power, 2020)

1.5.1. Metodología del funcionamiento del equipo centrifugador

El equipo centrifugador es modular, es decir, que puede ser transportado por vía aérea o terrestre, debido a que cuenta con puntos de elevación certificados a través de los cuales se pasarán los estrobos para sujetar la carga a la línea larga del helicóptero o camión. Cada elemento de la centrifugadora se subdivide en partes para ser transportado por medio terrestre o aéreo.

Dado el caso de que uno de los elementos de la centrifugadora sobrepase la capacidad máxima de carga del helicóptero, se reducirá el peso para desarmar el equipo con facilidad.

Para el montaje de la centrifugadora MPP, se necesitará un área máxima de 3 m²., misma que tendrá que ser nivelada, estabilizada y deberá contar con buena iluminación para labores nocturnas. Por su parte, las mangueras de alta presión que salen de la bomba hidráulica del motor Kubota hacia el panel de mando y la

centrifugadora, contarán con accesorios de seguridad para evitar golpes al personal operativo que se encuentra en la plataforma de perforación. (Romandrill, 2022)

1.5.2. Recirculación de agua

- **Tanque de sedimentación.** - El agua que retorna de la perforación es conducida a un tanque de sedimentación. Adentro, las partículas sólidas se precipitan hacia el fondo del tanque.
- **Entrada de fluido de perforación a la centrífuga.** - El fluido del tanque de sedimentación es conducido hacia la entrada de la centrifugadora para su procesamiento, a través de una bomba de transferencia o succión accionada hidráulicamente.
- **Tanque de fluido limpio.** - Posterior a la separación de sólidos por la centrifugación, el fluido de perforación limpio se conduce hacia el tanque de retención de agua limpia.
- **Descarga de sólidos.** - Los detritos y sedimentos de perforación son separados y se descargan por medio de una tolva para su posterior almacenamiento en sacos de yute.
- **Tanque de mezcla de lodo.** - El fluido de perforación limpio recircula hacia la tina de lodos, a través de una bomba de succión.
- **Agua limpia para perforación.** - El agua limpia recircula y bombea al pozo de perforación por acción de una bomba hidráulica FMC 420 o 435. (Romandrill, 2022).

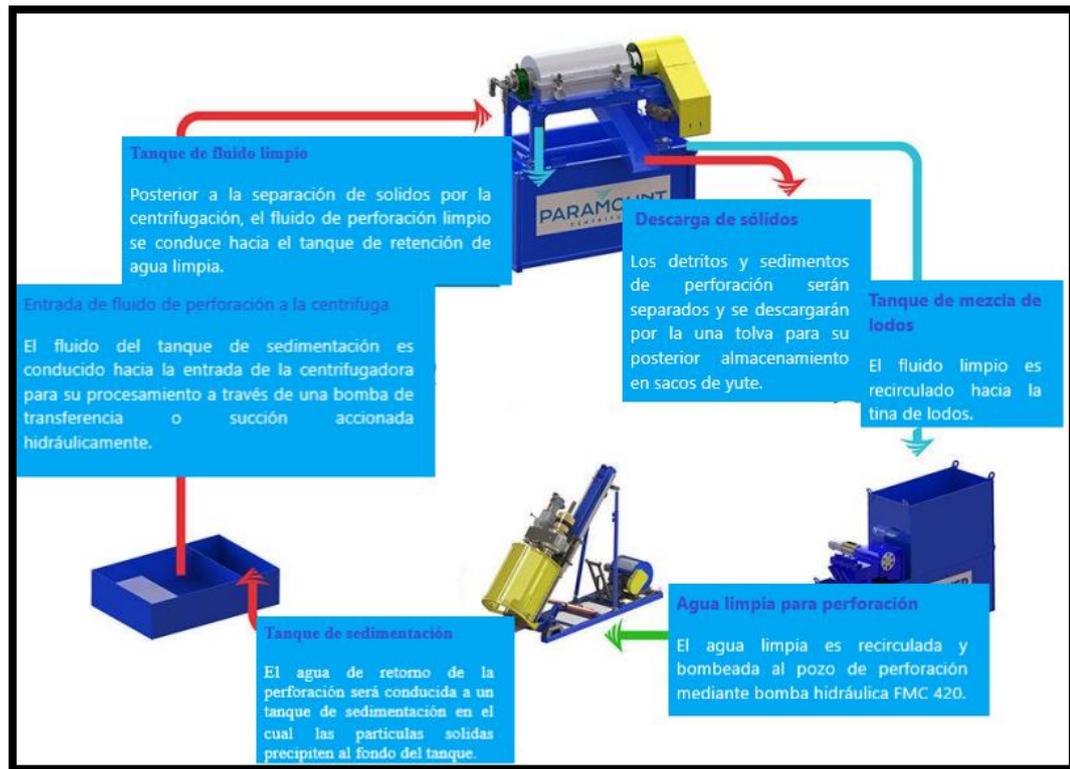


Figura 1.7 Diagrama de circuito cerrado de recirculación de agua para perforación

Fuente: (Multi Power, 2020)

1.6. Herramientas y consumibles de perforación

Las herramientas y consumibles de perforación son la parte inicial y el fundamento en las fases de exploración. De modo que se inspecciona, con cautela, los consumibles y las herramientas existentes en el mercado. El objetivo es encontrar aquellos capaces de desarrollar productividad eficiente en operaciones de perforación a diamantina (Carvajal, Rodríguez, Patiño, & Guevara, 2015).

Durante el tiempo en que Romandrill se ha desempeñado en actividades de perforación a diamantina con extracción de núcleo, se han aplicado herramientas y consumibles de perforación con empresas como: BOART LONGYEAR, Boyles Bros, Pilot Diamond, entre otros.

1.6.1. Aditivos de perforación

Los aditivos empleados en el proceso de perforación, son fluidos capaces de resolver de manera segura, eficiente y rápida, los problemas que se presentan debido a las

distintas condiciones de terreno operadas, este conjunto de elementos pretende lograr perforar el suelo de la mejor manera y así acceder a lugares donde se encuentran los depósitos minerales. “Para lograr acceder a las reservas, los fluidos deben tener unas características químicas y físicas apropiadas.” (PEDREROS & MANRIQUE OSORIO, 2018)

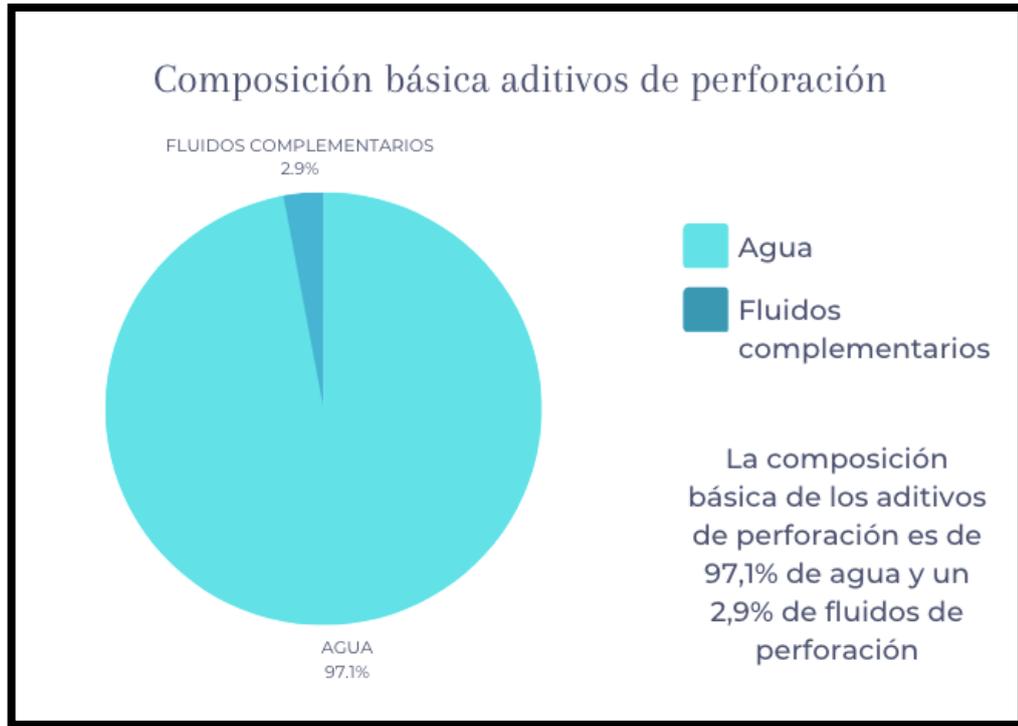


Figura 1.8 Porcentajes de composición básica aditivos de perforación

Fuente: Elaboración propia

Estos aditivos se dividen en: 2,27 % de controlador, más conocido en campo como bentonita; 0,10 % de controlador de filtrado; 0,1 % de viscosificantes; y, 0,2% de estabilizadores de pared. (Romandrill, 2022)

1.6.1.1. Funciones de los aditivos de perforación

- Enfriamiento y lubricación del conjunto de perforación.
- Sellamiento de formaciones permeables y fracturas.
- Fortificar las paredes del pozo de perforación.
- Suspender y transportar el sedimento de perforación a la superficie.
- Levantar los detritos que se generan en la perforación y sacarlos del pozo.
- Prevenir la corrosión de la tubería y su desgaste.

- Prevenir las formaciones de cavernas en las paredes del sondeo.

1.6.1.2. Tipos de aditivos

Tabla 1.6. Tipos de aditivos.

Tipos de aditivos	
Aditivos	Función
Grasas	La función principal de los aditivos conocidos como grasas, es facilitar la unión de las tuberías para evitar los desgastes de las roscas (o hilos) de la tubería de perforación, conectadas entre sí. El punto es formar la sarta de perforación. Este aditivo resiste altas temperaturas y prevalece aún con la presencia de agua.
Lubricantes	Su objetivo es reducir el torque y mejorar las velocidades de penetración para incrementar la vida útil de las herramientas de perforación. Se utiliza en terrenos arcillosos.
Bentonitas	Es un estabilizador de pozos, su función es crear una pared que permita la perforación en terrenos inestables y fracturados. Se usa en todo tipo de terrenos, en especial cuando se perfora en pozos con altos índices de arenas.
Estabilizadores y viscosificantes	Tienen el objetivo de limpiar y estabilizar pozos para recuperar el núcleo limpio, reduciendo excesos de sólidos como arenas y arcillas, así como el torque en las operaciones. Por lo general, se utiliza en diferentes zonas de grava y roca.
Floculantes	Poseen una composición química que tiene como objetivo coagular sólidos y arcilla productos de la perforación dando como resultado los denominados flóculos, lo que beneficia en la recirculación de agua y en la separación de sólidos en la tina de lodos.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se indican ejemplos ejecutados en campo para obtener un mayor alcance de conocimiento sobre cómo operan los aditivos:

En formaciones estables o consolidadas las perforaciones tienen un rendimiento del 80 % al 95 %. Es decir, las operaciones no van a presentar mayores inconvenientes y la recuperación del núcleo o testigo será favorable para su futura evaluación. En este tipo de terrenos, la intervención del viscosificante es del 100 %. Se obtiene un testigo igual al que se muestra en la figura 1.9.

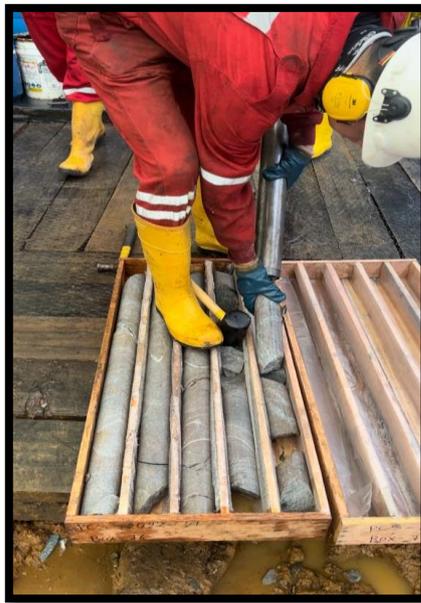


Figura 1.9 Caja porta testigos con núcleo consolidado

Fuente: (Romandrill, 2022)

En formaciones que presentan un índice de fractura del 60%, las perforaciones tienen un rendimiento de 60% al 85% para recuperar el núcleo. Por eso, utilizar aditivos es de suma importancia, pues estos incrementan la recuperación del testigo. Dentro de las operaciones, el uso en conjunto de bentonita, estabilizador y viscosificantes, ayudan a estabilizar las paredes del pozo.

La viscosidad del fluido, suele ser una característica fundamental de la mayor parte de los lubricantes. En los procedimientos de perforación, la viscosidad debe ser acorde al suelo que se está perforando, con el fin de que las pérdidas de carga, como consecuencia del flujo de lodo y la potencia de la bomba, sean reducidas. Lo que resulta en una buena separación de partículas de arena, ya movilizadas por los fluidos

de perforación. Sin embargo, se debe considerar que la viscosidad tampoco debe ser demasiada baja como para impedir que partículas inertes se sedimenten en los pozos durante la perforación.

El Medidor de viscosidad, por lo general, el Embudo Marsh se emplea para medir la velocidad de un fluido durante un tiempo determinado. La razón es registrar y detectar cambios en sus propiedades. En pocas palabras, identificar si el fluido se espesa o se diluye. (FORDIA, 2023)

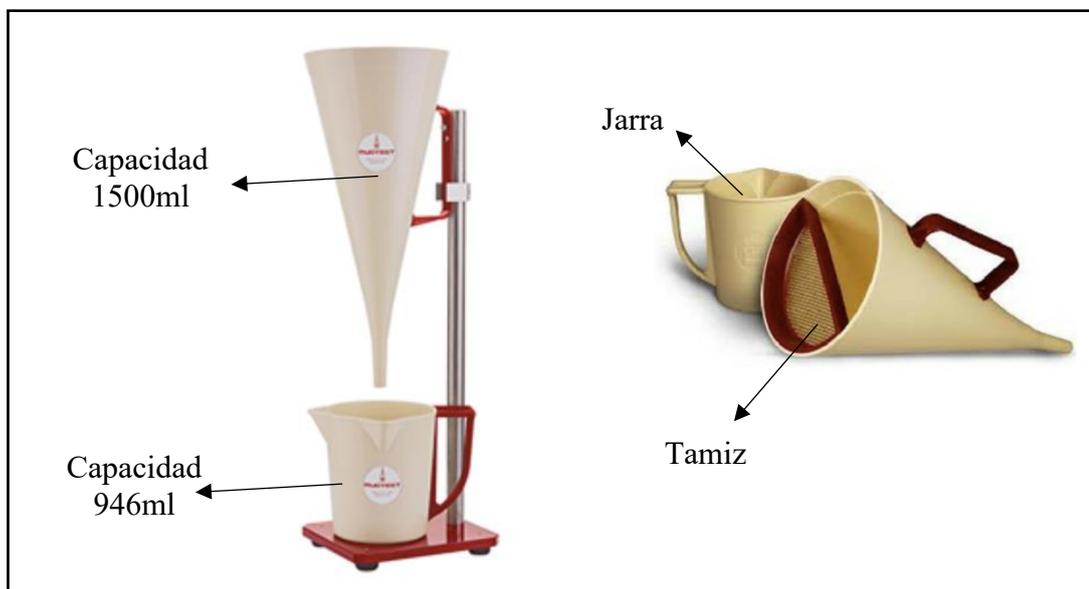


Figura 1.10 Embudo Marsh

Fuente: Elaboración propia

A continuación, el procedimiento para uso del Kit de medición de viscosidad:

- Colocar la jarra de forma vertical. En la parte inferior del embudo, poner el dedo para obstruir el paso del fluido.
- A través del tamiz, verter el fluido hasta que el nivel del mismo llegue a la parte inferior de la malla metálica.

- Retirar el dedo de la parte inferior del embudo y con la ayuda de un cronómetro se mide el tiempo en segundos que tarda en llenarse la jarra medidora de 946 ml. Posteriormente es necesario medir la temperatura en grados °F o °C.
- Los datos obtenidos representan el tiempo de viscosidad del Embudo Marsh.

El tiempo requerido para descargar los 946 ml es de 26 - 50 segundos a 70 °F (Arias, 2018).

1.6.1.3. Densidad del fluido

La densidad es una característica que posee cada sustancia. En el caso de la perforación, es posible definirla como el cociente entre masa del fluido y volumen que ocupa. Hay que tener en cuenta que, en los fluidos de perforación, el valor de la densidad generalmente es próximo a $1,2 \text{ g/cm}^3$.

Cuando la densidad del fluido aumenta, es importante impedir la entrada de mantos cautivos de agua en el pozo. Vale hacer énfasis en que, para generar un lodo denso, se debe cargar el mismo con productos como piritita, siderita, galena o barita para lograr una densidad de hasta $2,4 \text{ g/cm}^3$. Esta cifra mantendrá en su lugar a las paredes del pozo.

1.6.1.4. Características medias de un lodo de perforación



Figura 1.11 Características medias de un fluido de perforación

Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Coronas de perforación

La corona de perforación, es una de las herramientas más importantes para la extracción del testigo, siendo su función cortar el macizo rocoso mediante la rotación, para que su extracción no presente inconvenientes, es por ello, que tener y escoger una corona de perforación en excelentes características es indiscutible en operaciones. En la actualidad, existe dos tipos: de inserción y de impregnación, que se adaptan según los distintos terrenos, estas varían por tener formas graduales, planos o curvos, (Fernández, Barrio, & Tessone, 2015).



Figura 1.12 Corona diamantada

Fuente: (BOYLES BROS DIAMANTINA, 2022)

1.6.2.1. Corona insertada o incrustada

Este tipo de coronas poseen diamantes insertados sobre su matriz, generalmente se las utilizan en formaciones blandas y semiduras, sin embargo, también se las puede utilizar en otras ocasiones, como: redireccionamiento de pozos, pozos derrumbados, entre otros. (Boyles Bros Diamantina, 2017).

1.6.2.2. Corona Impregnada

Contienen distintas impregnaciones de diamantes, esta es una característica importante ya que su variedad de diamantes es lo que brinda las distintas coronas para cada terreno a perforar. (Boyles Bros Diamantina, 2017).

1.6.3. Escariador (Remer Shell)

El escariador es una herramienta constituida por diamantes laterales, que se encuentra sobre la corona de perforación, su objetivo es corregir diámetros dentro de los pozos, para que el ingreso de las barras de perforación no tenga dificultad. Cuando existen pozos profundos lo recomendable es colocar varios escariadores. (Fernández, Barrio, & Tessone, 2015).



Figura 1.13 Reaming Shell SS

Fuente: (BOYLES BROS DIAMANTINA, 2022)

1.6.4. Barras de perforación

Las barras de perforación son tubos de aceros que a los extremos de su longitud tienen roscas, su objetivo es formar una sarta de barras a lo largo del pozo para que el testigo sea extraído por dentro de su diámetro. (Fernández, Barrio, & Tessone, 2015).

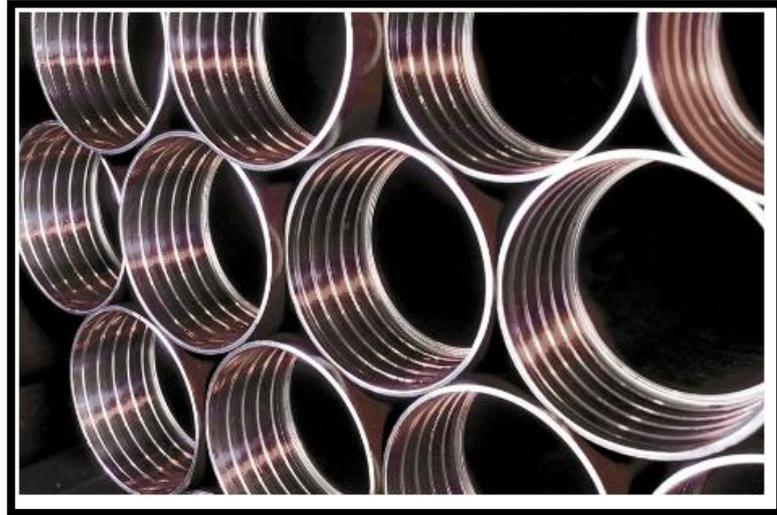


Figura 1.14 Barra de perforación

Fuente: (Boart Longyear, 2023)

1.6.5. Barras de revestimiento (Casing)

Las barras o tuberías de revestimiento cumplen con la función principal de estabilizar el material de las formaciones inestables con tendencia a derrumbe. Además, cuenta con un diámetro mayor a las barras de perforación (Salas, 2016).



Figura 1.15 Barra de revestimiento o Casing

Fuente: (Duco Drilling Supply inc., 2023)

1.6.6. Head Assembly (Cabezal de Perforación).



Figura 1.16 Head Assembly

Fuente: (Burris, 2023)

El Head Assembly es una herramienta que trabaja en conjunto con el Core Barrel. Este conjunto almacena el testigo en su tubo interior, encargándose de extraer el testigo que es lubricado con cantidades mínimas de agua y aditivos, mediante el sistema Wireline sin ascender todo el sistema de perforación. (Fernández, Barrio, & Tessone, 2015).

Las piezas que conforman el Core Barrel son:

- Corona de perforación
- Escarriador o rima
- Tubo externo
- Tubo interno o porta testigo
- Adapter Coupling
- Locking coupling
- (SON-MAK, 2020)

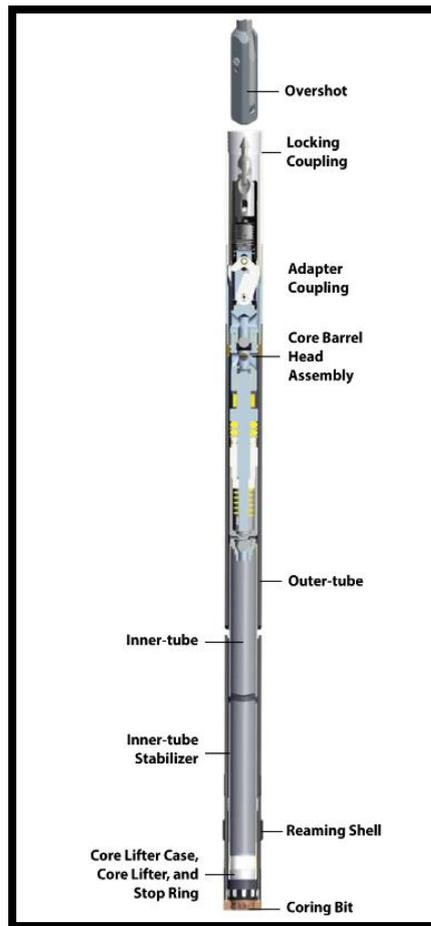


Figura 1.17 Core Borrel System

Fuente: (SON-MAK, 2020)

1.6.7. Bomba de lodo

Las bombas de lodos cumplen la función de inyectar agua (lodos de perforación) hacia el fondo del pozo, permitiendo una recirculación, lubricación y enfriamiento a la sarta de perforación, de esta manera no existen obstrucciones en la recuperación del testigo. (Salas, 2016).



Figura 1.18 Bomba de lodos

Fuente: (American Mfg Company, 2023)

1.6.8. Caja porta testigo

La caja porta testigo es fabricada en material de madera o PVC, teniendo una forma rectangular con divisiones en el interior que facilitan el almacenaje del testigo, su tamaño tiende a variar por el diámetro de la línea de perforación. El testigo se va almacenando ordenadamente en la caja porta testigo una vez extraída del tubo interior para posteriormente ser estudiada (Salas, 2016).



Figura 1.19 Caja porta testigo

Fuente: (Minga Service S.A., 2023).

CAPÍTULO 2

DATOS DEL PROYECTO EJECUTADO

2.1. Ubicación

El proyecto número uno se encuentra ubicado en la parroquia Los Encuentros, al sureste del país, en la provincia de Zamora Chinchipe. Es uno de los depósitos con mayor cantidad de oro (Au), en Ecuador. Su activo total ha registrado un crecimiento del 8,44 %.

2.2. Geología y mineralización

Existe un depósito epitermal de sulfuración intermedia formado por metales nobles y erupciones volcánicas, donde se localiza una veta con una extensión de más o menos 1.670 metros, tajo de 700 metros y 150 a 300 metros de latitud. Se define que en la superficie los depósitos se localizan a 200 metros, representadas por rocas con fallas post mineralizadas, definidas dentro de los márgenes: oriental y occidental, dando el linaje de la falla “Las Peñas”, percibiendo así, la mineralización de oro y plata. (Amec Foster Wheeler plc, 2016). Esta mineralización avanzó por fallas localizadas al este y oeste de la conocida falla “Las Peñas”. (Amec Foster Wheeler plc, 2016).

2.3. Tiempos de perforación

La perforación a diamantina, como cualquier actividad de producción, se maneja de acuerdo a tiempos de rendimiento que permiten una planificación estable a los proyectos mineros para cumplir con lo requerido por el cliente.

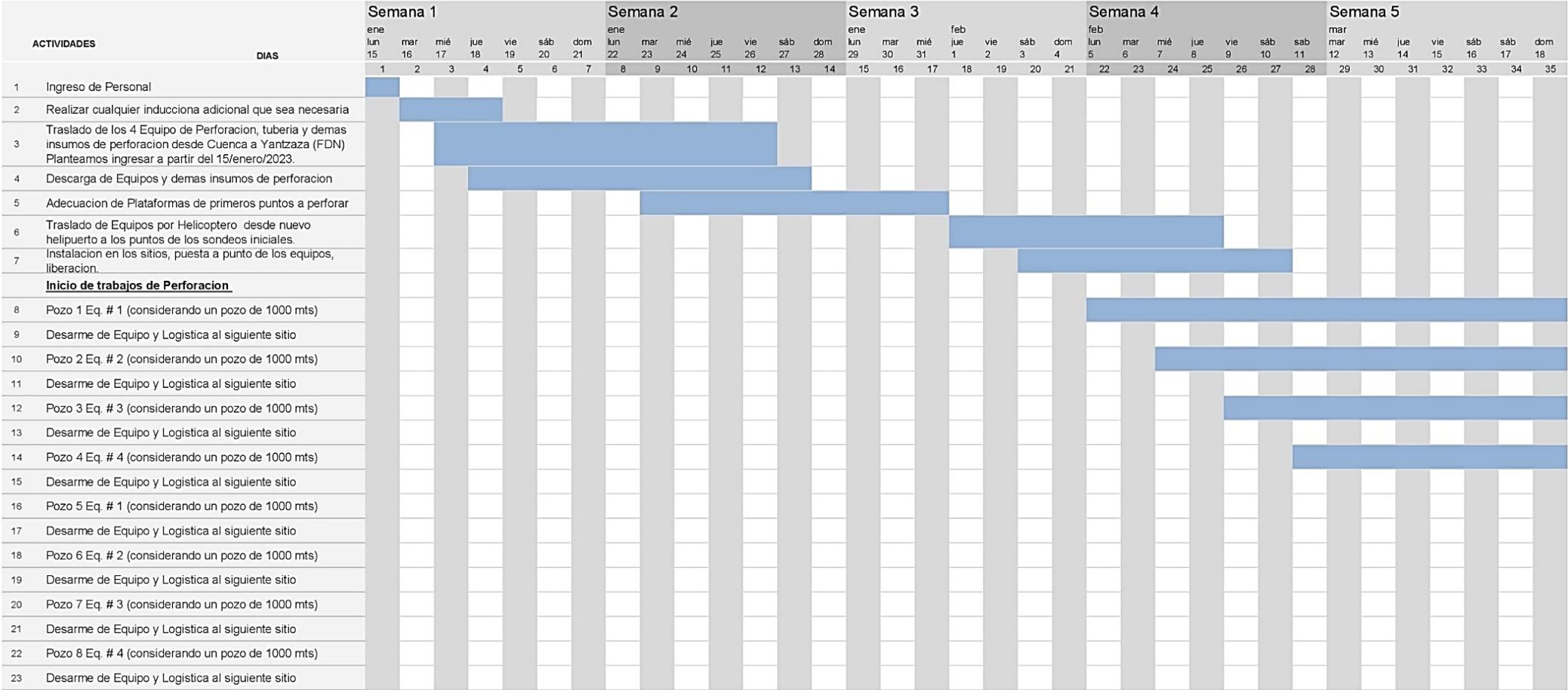
Romandrill maneja tiempos de operación que van desde la movilización de la máquina, junto a sus respectivos insumos de perforación, hasta la finalización de producción establecida en el contrato constituido. Los tiempos establecidos en los contratos de perforación a diamantina con extracción de testigo, tanto en minería como en obra civil, varían según las condiciones de suelo. En el cronograma presentado a

continuación, se observa un ejemplo de actividades en campo, de operaciones de perforación con el tiempo estipulado en días que toma realizar cada tarea.

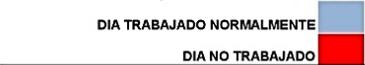


CRONOGRAMA DE TRABAJO DE ROMANDRILL CIA. LTDA.

Fecha de inicio: 15/01/2023



Rendimiento: 20 metros por turno de 12 horas, esto en condiciones normales de trabajo, cabe indicar que en los mismos sitios, en la campaña 2021-2022 se llevo a perforar hasta 50 metros por turno.



Fuente: (Cronograma de Trabajo de Romandrill Cia. Ltda., 2023)

2.4. Proceso de perforación a diamantina

Los procesos de perforación a diamantina están definidos por tres etapas. Cada una se maneja con una planificación estratégica antes, durante y después de las operaciones de perforación, para cumplir un seguimiento que le permita beneficios al cliente.

La metodología de perforación es manejada de diferente manera por cada empresa. Sin embargo, su estructura es similar en todos los casos. Las técnicas de perforación se diferencian cuando sus operaciones están destinadas a trabajos de exploración en superficie o en subterráneo.

2.5. Distribución de plataforma de perforación

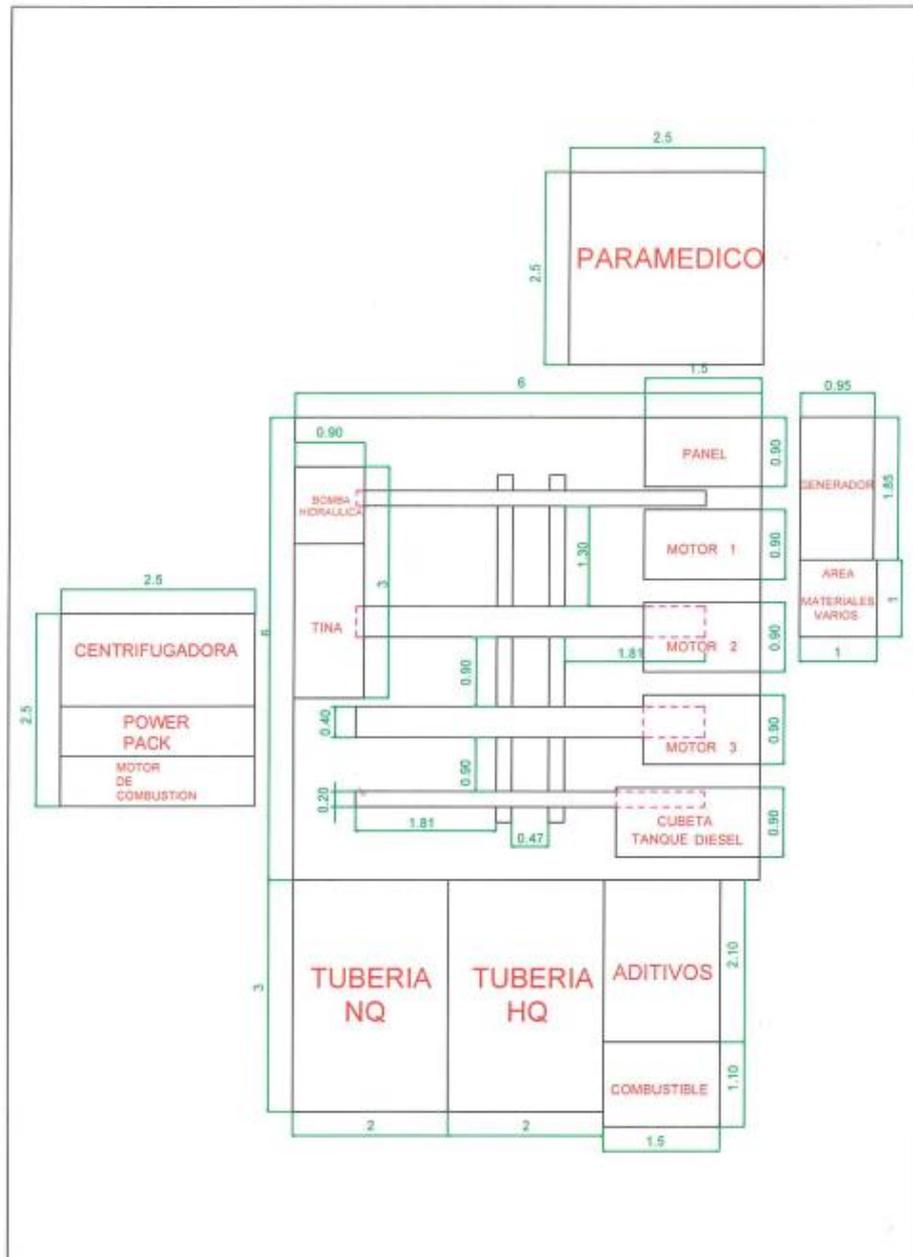


Figura 2.1 Proceso de perforación a diamantina

Fuente: Elaboración propia

2.6. Inicio de perforación

2.6.1. Etapa 1 (Pre-perforación)

En Romandrill, durante la etapa de pre-perforación, es importante conocer las condiciones del terreno para desarrollar óptimas operaciones de perforación. En ese

contexto, se realizan inspecciones programadas para conocer posibles dificultades cuando se inicien operaciones, y así identificar los parámetros que engloban el sistema de perforación. Es importante la participación de un equipo de logística, conformado por supervisores de perforación y de mecánica para posteriormente adecuar el mantenimiento y acondicionamiento de máquinas perforadoras. De esta manera, la recepción, traslado e instalación de la plataforma posee una planificación determinada, bajo los propósitos de establecer áreas que cumplan funciones correspondientes capaces de mejorar operaciones durante la fase de exploración.

Después de la visita programada, hay que determinar y reconocer las áreas correspondientes a cada actividad:

- a) **Áreas determinadas para la convivencia del personal designado a las perforaciones a diamantina:** campamentos, salas de reuniones, oficinas, áreas de recreación y almacenamiento, talleres de mantenimiento, entre otros.
- b) **Áreas de acceso:** la apertura de los accesos se encuentra designada para el desplazamiento de personas, equipos, vehículos o maquinaria hasta el área de perforación.
- c) **Área de perforación:** se ubica de manera visual los puntos de interés en donde estarán las plataformas con dimensiones reglamentarias que permiten al personal de apoyo desplazarse seguros y cómodos.

2.6.1.1. Instalación de la plataforma

- i. Previamente a las operaciones de perforación, se instala la plataforma totalmente nivelada con dimensiones de 8m x 12m, las cuales permiten que las operaciones se lleven a cabo cumpliendo protocolos de seguridad, estabilidad y factibilidad en las maniobras realizadas por perforistas, ayudantes, supervisores y equipo prevencionista.
- ii. Cuando la plataforma se ha establecido, se procede a colocar el polietileno o geomembrana alrededor de la sonda, cumpliendo con la impermeabilización del suelo para evitar el derrame y la contaminación del suelo con sustancias empleadas comúnmente: aceites, grasas o aditivos y consumibles de perforación como lixiviados y residuos.

La geomembrana debe sobresalir, por lo menos, un metro en todos los extremos de la sonda para prevenir el derrame en caso de desacoplamiento de las mangueras hidráulicas o de lodos. Además, se debe impermeabilizar las áreas destinadas al almacenamiento de combustibles y aditivos que vayan a ser empleadas a lo largo del turno de perforación.

- iii. Se procede a colocar tres vigas sobre la geomembrana, para que en ellas se ancle el skit de la perforadora. Después se implementan tablonces a la misma altura del skit que sirven como base para el montaje de la máquina perforadora. También brinda firmeza al personal que se encuentra en la plataforma realizando maniobras de perforaciones.

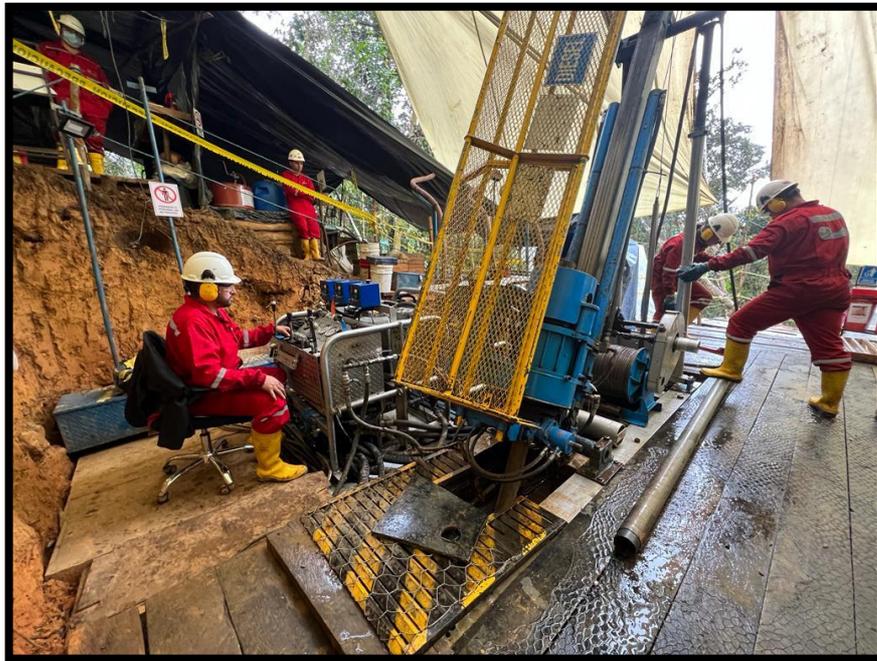


Figura 2.2 Plataforma de perforación

Fuente: (Romandrill, 2022)

- iv. Cuando concluye el armado de la plataforma, se procede a instalar las partes de la máquina perforadora para empezar con el arranque inicial para colocar correctamente el azimut y el buzamiento. Para perforaciones a superficie, se requiere de una inclinación de 90° a 45° . Aquí, la instalación de barras y la inserción del tubo interior es manual.

Es muy importante instalar el suministro de agua para inicios de perforación, esto comprende acoplar una serie de mangueras que abastezcan con agua el sistema de enfriado y el sistema de lubricación de la sarta de perforación.



Figura 2.3 Armado de la plataforma

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.1. Segmentos que conforman la plataforma de perforación.

1	Panel de control hidráulico
2	Motores Izusu
3	Tanque para abastecer de diésel a los motores
4	Zona de almacenamiento de aditivos, combustibles y aceites
5	Zona de almacenamiento de cajas porta testigos.
6	Estación de equipo prevencionista
7	Tina de lodos de perforación
8	Carpa protectora de plataforma
9	Máquina de perforación
10	Zona de almacenamiento de tubería

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.2. Etapa 2 (Trayecto de perforación)

Realizar una correcta trayectoria de perforación es sumamente importante, pues de esto depende la confirmación o descarte en la valoración de recursos mineros de interés. Por eso, es clave seguir de manera adecuada los parámetros para llevar a cabo una perforación a diamantina exitosa (Altamirnao & Martínez, 2020).

Las técnicas varían si las perforaciones son subterráneas o de superficie. Por ejemplo, cuando Romandrill inicia las operaciones de perforación, implementa cuadrillas que trabajan en cada plataforma, compuestas por un especialista de perforación que opera los controles de la máquina perforadora, y dos ayudantes que cumplen la función de ensamblar, conectar equipos, alinear y manipular tubería. Junto a la cuadrilla de operaciones labora un técnico supervisor de plataforma, encargado de vigilar las operaciones y registrar la evolución de los pozos operados. Además, el equipo de prevencionistas se encarga de supervisar que la cuadrilla de perforación trabaje segura y sincronizada para evitar accidentes de cualquier tipo.



Figura 2.4 Cuadrilla de perforación

Fuente: Elaboración propia

En perforaciones a superficie se inicia con el armado del Core Barrel descrito anteriormente en el numeral 1.6.6; Una vez listo, es levantado conjuntamente con el tubo porta testigos en su interior y posicionado en la guía del taladro de perforación. Luego, con la ayuda del sistema de arrastre del cable Wireline se procede a levantar un tubo y posicionar en el taladro de rotación, se debe cerrar la guarda de seguridad.

Entonces, el especialista de perforación se encarga de rotar el cabezal de perforación. Finalmente, se introduce el Core Barrel.

- i.** Luego de que la mayor parte del Core Barrel ha sido insertada en la superficie, es importante que el especialista de perforación detenga la marcha del equipo. Enseguida, se continúa con la pesca de tubería que será mejor detallada en los siguientes puntos.
- ii.** Los ayudantes de perforación se encargan de levantar y posicionar el segundo tubo de perforación en el cabezal y con ayuda de una pequeña rotación, este tubo se enrosca al Core Barrel, para que este se asegure nuevamente el Core Barrel y se procede a perforar la longitud del segundo tubo.
- iii.** Una vez que el segundo tubo de perforación se encuentre ya insertado en su totalidad y estable los ayudantes de perforación levantan la guarda de seguridad anti atrapamientos del cabezal y guían el pescador hacia el centro del tubo de perforación y se procede a descender el pescante hasta el final del pozo para así poder atrapar el porta testigos y subirlo hasta la superficie.
- iv.** Al momento que este ya se encuentra visible el pescante, conjuntamente con el porta testigos se realiza una pausa para colocar el seguro del overshot o también conocido como SPRING LOCKING PIN, cuya función es asegurar el pescante para evitar que este al momento de ser extraído en su totalidad se regrese, evitando así un alto porcentaje de accidentabilidad.
- v.** Una vez que ascienda en su totalidad de la cabeza de rotación los ayudantes de perforación deben tomar el extremo del tubo del porta testigos y guiarlo hasta los estantes o caballetes de tubería que se encuentran generalmente al lado derecho de la máquina perforadora, esto con la finalidad de extraer la muestra o testigo, para ello es importante que se realicen una serie de golpes en los extremos del tubo con la ayuda de un martillo de goma para que la roca se pueda deslizar por el interior del porta testigos.
- vi.** Al finalizar con la extracción del testigo, se procede con el cambio de insumos de perforación, donde se maneja deslizamientos o escalamiento de las barras con las salidas de tubos al exterior para su respectivo control técnico y de seguridad para así continuar con el ciclo de perforación.

“La profundidad de la perforación se calcula a través de la contabilización del número de tuberías de perforación insertadas en el sondaje. La longitud de la tubería estándar es de tres metros” (Becerra, 2021).

La reducción de diámetros se emplea por solicitud del cliente y por condiciones geológicas. En cambio, cuando se realiza el retiro de la columna de barras de perforación, los ayudantes realizan la entrada y salida de los mismos, mientras que el perforador se encarga de la sincronización de los mandos de la máquina.

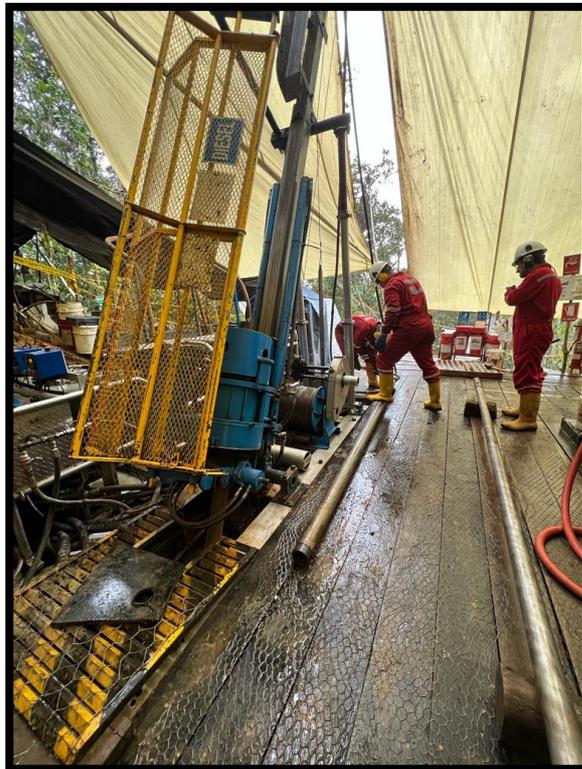


Figura 2.5 Cuadrilla de perforación

Fuente: (Romandrill, 2022).

2.6.1.3. Revestimiento

Por lo general, el revestimiento se lleva a cabo al inicio de la perforación a diamantina. Esta metodología se emplea para evitar el colapso de las paredes del pozo. Depende de la litología del suelo atravesado, y es necesario para evitar que se produzca un derrumbe o pérdida del pozo. Además, el revestimiento también cumple con la función

de disminuir la posibilidad de atrapamiento de tubería y de pérdida de circulación de agua.

2.6.1.4. Procedimiento

Para revestir un pozo, generalmente se emplea el método convencional que permite asegurar sus paredes. Se inicia con la maniobra de perforación de acuerdo a la línea que el cliente decida, hasta una profundidad aproximada de 10 metros. Una vez que se ha levantado la tubería en su totalidad para la recuperación del testigo, el especialista de perforación identifica la probabilidad de un derrumbe o de una pérdida del pozo. En caso de suceder, se ingresa una tubería de diámetro mayor a la que se estaba perforando. Dicha tubería debe llevar una zapata (accesorio diamantado) en su punta. Ambas ingresarán hasta el final del pozo.

Cuando el revestimiento llega al fondo del sondaje, se incorpora nuevamente la línea perforada en un inicio. Este método se repetirá las veces necesarias hasta sobrepasar la zona de peligro o de sobrecarga.

También existe otro método: consiste en ingresar el revestimiento sin haber retirado la tubería del sondaje. Para ello, es importante colocar un tapón en la tubería antes mencionada, de modo que se pueda evitar que el agua de perforación ingrese por ella. Este método se emplea cuando el pozo tiene un metraje de profundidad considerable, pero existe la posibilidad de que el tapón se deslice y el agua de perforación ingrese a la tubería y de como resultado un desgaste prematuro de la zapata de revestimiento.

2.6.1.5. Perforación con sistemas de orientación y desviación

2.6.1.5.1. Accesorios de orientación

- Act III
- Línea PQ3, NQ3 Y HQ3
- Expulsadores
- Split tube 5 o 10 ft

2.6.1.5.2. Procedimiento

La perforación con sistemas de orientación y desviación, se emplea para definir las zonas delimitantes de un yacimiento. Estos tienen un dispositivo electrónico de orientación que generalmente se utiliza en la maniobra de perforación a diamantina. Para llevarlo a cabo hay que colocar, en la parte posterior del porta testigos, una extensión con memoria interna incorporada que recepta la información del sondaje y la forma en la que se está realizando el corte de perforación. Es necesario retirar el escariador trasero o cople adaptador para colocar la extensión (extensión del barril) y, seguido, unir el escariador trasero, precedido del head assembly y el porta testigos. En su interior se posiciona el Split tube o tubo cortado. Luego, se procede a colocar el cajetín y stop ring en la línea Q.

Tras haber armado el sistema en su totalidad, se debe quitar la tapa del equipo de orientación y ajustar al controlador para inicializar la sincronización. Después se ingresa al interior de la sarta de tubería hasta el fondo del pozo y se procede a perforar.

Al finalizar la maniobra de perforación, que puede tener una longitud de 1,5 o 3 metros, el perforista tiene que detener la marcha y acercarse hasta el taladro de perforación. Presiona el botón del controlador para guardar información en el sistema de orientación. Luego, el perforista se encarga de levantar el porta testigos a través del sistema Wireline. Levanta el porta testigos en su totalidad, de tal manera que los ayudantes de perforación puedan dirigir el mismo hacia los caballetes. Luego, se descarga la información a la Tablet o PC, vinculando el controlador. Entonces, el ayudante de perforación posiciona el porta testigos según lo indiquen las flechas reflejadas en la pantalla del controlador.

Se debe marcar, con un nivel, la roca hacia dónde va el punto de orientación del testigo, la cual está siempre al lado de la porta testigos más cercana al terreno. Luego, con el empleo de un expulsador de roca, accionado por presión de agua, se retira la muestra conjuntamente con el Split tube y se marca la línea continua referencial para el logueo desarrollado posteriormente. Este método se repetirá en cada maniobra de perforación hasta llegar a la profundidad propuesta.

2.6.1.5.3. Accesorios de desviación

- Gyro
- Ez-trac
- Tablet
- Guías PQ, HQ Y NQ

2.6.1.5.4. Procedimiento para verificación de desviación de pozo

El procedimiento de desviación consiste en armar un equipo que contiene una punta tipo flecha, un centralizador y tres tubos de aluminio de 1,5 metros. En su extremo exterior posee un accesorio de bronce con un dispositivo de memoria interna, en la cual se procesa la información. La misma es deslizada hasta el fondo del pozo. Una vez ahí, se procede a guardar los datos en la Tablet. Enseguida, se comienza a extraer la herramienta con ayuda del pescante. Cuando este ha llegado a la superficie, se descarga la información que permite identificar el azimuth y el dip; es decir, hacia donde se dirige el sondaje.

2.6.1.6. Etapa 3 (Finalización de perforación)

La perforación culmina cuando se ha cumplido el objetivo, es decir, tras haber perforado los metros previamente demandados para su línea de investigación.

2.6.1.6.1. Cierre de plataformas de perforación

Al haber finalizado el pozo de perforación, el personal extrae la sarta de perforación, la sarta de barras de tubería y revestimiento. Entonces desinstala el equipo de perforación y lo transporta hacia el siguiente punto designado para llevar a cabo la perforación. Todo esto se realiza con el objeto de abandonar el área intervenida, dejándola en óptimas condiciones para rehabilitarla en el futuro.

2.6.1.7. Etapa 4 (Desmontaje del área)

2.6.1.7.1. Retiro de equipos

Se retiran los componentes del equipo de perforación, entre ellos: panel de control, generadores, motores, tina de lodos y taladro. Por último, se desvinculan las mangueras de conexión hidráulica.

Cabe mencionar que este proceso se lleva a cabo siempre y cuando el pozo intervenido no presente ningún tipo de afloramiento de agua. Caso contrario, se realiza el método de obturación de pozos profundos por presencia de acuíferos.

2.6.1.7.2. Retiro de materiales

Consiste en el desalojo de toda señalética, kits antiderrames, estación lava ojos, botiquín, cubetas de aditivos, aceites y combustibles, recipientes de clasificación de desechos peligrosos y no peligrosos, cintas de seguridad. A continuación, se retira las cubetas que fueron destinados para el almacenamiento de herramientas e insumos de perforación utilizados.

2.6.1.7.3. Levantamiento de geomembrana y vigas

Una vez que la plataforma ha sido despejada, con el espacio suficiente para la próxima maniobra, se procede a retirar las vigas que sujetaban y estabilizaban al skit, luego se retira la geomembrana que impermeabiliza el suelo. Es de suma importancia que aquella sea inspeccionada a detalle, para realizar un correcto control de desechos, ya que puede ser reutilizada. Asimismo, si al momento de levantarla sufre algún tipo de rotura, se procede a clasificar en desechos peligrosos según sea el caso.

2.6.1.7.4. Desmantelamiento de la cubierta

Se inicia con el desmantelamiento de la cubierta de la plataforma de perforación: cuerdas, plásticos y carpas, elementos que como la geomembrana se someten a inspección para determinar si pueden ser reutilizados en otra plataforma o si, por el contrario, son objeto de desecho.

2.6.1.7.5. Floculación de sólidos suspendidos totales (SST)

Cuando la perforación ha culminado, existe un residual de agua de perforación que, al momento de ser extraída, generalmente tiene un volumen de 2m³.

Vale mencionar que los sólidos suspendidos, son separados del agua por medio de floculantes, cuya función principal es la de formar partículas o flóculos de turbiedad, relativamente más grandes y de fácil asentamiento.

2.6.1.7.6. Disposición final de agua de perforación

Si el agua cumple con los parámetros necesarios, es depositada en el cuerpo hídrico más cercano al pozo de perforación. Los sedimentos asentados al fondo del tanque, son colocados en sacos para su posterior almacenamiento y, por último, su disposición final.

2.6.1.7.7. Recolección de lodos

Cualquier lodo de perforación, se recolecta en fundas plásticas y estas en saquillos, con la finalidad de almacenarlas de manera temporal, hasta su transporte hacia el sitio de disposición final, adicionalmente, se revisa que todas las fosas que han sido cavadas no presenten trazas de perforación o liqueos, para ello es importante que durante todo este proceso exista la presencia del supervisor de ambiente para levantar un registro fotográfico de todas las maniobras, con el objetivo de adjuntar estas evidencias en el informe de cierre de plataforma que se desarrolla al culminar cada sondaje.

2.6.1.7.8. Recolección de desechos

Antes de abandonar el área intervenida, es importante inspeccionarla. La finalidad de recolectar los desechos producto del proceso de perforación es clasificar los no peligrosos en fundas de color negro, y los peligrosos en fundas de color rojo para luego colocarlos en el área respectiva, según lo indica la normativa vigente.

2.6.1.8. Normativa del Equipo de Protección Personal (EPP)

El EPP es indispensable para todo el personal, pues tiene como principal objetivo preservar la salud e integridad de los colaboradores. Además, es designado de acuerdo al área en la que se desempeña cada trabajador, por lo que la empresa encargada de desarrollar la perforación está obligada a asumir la responsabilidad de proporcionar el respectivo equipamiento de forma periódica, así como de capacitar a los trabajadores para ofrecerles los conocimientos adecuados del uso del equipo de protección.

La empresa contratista debe realizar un análisis preliminar de riesgos con anticipación para determinar que el EPP vaya de acuerdo con las exigencias desarrolladas durante cada actividad y el posible riesgo que podría producirse en las diferentes etapas del proyecto. Es importante recalcar que este equipamiento debe ser aprobado por el organismo gubernamental responsable de la salud y seguridad laboral.

Tabla 2.2. Conformación del Equipo de Protección Personal.

Equipo de Protección Personal	Descripción	Ocupación
Guantes finos	Se utilizan en trabajos de transporte de carga, manipulación de herramientas, y transporte de materiales con bordes filosos.	Todos los trabajadores de la matriz.
Guantes de maniobra corrugados	Se utilizan en manipulación de tubería de perforación, su revestimiento mejora el agarre de la tubería que, por lo general, se tiene presencia de aceites o grasas.	Ayudantes de perforación
Overol	Se debe utilizar con cintas reflectivas para que sus usuarios puedan ser identificados en la oscuridad.	Todos los trabajadores de la matriz.
Chaleco reflectivo	Se debe utilizar con cintas reflectivas para que sus usuarios puedan ser identificados en la oscuridad. Utilizado	Supervisor de operaciones.

	en todos los trabajos determinados en la matriz.	
Ropa impermeable	Se debe utilizar con cintas reflectivas para que sus usuarios puedan ser identificados en la oscuridad.	Todos los trabajadores de la matriz.
Protector auditivo	Protector auditivo tipo copa. Debe adaptarse al casco.	Todos los trabajadores de la matriz.
Protección respiratoria	Su uso es momentáneo, se utiliza para proteger al personal de inhalar partículas peligrosas presentes en la atmósfera.	Todos los trabajadores de la matriz.
Arnés de Nylon	Debe estar constituido por 4 anillos tipo D de cuerpo entero.	Ayudantes de perforación.
Casco de seguridad	Cascos de color blanco para protección de cabeza. Deben tener cintas reflectivas, dos laterales y una en la parte posterior.	Todos los trabajadores de la matriz.
Gafas de seguridad	Lentes con lunas claras y fáciles de reemplazar, con protección lateral, 100% de policarbonato. Deben tener protección UV 400, brazos regulables.	Todos los trabajadores de la matriz.
Botas de seguridad	Deben ser botas con punta de acero, profundas y con resistencia a la abrasión. Protección de tobillo y planta de una sola pieza taco suela. Se usan dentro de la plataforma	Todos los trabajadores de la matriz.
Calzado de seguridad	Deben ser botas con punta de acero, profundas y con resistencia a la abrasión. Protección de tobillo y planta de una sola pieza taco suela. Se usan dentro de la plataforma para movilizarse hacia los distintos lugares en el campamento minero o viceversa.	Todos los trabajadores de la matriz.

<p>Tapones auditivos</p>	<p>Tapones reusables con estuche. Requieren cambios frecuentes, pueden durar hasta 5 meses. Por lo general, se utilizan por debajo de los protectores auditivos.</p>	<p>Todos los trabajadores de la matriz.</p>
---------------------------------	--	---

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.6 Equipo de protección personal completo Romandrill

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.9. Medidas de seguridad aplicables al proceso de perforación



Figura 2.7 Medidas de seguridad aplicables al proceso de perforación

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.10. Parámetros influyentes en el proceso de perforación

Como en cualquier industria, existen parámetros importantes a considerar cuando se quiere mejorar operaciones. La industria minera y, sobre todo, las operaciones de extracción de núcleo, están consideradas como actividades de alto riesgo. Por eso, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Ambiente Físico
- Ambiente Psicosocial

El ambiente físico es un factor de realce en las operaciones de extracción de núcleo. Además, está influido por:

- i. **Factores ergonómicos**, como las acciones realizadas por las cuadrillas de perforación, desde el ensamble de las plataformas hasta el momento de la perforación. Los ayudantes levantan e instalan tubería en la plataforma, mientras el operador maniobra la máquina. Estas acciones, al no realizarse con supervisión y capacitación adecuada, pueden afectar gravemente la salud del personal. Por eso, siempre hay que contar con un supervisor en seguridad al tanto de las actividades del operador y sus ayudantes.
- ii. **Riesgo producido por equipo de perforación**, el equipo de perforación emana ruido, vibraciones, polvo, etc. Es muy importante que el personal trabaje con un adecuado equipo de protección personal que conste de: casco, gafas, tapones auditivos, orejeras, overol, botas con punta de acero y guantes, para evitar que los riesgos producidos por el equipo de perforación no alteren la salud del personal. De esta manera se logra un ambiente que cumple los estándares de seguridad.

Por otra parte, el ambiente psicosocial que se puede encontrar, no solo en trabajos de perforación sino en la mina, se refiere a los valores, misión y visión de la empresa, así como a las actitudes y aptitudes de cada empleado. Los trabajos de perforación cumplen tiempos de jornadas muy distintos a cualquier otro empleo dentro de la ciudad. Si el ámbito laboral es exageradamente exigente y demanda de una presión exhaustiva, puede causar un cansancio emocional que se verá reflejado en los resultados de las operaciones.

Es muy importante recordar al personal que primero está su integridad y bienestar. Por eso, el papel de los supervisores es muy valioso, ya que coordinan que las cuadrillas cumplan jornadas laborales no extensivas, que cada persona refleje sus condiciones físicas y emocionales. En pocas palabras, en trabajos de alto riesgo el personal debe laborar en un ambiente seguro (Standen & Arrasco Trelles, 2018).

2.6.1.11. Análisis de inconvenientes y soluciones presentados en el proceso de perforación a diamantina

En el proceso de perforación a diamantina, suele presentar problemas a diario. A continuación, se detallan los más comunes:

Tabla 2.3. Inconvenientes y soluciones frecuentes en la perforación.

Descripción	Causa	Solución
Desgaste del diámetro interno de la corona de perforación	<p>Terreno fracturado.</p> <p>Elevada velocidad de penetración.</p> <p>Serie de la corona relativamente blanda.</p> <p>Escaso caudal de agua.</p>	<p>Para corregir el desgaste anormal del diámetro interior de la corona de perforación, hay que elevar el caudal del agua, adquirir coronas de serie más dura, elevar la velocidad de rotación y, en algunos casos, agregar cemento al pozo y disminuir el peso sobre la corona.</p>
Desgaste de la matriz de la corona con diamante	<p>Uso de coronas que poseen una matriz muy suave.</p> <p>Reducido flujo de agua.</p> <p>Excesivo peso sobre la corona, a comparación de la velocidad de rotación.</p>	<p>Para prevenir el desgaste de la matriz de la corona, antes que los diamantes, se debe verificar que el flujo de agua no sea muy bajo. Es posible aumentarlo. También se debe adquirir coronas de una serie más baja, es decir, más duras y, por último, se debe aumentar la velocidad de rotación y bajar el peso sobre la corona para evitar una pérdida prematura de su vida útil.</p>
Desviación del punto objetivo	<p>Sucede por la fuerza de empuje, aunque también puede ser ocasionado por la inestabilidad del suelo.</p>	<p>Se procede a utilizar otro tipo de herramientas, como escariadores con más anillos de diamantina, locking</p>

	Por lo general, cuando hay una mayor profundidad de perforación, también hay una mayor desviación del objetivo.	coupling, adapter diamantados y out tuber cromados para casos extremos de desviación. No se utiliza desde cero, porque es desperdiciar recursos costosos.
Pérdida de retorno de agua	El derrumbe de un pozo, como consecuencia de introducir y sacar la tubería a velocidades elevadas.	Aplicar una mezcla de bentonita, cemento y algún tipo de acelerante de fraguado para cementar el pozo.
Atascamiento por derrumbes	Se origina al no contar con óptimas propiedades de lodo. Los sedimentos o recortes se juntan al fondo del pozo.	Incorporar una bomba de lodos con mayor capacidad para expulsar recortes o sedimentos. Es una maniobra arriesgada, ya que se corre el riesgo de que, al ejercer presión, se modifique el diámetro del pozo.
Atascamiento de tubería por formaciones no consolidadas (grava, arena, peñascos de lecho de río, entre otros)	La arena o grava cae dentro del agujero y atasca la tubería de perforación. Por lo general, sucede cuando un pozo tiene muy poco o nada de cemento natural, o compactación entre partículas.	Por medio de la alta presión de agua, realizar un lavado del pozo. Luego, retirar o suspender la mayor cantidad de sólidos para generar una caverna que permita el paso de la tubería de la línea perforada. En caso de no obtener un resultado óptimo con el lavado del pozo, bajar el revestimiento hasta el fondo del mismo.

<p>Atascamiento de tubería por formaciones fracturadas y con fallas</p>	<p>La roca cercana a las fallas puede partirse en pedazos pequeños o grandes. Si es que estos se encuentran sueltos y caen en el pozo, podrían atascar la tubería.</p> <p>Es poco usual que suceda este tipo de atrapamiento durante la perforación.</p> <p>Suele suceder un atrapamiento de este tipo, cuando se perfora en formaciones de calizas fracturadas.</p>	<p>Se procede con la cementación del pozo que consiste en una mezcla de cemento y acelerantes de fraguado.</p> <p>Inicialmente se mezcla cemento y aditivos acelerantes en la tina de lodos, la cual se inyecta al fondo del pozo o hasta la profundidad de la falla, por gravedad o inyección accionada por la bomba de lodos del equipo de perforación. En el método de cementación por gravedad, inicialmente se debe retirar el tubo interno, dejando solo el tubo externo al interior del pozo. Se coloca una manguera desde la tina de lodos hasta el inicio del pozo para dejar caer el cemento. Una vez que este ha llegado al fondo del pozo, se retira el tubo externo y se espera que el cemento fragüe, para poder perforar el pozo.</p>
<p>Atrapamiento de tubería por formaciones móviles</p>	<p>Las formaciones móviles presionan el pozo hacia adentro y comprimen la tubería, al reducirla al tamaño del agujero.</p>	<p>Este inconveniente se soluciona por medio del escariado del pozo, que consiste en una manipulación continua por</p>

	Esto sucede al disminuirse el tamaño del agujero del pozo por donde ingresa la tubería, causando deformaciones.	parte del especialista de perforación, quien repetidamente debe subir y bajar la tubería para que cedan las paredes y, por consiguiente, se ensanche el diámetro del pozo.
Atrapamiento de tubería por colapso de arcillas naturalmente sobre presionadas	Una arcilla naturalmente sobre presionada, es aquella que recibe una presión natural de poro mayor al gradiente de presión hidrostática. Esto ocurre generalmente por fenómenos geológicos. Por ejemplo, compactamiento insuficiente, erosión, entre otros. En caso de no usar el peso de lodo suficiente, se dará como resultado un agujero inestable que colapsará el pozo. Además, se atascará la tubería.	Cuando se presenta este problema, la prioridad del especialista de perforación, es realizar maniobras de extracción de tubería para analizar si únicamente es necesario lavar el pozo, o proceder con la cementación del mismo.
Atrapamiento de tubería por formaciones reactivas	Cuando un terreno con arcilla es perforado, generalmente la arcilla absorbe el agua y causa una inflación hacia adentro del agujero del pozo.	En esta maniobra se debe incorporar aditivos inhibidores de arcilla que faciliten la manipulación de levantamiento y asentamiento de tubería.

Intercepción de agua subterránea a lo largo del trayecto de perforación	En todos los casos se debe a condiciones naturales del suelo que se está perforando.	Se debe evaluar las condiciones del pozo, tales como, la profundidad de intercepción del cuerpo de agua, la cantidad de retorno de agua, fugas, entre otros, una vez identificados estos factores se procede con la fabricación del tapón de cemento conformado por material impermeable, para obturar el pozo.
--	--	---

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.12. Procedimiento de Obturación de pozo por presencia de acuífero

Características para la elaboración del tapón

Debe estar fabricado de acuerdo al diámetro interior de la línea de perforación con la que el pozo está siendo perforado. Puede ser PWT, PQ, HQ, NQ o BQ. Asimismo, el tapón debe estar cubierto con materiales impermeables, asegurados con cinta de embalaje.

1. El tapón impermeable debe ser colocado según la profundidad indicada por el especialista de perforación. Además, tiene que ser introducido al pozo con ayuda del equipo de perforación, pues hay que ejercer presión para desplazarlo a lo largo del sondaje.
2. Cuando el tapón impermeable ha sido colocado, es importante inspeccionarlo por un período de 12 horas para corroborar que no existan fugas.
3. Una vez que el tapón ha sido utilizado como base, se procede a cementar el pozo con el apoyo del equipo de perforación y la bomba de lodos para la inyección del cemento viscoso. Se realiza una especie de loseta de hormigón. Luego, hay que mantener una inspección, por un período aproximado de 24 horas, para verificar que todo se

encuentre en orden. Después se realiza la movilización del equipo hasta su próximo punto de perforación.

4. Para garantizar que en el futuro no exista afloramientos o fugas de agua, es importante realizar el cementado de todo el trayecto del sondeo.



Figura 2.8 Metodología de obturación de pozo por presencia de acuífero

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

El presente estudio partió de un breve recorrido a través de la historia de la minería en Ecuador, tanto en la época incaica como en el tiempo actual, en el que se busca llevar a cabo una minería responsable, eficiente y estructurada estratégicamente por principios de sustentabilidad y sostenibilidad. Lo que inmediatamente llevó a este estudio a describir a detalle la metodología desarrollada en torno a la perforación a diamantina con extracción de testigos, ejecutada en la fase de exploración geológica avanzada para proyectos mineros, sin olvidar que este objetivo también buscaba la necesidad de identificar equipos, herramientas, aditivos y consumibles involucrados en las operaciones con recuperación de testigos; así como en la especificación de la metodología empleada por Romandrill Cía. Ltda., empresa que brinda su actividad comercial a través de ciclos de mejora continua, basados en un método desarrollado por Shewhart y utilizado por Deming, denominado ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar).

Estos procesos productivos le permiten al cliente establecer las reservas de cada concesión en las que se ejecutarán los proyectos mineros que, aunque sean de pequeña o gran escala, constan de cinco fases: prospección, exploración, explotación, beneficio y cierre, estos abarcan desde la estimación e identificación de yacimientos con probabilidades de encontrar recursos utilizables, hasta la planificación sostenible y sustentable para el área trabajada y su entorno. El punto es diagnosticar si los yacimientos mineralizados a explorar a futuro serán económicamente rentables. Los procesos de sondajes se pueden ejecutar mediante perforación a diamantina o aire reverso.

La perforación diamantina es una técnica que permite extraer muestras del subsuelo a diferentes profundidades, para lo que se ha desarrollado una metodología que consiste en explorar subsuelos, operación destinada a la obtención de una muestra cilíndrica o “testigo” de su interior. Lo que se consigue gracias al uso de una broca diamantada,

de ahí el nombre de la técnica. Además, vale mencionar que, entre los procedimientos de perforación a diamantina, existe el método convencional y el método denominado por cable o wireline. En el primer caso, al ser desocupado la porta testigo, la sarta de perforación finaliza su operación y es retirada completamente. En el segundo, se desocupa el tubo interior que contiene el testigo sin la necesidad de retirar toda la sarta de perforación.

Los equipos de perforación a diamantina se caracterizan por utilizar insumos de perforación diamantados que proporcionan un corte óptimo de testigo. Su sistema funcional se basa en la recuperación por rotación de las barras de perforación, las mismas que al llegar a la profundidad deseada se redirigen hasta la superficie, recuperando la muestra a lo largo del trayecto. Entre los equipos se encuentran: perforadora a diamantina (Hydracore 2.000, 4.000 o 5.000) de acuerdo a las necesidades específicas de cada sitio, y un equipo centrifugador de lodos de perforación (modelo Kubota V1505T) para el uso de agua en operaciones de extracción de núcleos.

En el proceso de perforación también son de suma importancia los aditivos: fluidos capaces de resolver eficientemente los distintos problemas presentes por las condiciones de terreno. Entre los aditivos hay grasas, lubricantes, bentonitas, estabilizadores y viscosificantes, y floculantes. Además, se debe tener en cuenta la viscosidad del fluido y el medidor de viscosidad. Otros aditivos son las coronas de perforación, adaptables a cada necesidad. Pueden ser de dos tipos: de inserción e impregnación, y de concreción. También están las barras de perforación y de revestimiento, el barril porta testigo, las bombas de lodo y la caja porta testigo.

Tras la enumeración de equipos, aditivos y consumibles, es importante mencionar que la perforación a diamantina requiere de tiempos de perforación (valga la redundancia). Esto permite una planificación estable a los proyectos y varía según las condiciones de suelo presentes en campo.

Lo que llevó al estudio a describir las tres etapas de los procesos de perforación a diamantina. Cada una necesita planificación para cumplir un seguimiento específico y brindarle beneficios al cliente. Las etapas son cuatro: 1) La de perforación se realiza

para conocer las condiciones del terreno que posteriormente permite desarrollar óptimas operaciones de perforación; 2) La etapa de trayecto de perforación valora recursos mineros de interés a buscar u obtener; 3) La de finalización de la perforación ocurre cuando se ha cumplido con el objetivo; y, 4) Desmontaje del área, es decir, retiro de equipos y materiales, levantamiento de geomembranas y vigas, desmantelamiento de la cubierta, floculación de SST, fotografía de floculante, recolección de lodos y deshechos.

3.2. Recomendaciones

Para llevar óptimamente a cabo la metodología desarrollada para perforación a diamantina con extracción de testigos, ejecutada en la fase de exploración geológica avanzada para proyectos mineros, es obligatorio respetar normativa del equipo de protección personal (EPP), la cual tiene como objetivo preservar la salud e integridad de los empleados. Además, vale recordar que la empresa está obligada a proporcionar y capacitar periódicamente a su personal sobre el equipamiento, mismo que debe ser aprobado por el organismo gubernamental respectivo.

Entre el equipamiento hay: guantes finos y de maniobra corrugados, overol, chaleco reflectivo, ropa impermeable, protector auditivo, protección respiratoria, arnés de nylon, casco, gafas, botas y calzado de seguridad, y tapones auditivos.

Asimismo, al ser considerada la minería como una actividad de alto riesgo, el ambiente físico que rodea al personal debe encontrarse en condiciones adecuadas para que puedan realizar sus labores de la mejor manera posible. Lo que debe primar es la integridad y bienestar de los empleados.

Por último, en el proceso de perforación suelen presentarse problemas a diario, por lo que hay que tener un listado de posibles soluciones para evitar cualquier tipo de riesgo. Por ejemplo, puede haber desgaste del diámetro interno de la corona de perforación, desviación del punto objetivo, pérdida de retorno de agua, atascamiento por derrumbes, atrapamiento de tubería por formaciones móviles, entre otro

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirnao, E., & Martínez, H. (2020). Influencia del tipo de broca y parámetros de perforación en la trayectoria de los taladros en la perforación diamantina una unidad minera. Revisión sistemática entre 2010-2020. Trujillo , Perú : Universidad Privada del Norte. Recuperado el Enero de 2023, de Universidad Privada del Norte:
https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27457/Altamirano%20Guzman%20Erick%20Johan_Martinez%20Lecca%20Hugo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Amec Foster Wheeler plc. (2016). Reporte anual de cuentas 2016. Londres: Amec Foster Wheeler plc.
- American Mfg Company. (2023). American Mfg Company. Recuperado el mayo de 2023, de American Mfg Company: <https://www.american-manufacturing.com/mining/american-aw1122bcd-piston-pump>
- Arias, R. M. (2 de febrero de 2018). UNAM.MX. Recuperado el Mayo de 2023, de UNAM.MX:
http://www.dict.unam.mx/images/upload/PETROLERA/LFP2018/MADO-Fluidos_de_perforacion.pdf
- Banco Central del Ecuador . (2021). Reporte de minería. Resultados al primer trimestre 2021. Quito: Gestión Analítica e Inteligencia de Datos.
- Becerra, J. (Julio de 2021). Gestión de la perforación diamantina a través de metodologías ágiles (SCRUM - KANBAN). Recuperado el Octubre de 2022, de Pontificia Universidad Católica del Perú Escuela de Posgrado:
<https://bit.ly/3zny4xa>
- Boart Longyear. (2023). Boart Longyear. Recuperado el mayo de 2023, de Boart Longyear:
<https://www.boartlongyear.com/es/products/nonmining/nonmining-multipurpose/>
- Boart Longyear. (2023). Boart Longyear. Recuperado el mayo de 2023, de Boart Longyear: <https://www.boartlongyear.com/es/product/lf70/>

- Boyles Bros Diamantina. (2017). Manual técnico del perforista. Recuperado el Mayo de 2023, de Manual técnico del perforista: <https://www.boyles.com.pe/wp-content/uploads/2017/03/MT-DEL-PERFORISTA.pdf>
- BOYLES BROS DIAMANTINA. (2022). BOYLES BROS DIAMANTINA. Recuperado el mayo de 2023, de BOYLES BROS DIAMANTINA: <https://www.boyles.com.pe/producto/productos-diamantinos/escareadores/>
- Burris, J. (2023). Boart Longyear. Recuperado el mayo de 2023, de Boart Longyear: <https://www.boartlongyear.com/es/insite/directional-drilling-with-wireline-core-barrels/>
- Carvajal, J., Rodríguez, C., Patiño, C., & Guevara, F. (14 de Marzo de 2015). Desarrollo e implementación de un nuevo plan de mantenimiento para equipos de perforación diamantina. Recuperado el Noviembre de 2022, de <https://bit.ly/42Z17XV>
- (2023). Cronograma de Trabajo de Romandrill Cía. Ltda. Romandrill, Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Duco Drilling Supply inc. (2023). DUCO DRILLING. Recuperado el MAYO de 2023, de DUCO DRILLING: <https://www.ducodrilling.com/es/produit/tubos-perforacion-tubos-ademe/>
- Fernández, R., Barrio, R., & Tessone, M. (2015). Perforación en la exploración minera. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- FORDIA. (2023). Accesorios para aditivos de perforación. Recuperado el mayo de 2023, de FORDIA POWERED BY EPIROC: <https://www.fordia.com/es/products/core-drilling-tools/additives-lubricants/accessories-for-drilling-additives>
- Hernández, M., & Manrique, A. (2018). Formación de un fluido de perforación de alto rendimiento polimérico en base de agua para el bloque CEPO-05 de la cuenca de los llanos orientales. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Hydracore Drills. (2023). Hydracore Drills. Recuperado el mayo de 2023, de Hydracore Drills: <https://hydracore.com/surface-drills/hc2000/>
- Hydracore Drills. (2023). Hydracore Drills. Recuperado el mayo de 2023, de Hydracore Drills: <https://hydracore.com/surface-drills/hc5000/>
- Meléndez, C. (2022). Registros de la historia de la perforación. Obtenido de www.perforacionesdiamantinas.com: <https://bit.ly/3m3692z>

- Minga Service S.A. (2023). Mingaservice. Recuperado el mayo de 2023, de Mingaservice: <https://www.mingaservice.com/web/producto/item/cajas-para-almacenar-testigos-de-perforacion-en-plastico-solido-hq>
- Multi Power. (2020). Paramount Centrifuge. Recuperado el mayo de 2023, de Paramount Centrifuge: <https://centrifuge.multipowerproducts.com/>
- (2023). Organigrama de Empresa de Romandrill Cía. Ltda. Romandrill, Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Paganini, G. (10 de 05 de 2022). REVISTAVIAL. Recuperado el 04 de 07 de 2023, de VIAL: <https://revistavial.com/etapas-de-un-proyecto-minero/>
- PEDREROS, M. M., & MANRIQUE OSORIO, A. (2018). FORMULACION DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN DE ALTO RENDIMIENTO POLIMERICO EN BASE AGUA PARA EL BLOQUE CPO-05 DE LA CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES. Recuperado el Abril de 2023, de FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6721/1/6112774-2018-1-IQ.pdf>
- Romandrill. (2022). romandrill. Recuperado el mayo de 2023, de romandrill: <https://www.romandrill.com/>
- Romandrill Perforaciones. (2022). Romandrill Perforaciones. Recuperado el mayo de 2023, de Romandrill Perforaciones: <https://www.romandrill.com/portfolio/hydracore-4000/>
- Romandrill Perforaciones. (2022). Romandrill Perforaciones. Recuperado el mayo de 2023, de Romandrill Perforaciones: <https://www.romandrill.com/portfolio/hydracore-5000/>
- Romandrill Perforaciones. (2022). Romandrill Perforaciones. Recuperado el mayo de 2023, de Romandrill Perforaciones: <https://www.romandrill.com/equipos/>
- 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.
- SON-MAK. (2020). www.son-mak.com.tr/. Recuperado el Noviembre de 2022, de ANALYSIS SYSTEM OF CORE BARREL: <https://bit.ly/3zmqXVQ>
- Standen, A. T., & Arrasco Trelles, J. (2018). Mejora del proceso de producción de una empresa fabricante de maquinaria de perforación diamantina. Lima:

Universidad de Lima. Recuperado el Diciembre de 2022, de Universidad de Lima.

Tripp, M. (2023). Boart Longyear. Recuperado el mayo de 2023, de Boart Longyear:
<https://www.boartlongyear.com/es/product/lm75/lm75-horizontal-2/>

ANEXOS

Registro de perforación proyecto N.º 1

Profundidad	Fecha	Línea	Inicio	Fin	Metros	Angulo	Azimuth	Observación
0,00	09/12/2022	PQ	0,00	0,00	0,00	-55°	-44,73°	HP DRILLING coloco revestimiento PTW- 30M y perforo hasta los 753m. Pozo a retomar por Romandril. Rimado PQ de 0m a 43,5m. Liberación de plataforma. Inicio de operación 11h00am. Retorno de agua al 0%.
0,00		PQ	0,00	0,00	0,00	-55°	-44,73°	Rimado PQ de 43,5m a 118m. Rimado HQ3 de 118m a 751m. Retorno de agua 0%.

Anexo 1. Gráfico de registro de perforación: inicio de perforación, POZO 1

Profundidad	Fecha	Línea	Inicio	Fin	Metros	Angulo	Azimuth	Observación
0,00	10/12/2022	HQ3	0,00	0,00	0,00	-55°	-44,73°	Cambio de línea de perforación de PQ a HQ3. Retorno de agua al 70%.
765,00		HQ3	753,00	765,00	12,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 70%. Prueba GIROSCOPIO Azimuth: -49,47 grados e Inclinación: -60,43 grados a 600m. Rimado HQ3 de 751m a 753m. Se inicia perforación con HQ3 desde los 753m.
780,00	11/12/2022	HQ3	765,00	780,00	15,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca Fracturada
790,50		HQ3	780,00	790,50	10,50	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 0%. Roca compacta. Presencia de roca en el curvaro. Prueba GIROSCOPIO a los 780m. Azimuth: -48,32 grados e Inclinación: -60,72 grados.
804,00	12/12/2022	HQ3	790,50	804,00	13,50	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 0%. Roca compacta y fracturada. Se perfora zonas de arcilla a los 802,5m. Mantenimiento del panel de control.
818,80		HQ3	804,00	818,80	14,80	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 0%. Roca compacta. Prueba GIROSCOPIO a los 810m. Azimuth: 47,57 grados e Inclinación: -59,65 grados.
820,00	13/12/2022	HQ3	818,80	820,00	1,20	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 0%. Roca compacta. Salida e ingreso de línea de perforación por cambio de corona. Mantenimiento de motores.
835,50		HQ3	820,00	835,50	15,50	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 0%. Roca compacta
847,50	14/12/2022	HQ3	835,50	847,50	12,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca fracturada. Mantenimiento de bomba hidráulica. Se perfora con zonas de arcilla a los 836m (0,60cm de falla). Prueba GIROSCOPIO a los 840m. Azimuth: -47,61 grados e Inclinación: -59,41 grados.
862,50		HQ3	847,50	862,50	15,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca semicompacta.
875,80	15/12/2022	HQ3	862,50	875,80	13,30	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 30%. Roca fracturada. Prueba GIROSCOPIO a los 870m. Azimuth: -44,61 grados e Inclinación: -58,75 grados. Mantenimiento de motores
890,30		HQ3	875,80	890,30	14,50	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca fracturada.
901,50	16/12/2022	HQ3	890,30	901,50	11,20	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca Fracturada. Prueba GIROSCOPIO a los 900m. Azimuth: -48,03 grados e Inclinación: -58,78 grados. Mantenimiento de motores. Inspección de Fiscalización y SSO HANRINE.
916,50		HQ3	901,50	916,50	15,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca compacta. Mantenimiento de bomba de agua.
924,00	17/12/2022	HQ3	916,50	924,00	7,50	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 10%. Roca fracturada. Mantenimiento de motores. Standby a pedido del cliente por filtración de agua de plataforma a 60m de la cota (2h30min).
924,00		HQ3	924,00	924,00	0,00	-55°	-44,73°	Cambio de línea de perforación de HQ3 a NQ3. Prueba GIROSCOPIO a los 916,6m. Azimuth: -48,10 grados e Inclinación: -58,78 grados.

Anexo 2. Gráfico de registro de perforación: cambio de línea de perforación, POZO 1

Profundidad	Fecha	Línea	Inicio	Fin	Metros	Angulo	Azimuth	Observación
927,00	18/12/2022	NQ3	924,00	927,00	3,00	-55°	-44,73°	Se avanza con NQ3 desde los 924m. Retorno de agua al 100%. Roca compacta. Mantenimiento de bomba de lodos. Ingreso de tubería NQ3.
927,00		NQ3	927,00	927,00	0,00	-55°	-44,73°	Levantamiento de línea de perforación. Mantenimiento de bomba de lodos y bomba hidráulica.
927,00	19/12/2022	NQ3	927,00	927,00	0,00	-55°	-44,73°	Prueba GIROSCOPIO a los 910m. Azimuth: -47,43 grados e Inclinación: -58,48 grados. Ingreso de línea de perforación NQ3. Mantenimiento de bomba hidráulica y bomba de lodos.
927,00		NQ3	927,00	927,00	0,00	-55°	-44,73°	Mantenimiento de bomba hidráulica y bomba de lodos
942,00	20/12/2022	NQ3	927,00	942,00	15,00	-55°	-44,73°	Retorno del agua al 100%. Roca Compacta. Mantenimiento de la bomba de agua. Prueba GYROSCOPIO. Azimuth: -46,38°. Inclinación: -58,41°.
956,10		NQ3	942,00	956,10	14,10	-55°	-44,73°	Retorno del agua al 100%. Roca Fracturada. Mantenimiento de bomba de agua de captación.
967,80	21/12/2022	NQ3	956,10	967,80	11,70	-55°	-44,73°	Retorno del agua al 100%. Roca Fracturada. Prueba GYROSCOPIO a los 960m. Azimuth: -48,04°. Inclinación: -57,79°.
969,70		NQ3	967,80	969,70	1,90	-55°	-44,73°	Retorno del agua al 100%. Roca Fracturada. Levantamiento de línea de perforación por cambio de corona.
983,10	22/12/2022	NQ3	969,70	983,10	13,40	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 100%. Roca Fracturada.
989,05		NQ3	983,10	989,05	5,95	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 100%. Roca Fracturada. Roca en el curvar. Mantenimiento de motores.
1005,30	23/12/2022	NQ3	989,05	1005,30	16,25	-55°	-44,73°	Retorno del agua al 80%. Roca fracturada. Mantenimiento de motores y bomba de lodos. Prueba GYRO a los 990m. Az: -50,33°. Inclinación: -57,75°.
1032,30		NQ3	1005,30	1032,30	27,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 80%. Roca fracturada. Mantenimiento del wireline.
1038,30	24/12/2022	NQ3	1032,30	1038,30	6,00	-55°	-44,73°	Retorno del agua al 70%. Roca compacta. Estabilización del pozo tratando de obturar falla. Prueba GYROSCOPIO a los 1020m. Az: -49,45°. Inclinación: -56,74°.
1038,30		NQ3	1038,30	1038,30	0,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 80%. Roca Fracturada. Levantamiento de línea de perforación por cambio de corona. Ingreso de pastilla para sellar pozo.
1038,30	25/12/2022	NQ3	1038,30	1038,30	0,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 70%. Roca Compacta.
1053,30		NQ3	1038,30	1053,30	15,00	-55°	-44,73°	Retorno de agua al 80%. Roca Compacta. Finalización de pozo. Prueba GYROSCOPIO a los 1053,30 m. Az: 53,46°. Inclinación: -54,15°.
1053,30	26/12/2022	NQ3	1053,30	1053,30	0,00	-55°	-44,73°	Levantamiento de línea de perforación y obturación de pozo.
1053,30		NQ3	1053,30	1053,30	0,00	-55°	-44,73°	Levantamiento de línea de perforación NQ, HQ, PQ. Finalización de pozo.

Anexo 3. Gráfico de registro de perforación: cambio de línea de perforación y finalización de pozo, POZO 1

Profundidad	Fecha	Línea	Inicio	Fin	Metros	Angulo	Azimuth	Comentario
1053,30	27/12/2022	-	-	-	0,00	0	0	Desmontaje de plataforma. Traslado de tubería.
1053,30		-	-	-	0,00	0	0	Desmontaje de plataforma. Traslado de tubería.
1053,30	28/12/2022	-	-	-	0,00	0	0	Traslado de los equipos a sitio temporal.
1053,30		-	-	-	0,00	0	0	Armado de la nueva plataforma, traslado de equipos y maquinaria al nuevo sitio de perforación.
1053,30	29/12/2022	-	-	-	0,00	0	0	Traslado de equipos y maquinaria al nuevo sitio de perforación. Instalación de vigas.
1053,30		-	-	-	0,00	0	0	Traslado de equipos y maquinaria al nuevo sitio de perforación. Instalación de vigas.

Anexo 4. Gráfico de registro de perforación: finalización de pozo, POZO 1



Anexo 5. Acondicionamiento del lugar para armado de plataforma, POZO 1



Anexo 6. Finalizando armado de plataforma, POZO 1



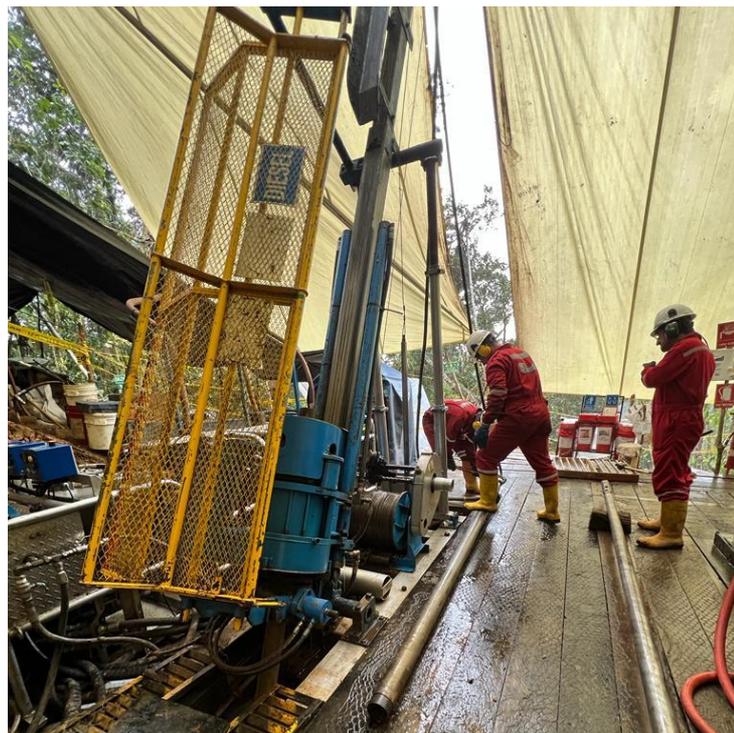
Anexo 7. Movilización de herramienta de perforación hacia plataforma, POZO 1



Anexo 8. Movilización de equipos complementarios de perforación hacia plataforma, POZO 1



Anexo 9. Capacitación a personal previo inicio de perforación



Anexo 10. Inicio de perforación



Anexo 11. Supervisión de tinas de lodos durante perforación



Anexo 12. Cambio de línea HQ a NQ durante perforación



Anexo 13. Supervisión operaciones durante la perforación