

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PERFORADORA PACKSACK EN
LA PERFORACIÓN DIAMANTINA DEL PROYECTO MINERO SUBTERRÁNEO
HUAYRAPONGO PROVINCIA DE SAN PABLO**

Tesis para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. LOZANO TIRADO, TITO

Asesor:

Dr. RODRÍGUEZ CRUZADO, SEGUNDO REINALDO

CAJAMARCA – PERÚ

2025

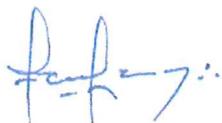
CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Tito Lozano Tirado
DNI: 47338478
Escuela Profesional: Ingeniería de Minas
- Asesor:** Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PERFORADORA PACKSACK EN LA PERFORACIÓN DIAMANTINA DEL PROYECTO MINERO SUBTERRÁNEO HUAYRAPONGO PROVINCIA DE SAN PABLO
- Fecha de evaluación:** 10/05/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 12%
- Código Documento:** oid:::3117:457672291
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 10/05/25



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos:
Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado
DNI: 26722961



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 10/05/2025 18:27:06-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PERFORADORA PACKSACK EN LA PERFORACIÓN DIAMANTINA DEL PROYECTO MINERO SUBTERRÁNEO HUAYRAPONGO PROVINCIA DE SAN PABLO.*

ASESOR : *Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0200-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 13 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintitrés días del mes de mayo de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PERFORADORA PACKSACK EN LA PERFORACIÓN DIAMANTINA DEL PROYECTO MINERO SUBTERRÁNEO HUAYRAPONGO PROVINCIA DE SAN PABLO*, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas *TITO LOZANO TIRADO*, asesorado por el Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *04:00* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11:00* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *15:00* PTS. *QUINCE* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *QUINCE* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *12:00* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios, que me ha dado la vida y la salud, para desarrollarme profesionalmente.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por permitirme ser parte de la Ingeniería.

A mi asesor, Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por brindarme su asesoría, guía metodológica y asistencia en la presente investigación.

TL.

DEDICATORIA

Esta investigación de tesis lo dedico con bastante aprecio a mi esposa Grace, a mi hija Arleth, a mis queridos padres Obrilfido y Florinda, a mis hermanos Elmer, Ruben y Rossmel, quienes con tanto cariño me apoyaron a terminar mi carrera profesional.

TL.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	3
2.1.3. Antecedentes Locales	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Perforación diamantina (DDH).....	5
2.2.2. Coronas diamantinas.....	6
2.2.3. Perforadora PackSack.....	10
2.2.4. Fluidos de Perforación.....	16
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	16

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1.1. Accesibilidad.....	18
3.1.2. Fisiografía.....	19
3.1.3. Geomorfología.....	19
3.1.4. Hidrología	20
3.1.5. Hidrogeología	20
3.2. GEOLOGÍA LOCAL	21
3.2.1. Volcánico Chilete.....	22
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.....	23
3.3.2. Población de estudio	23
3.3.3. Muestra	23
3.3.4. Unidad de análisis	23
3.3.5. Definición de variables	24
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	24
3.4.1. Técnicas	24
3.4.2. Instrumentos y equipos	25
3.5. PROCEDIMIENTO	26
3.5.1. Registro y control de parámetros de perforación.....	26
3.5.2. Velocidad de rotación	26
3.5.3. Peso sobre la corona.....	27
3.5.4. Velocidad del fluido	29
3.5.5. Funcionamiento de los aditivos de perforación.....	29
3.5.6. Accesorios adicionales de perforación	30

3.5.7. Variables de perforación correcta.....	33
3.6. CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	34
3.7. DATOS RECOPIADOS DE SONDAJES	34

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE SONDAJES MEDIDOS	47
4.1.1. Sondaje PDPS0101.....	47
4.1.2. Sondaje PDPS0102.....	49
4.1.3. Sondaje PDPS0103.....	52
4.1.4. Sondaje PDPS0104.....	54
4.1.5. Sondaje PDPS0105.....	56
4.1.6. Sondaje PDPS0106.....	59
4.1.7. Sondaje PDPS0107.....	61
4.1.8. Sondaje PDPS0108.....	63
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	74

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	75
5.2. RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	79

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Tubos de perforación diamantina.....	5
Figura 02. Tipos de corona de diamante usadas en la perforación.....	6
Figura 03. Broca de perforación diamantina con vías de agua radiales (izquierda) y vías de agua inclinadas (derecha).....	7
Figura 04. Corte longitudinal al cuerpo de una corona.....	8
Figura 05. Broca con canales de refrigeración obstaculizados (izquierda) y broca fundida (derecha).....	10
Figura 06. Perforadora versátil PackSack.....	10
Figura 07. Esquema simplificado para el análisis del comportamiento del fluido durante el proceso de perforación.....	13
Figura 08. Modelo geométrico de la broca con vías de agua radiales (izquierda) y de la broca con vías de agua inclinadas (derecha)....	14
Figura 09. Volumen de control que encierra la corona de la broca de perforación.....	15
Figura 10. Volumen de control de entrada del fluido (primer dominio), salida del fluido (segundo dominio) y dominio total del modelo.....	15
Figura 11. Triángulo de perforación correcta.....	31
Figura 12. Zapata y escariador.....	31
Figura 13. Cabezal y tubo interior o saca testigos.....	32
Figura 14. Parte superior del cabeza al que va enroscado el tubo saca testigos (tubo interior).....	32
Figura 15. Triángulo de perforación correcta.....	33

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	48
Gráfico 2. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	48
Gráfico 3. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	50
Gráfico 4. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	51
Gráfico 5. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	52
Gráfico 6. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	53
Gráfico 7. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	55
Gráfico 8. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	55
Gráfico 9. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	57
Gráfico 10. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	58
Gráfico 11. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	59
Gráfico 12. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	60
Gráfico 13. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	62
Gráfico 14. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	62
Gráfico 15. Avance de metros perforados vs meta proyectada.....	64
Gráfico 16. Desviación esperada vs desviación acumulada.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Coordenadas de la concesión Nebulosa Tres.....	18
Tabla 02. Vías de acceso a la zona de estudio.....	19
Tabla 03. Descripción fisiográfica presente en el proyecto.	19
Tabla 04. Descripción geomorfológica presente en el proyecto.	20
Tabla 05. Descripción de las unidades hidrogeológicas.....	21
Tabla 06. Descripción de las unidades geológicas.....	21
Tabla 07. Datos y parámetros de perforación de los sondajes PDPS0101 y PDPS0102.....	35
Tabla 08. Datos y parámetros de perforación de los sondajes PDPS0103 y PDPS0104.....	36
Tabla 09. Datos y parámetros de perforación del sondeaje PDPS0105.	37
Tabla 10. Datos y parámetros de perforación del sondeaje PDPS0106.	37
Tabla 11. Datos y parámetros de perforación de los sondajes PDPS0107 y PDPS0108.....	38
Tabla 12. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0101.....	39
Tabla 13. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0102.....	40
Tabla 14. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0103.....	41
Tabla 15. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0104.....	42
Tabla 16. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0105.....	43
Tabla 17. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0106.....	44
Tabla 18. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0107.....	45
Tabla 19. Resultado del procesamiento de medición del sondeaje PDPS0108.....	46
Tabla 20. Resultados de desviación del sondeaje PDPS0101.....	47

	Pág.
Tabla 21. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0101.....	49
Tabla 22. Resultados de desviación del sondaje PDPS0102.....	50
Tabla 23. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0102.....	51
Tabla 24. Resultados de desviación del sondaje PDPS0103.....	52
Tabla 25. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0103.....	53
Tabla 26. Resultados de desviación del sondaje PDPS0104.....	54
Tabla 27. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0104.....	56
Tabla 28. Resultados de desviación del sondaje PDPS0105.....	57
Tabla 29. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0105.....	58
Tabla 30. Resultados de desviación del sondaje PDPS0106.....	59
Tabla 31. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0106.....	60
Tabla 32. Resultados de desviación del sondaje PDPS0107.....	61
Tabla 33. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0107.....	63
Tabla 34. Resultados de desviación del sondaje PDPS0108.....	64
Tabla 35. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0108.....	65
Tabla 36. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0101.....	66
Tabla 37. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0102.....	67
Tabla 38. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0103.....	67
Tabla 39. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0104.....	67
Tabla 40. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0105.....	68
Tabla 41. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0106.....	68
Tabla 42. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0107.....	69
Tabla 43. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0108.....	69
Tabla 44. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0101.....	70
Tabla 45. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0102.....	70
Tabla 46. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0103.....	71
Tabla 47. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0104.....	71
Tabla 48. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0105.....	72
Tabla 49. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0106.....	72
Tabla 50. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0107.....	73
Tabla 51. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0108.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

Acu	:	Acumulada
Deg	:	Grados sexagesimales
DDH	:	Diamond Drill Hole (Taladro diamantino)
Desv	:	Desviación
DTH	:	Down The Whole (Dentro del taladro)
DTHH	:	Down The Hole Hammer (Martillo dentro del taladro)
Esp	:	Esperada
Gal	:	Galones
HP	:	Horsepower (caballos de fuerza)
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
MPD	:	Metros perforados por día.
PDPS	:	Perforación diamantina con perforadora PackSack.
PMH	:	Proyecto Minero Huayrapongo.
PSI	:	Pound per square inch (Libras por pulgada cuadrada)
RPC	:	Revolutions per centimeter (Revoluciones por centímetro)
RPI	:	Revolutions per inch (Revoluciones por pulgada de avance)
RPM	:	Revolutions per minute (Revoluciones por minuto)

RESUMEN

La investigación como objeto de estudio se encuentra ubicado en el distrito de San Bernardino, provincia San Pablo, región Cajamarca y se enfocó en evaluar el rendimiento de la máquina perforadora Packsack. En la investigación se planteó la pregunta: ¿Cómo influyen las condiciones de profundidad del taladro, velocidad de rotación de la corona, velocidad del fluido y calidad de la roca en el rendimiento de la máquina perforadora Packsack en el proceso de perforación diamantina del Proyecto Minero Huayrapongo distrito San Bernardino, San Pablo? El objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento de la máquina perforadora Packsack en el proceso de perforación diamantina del PMH. Como objetivos específicos se tiene evaluar la desviación de los sondajes perforados, analizar los avances de perforación diaria con la meta diaria a cumplir y evaluar los parámetros de perforación como velocidad de rotación, caudal del fluido y presión de avance. La hipótesis indica que el rendimiento de la máquina perforadora PackSack depende de las condiciones de profundidad del taladro, velocidad de rotación de la corona, velocidad del fluido y calidad de la roca. El procedimiento elaborado para esta investigación consistió en lo siguiente: se visitó in situ la zona de estudio, verificar las condiciones de seguridad de la labor minera, recolección de datos del rendimiento de la perforadora como: velocidad de rotación de la corona, velocidad del fluido y profundidad de los testigos. Se concluye que la desviación en el buzamiento para el sondaje 01 es 1.704° , sondaje 02 es 2.476° , sondaje 03 es 3.377° , sondaje 04 es 4.655° , sondaje 05 es 2.121° , sondaje 06 es 2.771° , sondaje 07 es 1.583° , sondaje 08 es 0.607° ; 7 desviaciones se encuentran por encima del límite máximo de 0.5° y solo una por debajo del límite aceptable.

PALABRAS CLAVE: Rendimiento, Packsack, Perforación Diamantina, Proyecto Minero Huayrapongo.

ABSTRACT

The research object of study is located in the district of San Bernardino, San Pablo province, Cajamarca region, and focused on evaluating the performance of the Packsack drilling rig. The research posed the question: How do the conditions of drill depth, crown rotation speed, fluid velocity, and rock quality influence the performance of the Packsack drilling rig in the diamond drilling process of the Huayrapongo Mining Project in the San Bernardino district, San Pablo? The objective of the research was to evaluate the performance of the Packsack drilling rig in the diamond drilling process of the PMH. The specific objectives are to evaluate the deviation of drilled holes, analyze daily drilling progress against the daily target, and evaluate drilling parameters such as rotational speed, fluid flow rate, and feed pressure. The hypothesis is that the performance of the PackSack drilling rig depends on the conditions of drill depth, core bit rotational speed, fluid velocity, and rock quality. The procedure developed for this investigation consisted of the following: an on-site visit to the study area, verification of mining safety conditions, and collection of data on drill bit performance, including core bit rotational speed, fluid velocity, and core depth. It is concluded that the deviation in dip for drillhole 01 is 1.704° , drillhole 02 is 2.476° , drillhole 03 is 3.377° , drillhole 04 is 4.655° , drillhole 05 is 2.121° , drillhole 06 is 2.771° , drillhole 07 is 1.583° , drillhole 08 is 0.607° ; 7 deviations are above the maximum limit of 0.5° and only one is below the acceptable limit.

KEY WORDS: Performance, Packsack, Diamond Drilling, Huayrapongo Mining Project.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Proyecto Minero Huayrapongo se realizó sondajes diamantinos en vetas angostas con el propósito de aprovechar al máximo el valor económico de dichas vetas mineralizadas, en las condiciones de secciones subterráneas pequeñas hizo que el equipo de exploración usado sea liviano y de rápida maniobrabilidad, en tal sentido se empleó la máquina perforadora diamantina Packsack, la cual tiene un alcance de perforación de 50m, y permitió trabajar en espacios confinados, de fácil transportar e instalación rápida; además, el equipo está diseñado para trabajos en cruceros, chimeneas y galerías.

La investigación se orientó a evaluar el rendimiento de la máquina perforadora Packsack en el proceso de perforación diamantina, el propósito fue definir las relaciones operacionales de la máquina en campo con sus especificaciones técnicas de fábrica, considerando los parámetros de: velocidad de rotación de la corona diamantina, velocidad del fluido que debe enfriar efectivamente la broca y remover los detritus de perforación, y profundidad de los testigos.

En la investigación se planteó la pregunta: ¿Cómo influyen las condiciones de profundidad del taladro, velocidad de rotación de la corona, velocidad del fluido y calidad de la roca en el rendimiento de la máquina perforadora Packsack en el proceso de perforación diamantina del Proyecto Minero Huayrapongo distrito San Bernardino – San Pablo?, cuya hipótesis fue: el rendimiento de la máquina perforadora PackSack depende de las condiciones de profundidad del taladro, velocidad de rotación de la corona y velocidad del fluido.

La importancia de la investigación radica en conocer el proceso de perforación diamantina que se realiza con un equipo liviano dentro de una sección subterránea; así como, analizar el rendimiento de la máquina perforadora a corto y mediano plazo operando en interior mina.

El objetivo principal es evaluar el rendimiento de la máquina perforadora Packsack en el proceso de perforación diamantina del Proyecto Minero Huayrapongo; como objetivos específicos se tiene evaluar la desviación de los sondajes perforados, analizar los avances de perforación diaria con la meta diaria a cumplir y evaluar los parámetros de perforación como velocidad de rotación y presión de avance.

La investigación está organizada en cinco capítulos: Capítulo I. Se presenta la Introducción. Capítulo II. Inicia mostrando los antecedentes teóricos de la presente investigación y continúa con las bases teóricas del proceso de perforación diamantina con perforadora PackSack, finalmente se presenta la definición de términos básicos. Capítulo III. Materiales y métodos donde comprende, ubicación geográfica donde se realiza la investigación, el procedimiento a seguir mediante los sondajes, tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados en las pruebas realizadas en la zona de investigación, así como la población, muestra y algunas técnicas de recolección de datos. Capítulo IV. Se realiza el análisis y discusión de resultados, mostrando los datos obtenidos con las pruebas de sondajes; por consiguiente, contrastándose los resultados con la hipótesis; por último, el Capítulo V. Presenta las conclusiones y recomendaciones que se ha llegado en todo el estudio de investigación, y finalmente se encuentran las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Hormazábal (2022), en su investigación, Estimación de la orientación y frecuencia de fracturas en sondajes a partir de análisis de imágenes y Machine Learning; concluye que los modelos de Machine Learning permiten estimar con un 65-68% de precisión la frecuencia de fracturas equivalente en tramos de roca muy fracturada.

Núñez (2024), en su investigación, Evaluación geológica con sondajes diamantinos del prospecto Incahuasi, región de Antofagasta, Chile; concluye que hasta las profundidades alcanzadas con los tres sondajes perforados, no se reconocen características típicas de un depósito tipo pórfido cuprífero como vetillas, alteración, mineralización ni anomalías en concentración de elementos de interés.

Pizarro (2011), en su investigación, Exploración con sondajes proyecto Pulucktur distrito Codelco Norte; identificó un alineamiento de pórfidos de unos 300 a 400 m de ancho que representan la extensión al sur del Cluster Toki, con la misma edad de la mineralización y que se extendería a lo largo de más de 3 km en dirección NNE.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Bejarano (2017), en su informe por servicios profesionales, Proceso de perforación diamantina y logeo geológico en el proyecto minero La Granja Rio Tinto en Querocoto – Chota – Cajamarca. Menciona que es de suma importancia conocer y aplicar los pasos del proceso de perforación como la planificación, liberación del área de trabajo, procedimiento de perforación diamantina y logeo.

Garay (2014), en su tesis, Análisis de vías de agua de brocas de perforación diamantina mediante simulación numérica; ha hallado que un menor desgaste de brocas permite mayores metrajes de perforación, lo cual implica reducción en el tiempo de para de la máquina perforadora, pues el intercambio de brocas usadas y nuevas se realizará con menor frecuencia dentro de una jornada laboral, lo cual proporciona mayor eficiencia durante la perforación de taladros.

Mantilla (2019), en su tesis, Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina; aclara que la trayectoria de los taladros varían los parámetros de perforación como la profundidad del taladro, velocidad de rotación de la corona, caudal del fluido y pulldown o empuje. Así mismo al variar los parámetros de perforación, también varía la inclinación y el azimut del taladro.

Urteaga (2016), en su tesis, Optimización del porcentaje de recuperación de testigos de sondajes diamantinos en rocas fracturadas, aumentando la viscosidad de los fluidos de perforación y variando parámetros operacionales en Minera Condestable; menciona que al optimizar los parámetros operacionales se establece una velocidad de rotación de 1000 RPM y presión sobre la corona a 1000 lb

2.1.3. Antecedentes Locales

Altamirano y Martínez (2020), en su Tesis de Pregrado, Influencia del tipo de broca y parámetros de perforación en la trayectoria de los taladros en la perforación diamantina de una unidad minera. Revisión sistemática entre 2010-2020; concluye que todo taladro se desvía durante el desarrollo de su perforación en mayor o menor magnitud, pero gracias a la influencia de los parámetros operativos y conocimiento del macizo rocoso se puede reducir el porcentaje de desviación.

Cáceres (2019), en su Tesis de Pregrado, Influencia mineralógica y geoquímica en la recuperación de Cu-Au en siete sondajes diamantinos del tajo Cerro Corona – provincia Hualgayoc, Cajamarca; concluye que la influencia mineralógica en la recuperación metalúrgica está regida por las características mineralógicas típicas de cada alteración.

Vigo (2016), en su Tesis de Pregrado, Tecnologías limpias en el proceso de Perforación Diamantina en la etapa de exploración geológica en minería, Cajamarca, 2016; menciona que es necesario aplicar las tecnologías limpias en perforación CRI y RECLAIM para disminuir la contaminación y además racionalizar los recursos utilizados.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Perforación diamantina (DDH)

La perforación diamantina es un método que implica perforar el subsuelo desde la superficie o desde el interior de una mina utilizando máquinas equipadas con brocas diamantadas. Este proceso permite obtener muestras conocidas como testigos de perforación, las cuales son fundamentales para evaluar el potencial mineral de la zona.

La perforación diamantina es una técnica empleada para obtener muestras de núcleo de roca, utilizando brocas con incrustaciones de diamantes industriales que están unidas al extremo de una sarta de perforación, también conocida como tubos o barras de perforación, como se ilustra en la Figura 01. A medida que la broca avanza, se extrae la roca en forma cilíndrica, la cual se aloja en el interior de los tubos para ser retirada posteriormente como muestra.



Figura 01. Tubos de perforación diamantina.
Fuente: Ticlla (2021).

Las brocas o coronas diamantadas son herramientas de corte que, además de tener incrustaciones de diamante, están generalmente fabricadas con polvos metálicos como el carburo de tungsteno y soldaduras de cobre, plata y níquel, entre otros. En la Figura 02, se pueden observar diversos tipos de brocas utilizadas en la perforación con diamante (Ticlla, 2021).



Figura 02. Tipos de corona de diamante usadas en la perforación.
Fuente: Ticlla (2021).

2.2.2. Coronas diamantinas

Las brocas de perforación diamantina son herramientas de corte utilizadas en la perforación de taladros, permitiendo realizar análisis geológicos en áreas litológicas con alta concentración de minerales, que son objeto de explotación minera.

Gracias a su composición diamantada, estas brocas son adecuadas para perforar rocas de diferentes grados de dureza. Es relevante señalar que la evaluación de la dureza de las rocas se realiza utilizando la escala de dureza de Mohs, que clasifica 10 minerales de menor a mayor dureza, del 1 al 10, siendo 10 el más duro; esto significa que el mineral más duro puede rayar al más blando. Según esta escala, se ha observado que los perfiles litológicos comúnmente analizados en los proyectos de perforación tienen un grado de dureza que varía entre 2 y 8 (Garay, 2014).

Las herramientas diamantadas son elementos fundamentales en cualquier sistema de perforación y deben contar con las siguientes características: alta calidad, construcción apropiada y diseño innovador. Estas cualidades deben integrarse para facilitar la realización de un programa de perforaciones al menor costo posible en diamantes. Lo óptimo es elegir una variedad completa de herramientas diamantadas que mantengan los mismos estándares de calidad (Christensen, 2019).



Figura 03. Broca de perforación diamantina con vías de agua radiales (izquierda) y vías de agua inclinadas (derecha).
Fuente: Garay (2014).

► ***Coronas Insertadas o Incrustadas***

Estas coronas llevan sobre la superficie de la matriz una capa de diamantes insertados. Su campo de aplicación es en formaciones blandas y semiduras.

Otras Aplicaciones (Christensen, 2019):

- Redireccionamiento de taladros.
- Habilitación de taladros derrumbados.
- Eliminación de tuberías o accesorios atascados.

► ***Coronas Impregnadas de Serie***

De acuerdo a Christensen (2019) indica que la matriz de estas coronas está formada por una aleación de varios polvos metálicos junto con diamantes sintéticos de alta calidad. Las distintas combinaciones en la cantidad y tipos de polvos metálicos, así como en la cantidad y tamaño de los diamantes, dan lugar

a las diversas series de coronas recomendadas para los distintos tipos de terrenos a perforar.

- **Matriz**

Está construida de polvos metálicos de alto punto de fusión y soldadura (aleación base cobre), y tiene 3 funciones:

- Unir el cuerpo de acero de la corona y los diamantes en una unidad integral.
- Asegurar mecánicamente los diamantes en su lugar, para resistir la fuerza de corte.
- Proveer resistencia al desgaste y a la erosión, compatible con la formación y condición del taladro.

- **Vías de agua**

Son ranuras que permiten refrigerar y transportar el fluido para evitar que la corona sea quemada o fundida. También sirven para lograr un buen barrido del recorte que se está generando al fondo del taladro.

- **Refuerzo de los diamantes**

Todas las coronas impregnadas son fabricadas con refuerzo de Carburo de Tungsteno y con diamantes sinterizados en el diámetro interior y exterior, para mantener la dimensión del testigo y del taladro cuando se desgasta la corona.

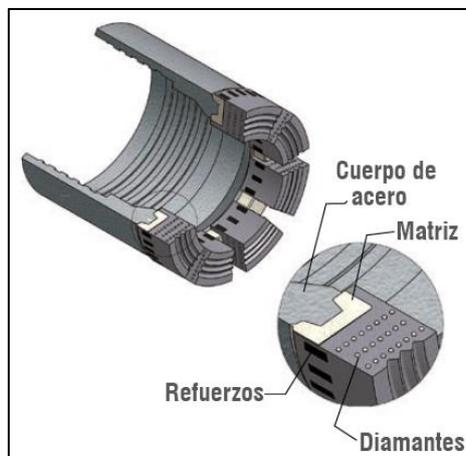


Figura 04. Corte longitudinal al cuerpo de una corona.
Fuente: Christensen (2019).

► ***Matriz de Polvos y Casquillo de Acero***

La matriz de polvos es responsable de sujetar los diamantes y su principal característica es la resistencia al desgaste de la broca, la cual debe ser compatible con la formación y las condiciones del pozo perforado. Esto significa que, a medida que se lleva a cabo la perforación, la matriz de la broca debe desgastarse para exponer los diamantes y permitir que el proceso de corte se realice de manera efectiva.

Por otro lado, el casquillo de acero, conocido también como Blank, se considera el cuerpo de la broca. Este se une a la matriz de polvos compactados (la corona de la broca) mediante métodos de infiltración y fundición de aleaciones metálicas, formando así la broca de perforación diamantina en su totalidad (Garay, 2014).

► ***Canales de Enfriamiento***

También se les conoce como vías de agua y generalmente son ranuras radiales. Estos canales de enfriamiento están diseñados como parte de la geometría de la broca de perforación, con el objetivo principal de facilitar la evacuación y el transporte de un fluido refrigerante.

Además, su distribución en la broca permite controlar la eliminación de las partículas en suspensión (detritos) que son capturadas por el fluido refrigerante y que provocan el desprendimiento de partículas debido al contacto directo de la broca con la roca. Este conjunto de partículas en suspensión puede agruparse en sólidos de mayor tamaño y acumularse en las ranuras de refrigeración, lo que resulta en una disminución del flujo evacuado y un aumento de la presión de bombeo debido al estancamiento del fluido.

Esto puede llevar a que el casquillo de acero de la broca, que gira a altas velocidades, sufra un desgaste prematuro debido a las partículas acumuladas, que son una mezcla de partículas de roca y de la matriz de sujeción. En la figura 05 se ilustran las consecuencias de un mal funcionamiento de los canales de enfriamiento durante los procesos de perforación en el campo (Garay, 2014).



Figura 05. Broca con canales de refrigeración obstaculizados (izquierda) y broca fundida (derecha).
Fuente: Garay, (2014).

2.2.3. Perforadora PackSack

Es una máquina perforadora neumática que permite la recuperación de muestras de 23 mm de diámetro. También es una máquina adaptable e indispensable para la exploración y muestreo en labores angostas. Tiene un alcance de perforación de 50 m en línea XRP con una velocidad de 3000 revoluciones por minuto (RPM) y su trabajo es en exterior e interior mina de forma versátil.



Figura 06. Perforadora versátil PackSack.
Fuente: Garay (2014).

► **Condiciones Requeridas**

- Espacio de trabajo (cámara): 2.5m x 2.5m.
- Presión de aire: 90-110 PSI al momento de perforar. Puede trabajar hasta con 70 PSI dependiendo la distancia de perforación y dureza de la roca.
- Flujo de agua constante: El agua debe tener buena presión que permita lubricar la broca de perforación y eliminar los detritos resultantes. Se recomienda alimentación de agua por medio de una bomba de al menos 2 HP para taladros subhorizontales y 5HP para taladros subverticales. Otra opción a considerar es alimentación de agua mediante caída libre. No se recomienda alimentación de agua mediante uso de botellón impulsado por aire comprimido.
- Aditivos: Aditivos viscosificantes para tapar grietas e impedir la pérdida de agua y optimizar la recuperación del testigo y aditivos reguladores de PH cuando el agua a usar es ácida.
- Aceite 80W-90 para lubricación.
- Grasa EP-2 para cuidado del motor.
- Grasa multipropósito para cuidado de tubería de perforación.

► **Características Operativas**

- Profundidades de perforación: 50 m es lo ideal, sin embargo se puede llegar hasta 53 – 55 m en ángulos subhorizontales y condiciones óptimas del macizo rocoso.
- Ángulos de trabajo tanto Subterránea como Superficial: Es posible perforar en cualquier ángulo. En subterránea es necesaria una cámara con dimensiones tales que permita la instalación de la maquina (cuya longitud es de 2.20 m aproximadamente). En superficial es necesaria la construcción de una superficie de apoyo para las patas posteriores que soporten el empuje durante la perforación.
- Calidad de los testigos obtenidos: Diámetro de testigo de 23 mm. La recuperación de testigos depende de la calidad del macizo rocoso, en macizos rocosos Tipo I la recuperación es al 100 %; en macizos rocosos Tipo V la recuperación es entre 60 – 80 %; en macizos rocosos Tipo II,

III y IV la recuperación es entre los valores anteriormente mencionados según la calidad del macizo rocoso.

- Rendimiento operativo de la perforadora En promedio de 6 a 8 m por día en una jornada de 7 horas de perforación. Este avance dependerá de la dureza de la roca a perforar, en roca dura (como cuarcitas o granitos) el avance en el primer día de perforación es entre 7-9 m; roca de menor dureza (como limolitas o andesitas) el avance en el primer día de perforación es entre 10-12 m; el avance disminuirá progresivamente en los siguientes días debido a la mayor profundidad del taladro (hasta 50 m) hasta llegar a unos 3-6 m de avance según el tipo de roca.
- Uso óptimo: En taladros proyectados a cortar estructuras mineralizadas subverticales, taladros en macizos rocosos Tipo I, con aire constante que no disminuya de 90 PSI al momento de perforar y con recirculación de agua por medio de uso de bomba de 2-5 HP.

► ***Dinámica Interna de Funcionamiento***

Es relevante señalar que, aunque la máquina de perforación puede operar en dos direcciones de rotación, el sentido anti-horario solo se utiliza en situaciones extremas cuando la broca se queda atascada durante la perforación. Esta maniobra conlleva riesgos, ya que puede provocar el desajuste de las roscas que conectan la red de tuberías. Además, la inclinación de los canales de enfriamiento se establece tomando como referencia el diseño de las bombas centrífugas con álabes curvados hacia atrás, lo cual es una de las condiciones esenciales para el óptimo funcionamiento de la bomba centrífuga.

El esquema simplificado de la perforación es el siguiente:

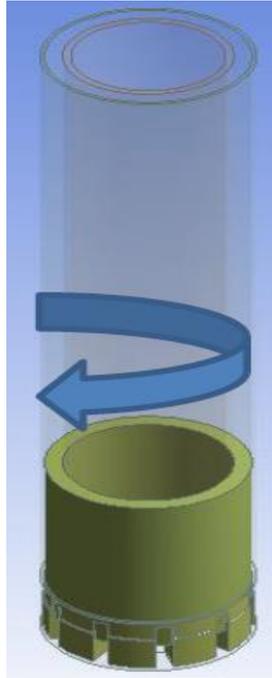


Figura 07. Esquema simplificado para el análisis del comportamiento del fluido durante el proceso de perforación.

Fuente: Garay (2014).

► **Modelo Geométrico de las Brocas**

Se analizaron dos modelos de brocas con dimensiones generales idénticas, pero con una diferencia específica en la geometría de sus vías de agua. El primer modelo presenta canales de enfriamiento radiales, siendo una de las brocas más comercializadas en el mercado de exploración minera. En cambio, el segundo modelo tiene vías de agua con un ángulo de inclinación.

En la figura 08 se ilustran los dos modelos de brocas, destacando la diferencia en el diseño de sus vías de agua: la primera broca dispone de vías de agua radiales, mientras que la segunda cuenta con vías de agua inclinadas.

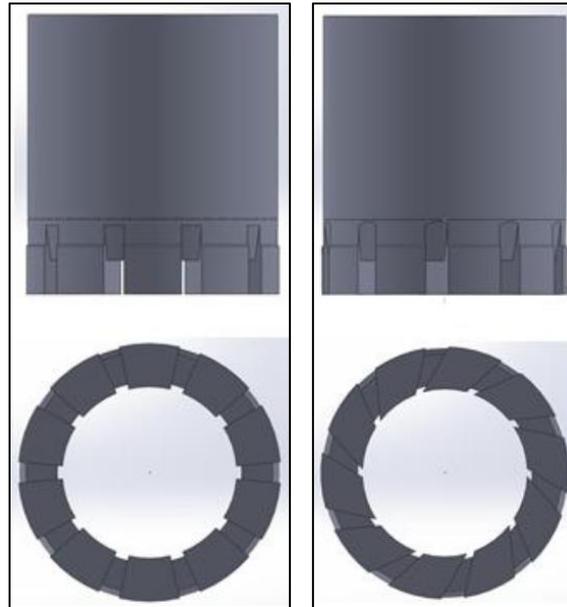


Figura 08. Modelo geométrico de la broca con vías de agua radiales (izquierda) y de la broca con vías de agua inclinadas (derecha).

Fuente: Garay (2014).

► **Dominios Geométricos de Perforación**

Para facilitar el análisis de la metodología de perforación y su mecanismo de funcionamiento, se dividió el dominio geométrico en tres subdominios. El primer subdominio corresponde al volumen que abarca la entrada del fluido, el cual se desarrolla antes de pasar por los canales de enfriamiento. El segundo subdominio es el volumen que contiene la corona de la broca, donde se localizan los canales de enfriamiento. Por último, el tercer subdominio es el volumen que comprende la salida del fluido, después de haber atravesado los canales de enfriamiento. En la figura 09 se presenta el diseño geométrico de los dominios de perforación, que garantizan un funcionamiento adecuado de las brocas y una mayor durabilidad, lo que se traduce en un tiempo de uso prolongado y menos cambios de accesorios.

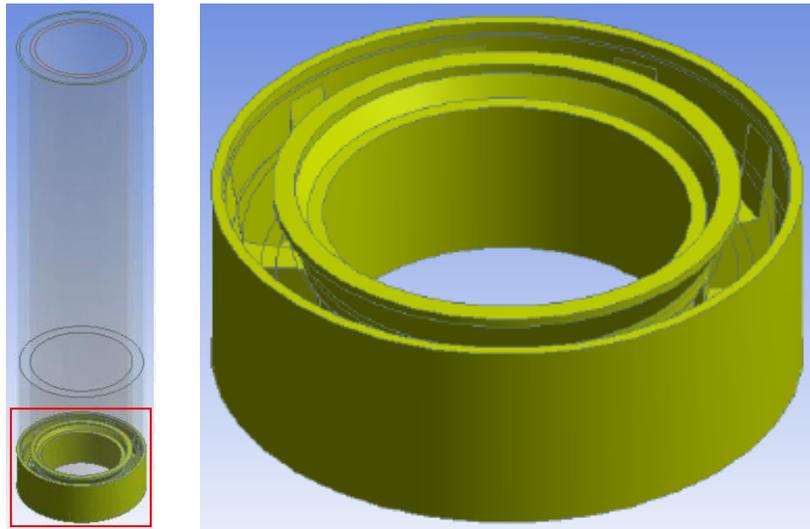


Figura 09. Volumen de control que encierra la corona de la broca de perforación.
Fuente: Garay (2014).

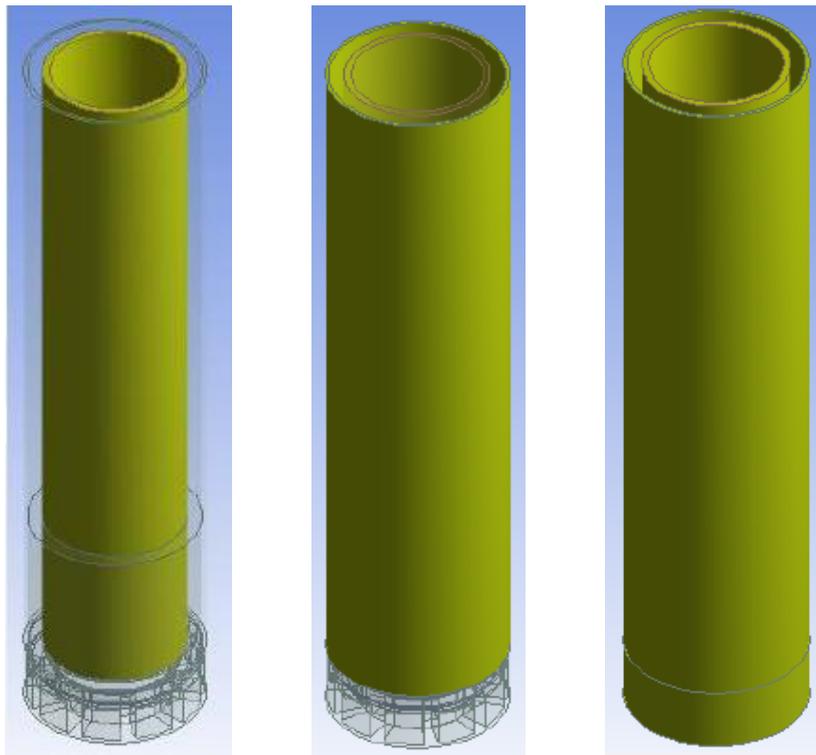


Figura 10. Volumen de control de entrada del fluido (primer dominio), salida del fluido (segundo dominio) y dominio total del modelo (tercer dominio).
Fuente: Garay (2014).

2.2.4. Fluidos de Perforación

Gracias a los avances realizados en los últimos años en el ámbito de la tecnología de lodos, ha surgido una tendencia a considerar esta tecnología como la solución definitiva para los problemas de perforación. Sin embargo, el lodo sigue siendo un recurso esencial y debe ser gestionado de la manera más eficiente posible.

El lodo cumple funciones fundamentales para asegurar una perforación rápida y segura, además de llevar a cabo ciertas tareas (Christensen, 2019):

- Facilitar la obtención de información detallada sobre las formaciones geológicas a perforar.
- Transportar los recortes de roca desde el fondo hasta la superficie.
- Enfriar y lubricar la herramienta de perforación.
- Recubrir las paredes del pozo con un material estabilizador.
- Controlar las sobrepresiones de los posibles acuíferos.
- Mantener en suspensión los recortes cuando se detiene la circulación del lodo.
- Soportar parcialmente el peso de la tubería mediante flotación.
- Transmitir potencia hidráulica a la corona

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Barra de perforación: Es un tubo trefilado que traslada el empuje y la rotación desde la unidad de rotación de la sonda hasta el tubo sacatestigos del barril (Bejarano, 2017).

Barril: Herramienta de tubo doble, interior y exterior, donde se almacena el testigo de perforación (Mantilla, 2019).

Bomba de inyección: Equipo cuya función es bombear fluido al taladro durante la perforación (Mantilla, 2019).

Columna de perforación, cuelga, sarta: Es una columna compuesta por la corona, el barril y las barras de perforación (Mantilla, 2019).

Consola: Tablero que contiene todos los instrumentos y comandos encargados del control y operación de la sonda en la rotación, avance, extracción y movimiento de tierras (Mantilla, 2019).

Corona diamantada: Bit o herramienta usada para perforar y mediante la cual se recuperan los testigos (Bejarano, 2017).

Fluido de perforación: Mezcla de agua y aditivos que se usa como fluido de perforación; cuyo fin es remover y sacar el sedimento del taladro, enfriar y lubricar la corona diamantada y para proteger la pared del taladro, evitando que se derrumbe (Ticlla, 2021).

Lodo: Líquido muy denso que se hace circular al interior de un taladro para evitar hundimientos y lubricar las herramientas como coronas, triconos, martillos (Ticlla, 2021).

Testigo: Muestra de forma cilíndrica, que se obtiene de las perforaciones con coronas diamantadas (Bejarano, 2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Geográficamente el Proyecto de Explotación Minero Metálico “Huayrapongo” está situada al oeste de la cordillera de los andes del norte del Perú, en la carta nacional 15-F, zona UTM 17-S.

El proyecto Huayrapongo está ubicada en la concesión Nebulosa Tres que está en los territorios de los distritos de San Bernardino y San Luis, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca; comprendida entre las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Coordenadas de la concesión Nebulosa Tres.

COORDENADAS UTM WGS84		
Vértice	Norte	Este
1	9206000	738000
2	9205000	738000
3	9205000	736000
4	9207000	736000
5	9207000	737000
6	9206000	737000

Fuente: INGEMMET (2022).

3.1.1. Accesibilidad

El acceso a la concesión y al área efectiva de explotación desde la ciudad de Cajamarca se sigue la ruta Cajamarca-Chilete mediante carretera asfaltada, continuando por la carretera asfaltada “Kuntur Wasi” Chilete-San Pablo después de recorrer 14 km pasando el pueblo de San Bernardino, se toma el desvío por trocha carrozable hacia el cerro Huayrapongo. La concesión minera metálica “Nebulosa Tres” está a 144 km de la ciudad de Cajamarca, el tiempo aproximado es de 2 horas.

Tabla 2. Vías de acceso a la zona de estudio.

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo	Tipo de vía
Cajamarca - Chilete	120	1 h y 30 min	Asfaltada
Chilete - Huayrapongo	24	30 min	Asfaltada/Carrozable

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Fisiografía

El área donde se ubica el proyecto se caracteriza por un relieve muy accidentado debido a la erosión, con pendientes que varían de empinadas a muy empinadas. La superficie es predominantemente rocosa y presenta una capa de suelo poco desarrollada, cuya profundidad oscila entre superficial y muy superficial. El clima es semiárido a húmedo, con lluvias estacionales que dan lugar a una vegetación abundante durante la temporada de lluvias, incluyendo plantas herbáceas y arbustivas. Las laderas tienen pendientes pronunciadas y están claramente influenciadas por procesos de denudación y tectónica. Estas formaciones de terreno, de aspecto accidentado y fuertemente corrugadas, están surcadas por numerosos canales o hendiduras dispuestos en dirección a la pendiente, por donde fluyen las aguas concentradas tras cada lluvia o filtraciones provenientes de las partes altas, conocidos como disectaciones o sistemas naturales de drenaje. A continuación, se presenta la fisiografía del área del proyecto según la Tabla 3:

Tabla 3. Descripción fisiográfica presente en el proyecto.

Código	Paisaje	Formación	Elementos
MEaLF	Montañas extrusivas formadas sobre materiales volcánicos mayormente andesíticos.	Volcánico Chilete	Superficie empinada

3.1.3. Geomorfología

El área donde se ubica el proyecto está mayormente compuesta por una vertiente montañosa con pendientes pronunciadas en rocas del paleógeno. Esta zona se caracteriza por cerros y quebradas con laderas abruptas, presentando una topografía muy irregular y laderas que sufren una erosión intensa en la actualidad.

La pendiente predominante varía entre 50 y 75%. Su potencial es limitado debido a las restricciones topográficas y edáficas, lo que convierte a estos ecosistemas en frágiles y altamente susceptibles a la erosión. La unidad geomorfológica se detalla en la Tabla 4:

Tabla 4. Descripción geomorfológica presente en el proyecto.

Simbología	Unidad Geomorfológica	Pendiente
VMFE-rp	Vertiente montañosa fuertemente empinada	G

3.1.4. Hidrología

El proyecto se sitúa en la región hidrológica de la vertiente del Pacífico, aproximadamente a 3 km al este de la zona de explotación. Cerca de esta área, se encuentra el río Llaminchat, que tiene un flujo continuo y es el cuerpo de agua más próximo, siendo afluente de la cuenca del río Jequetepeque. Este río presenta un caudal permanente, aunque variable según la época del año, con los caudales más altos durante los meses de lluvia, de diciembre a marzo, cuando transporta una gran cantidad de sedimentos, y un caudal menor el resto del año.

No hay cuerpos de agua superficiales cercanos a las labores de extracción, ya que los yacimientos están ubicados en las laderas o a media falda del cerro Huayrapongo, en un terreno de composición andesítica cuarzosa y escasa vegetación. Es importante mencionar que existe un manantial situado a 1,400 m al sur de la zona de explotación.

3.1.5. Hidrogeología

La investigación se desarrolla en la concesión minera Nebulosa Tres, y el área efectiva de explotación muestra predominantemente un tipo de hidrogeología acuífera volcánico-sedimentaria, caracterizada por una alta permeabilidad debido a fracturas.

Acuitardo sedimentario y volcánico-sedimentario

Los acuíferos, tanto de origen sedimentario como volcánico-sedimentario, que datan del período cuaternario y de la época del holoceno, presentan una alta porosidad pero baja permeabilidad, lo que resulta en una transmisión y almacenamiento de agua muy lentos. Estos acuíferos son de gran extensión y generalmente están asociados a rocas intrusivas poco fracturadas.

Acuífero poroso no consolidado

Está compuesto por materiales detríticos no consolidados, como arenas y gravas, así como sedimentos limo-arcillosos. Estos materiales son altamente permeables y poseen porosidad primaria, lo que les permite almacenar y transmitir cantidades significativas de agua, facilitando así la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas.

Tabla 5. Descripción de las unidades hidrogeológicas.

	Clasificación Hidrogeológica	Unidades Estratigráficas
Acuitardo	Sedimentario	Formación Chulec
	Volcánico-Sedimentario	Volcánico Tembladera
	Volcánico-Sedimentario	Volcánico San Pablo
Acuífero	Volcánico-Sedimentario	Volcánico Chilete
	Poroso no consolidado	Depósitos Fluviales

Mencionar que en el proyecto no se encontró evidencias de agua subterránea que puedan verse afectadas, esto debido a la diferencia de cotas entre el nivel del proyecto Huayrapongo a 1520 m.s.n.m. y el nivel del río San Pablo que alcanza los 940 m.s.n.m.

3.2. GEOLOGÍA LOCAL

El yacimiento se encuentra en la franja volcánica del Cretácico-Neógeno de los Andes del Norte del Perú, que se extiende en dirección NW-SE y corresponde al grupo Calipuy. En esta región del país, se conocen como formaciones: Volcánico San Pablo, Volcánico Chilete y Volcánico Tembladera. A nivel local, las rocas expuestas presentan flujos de composición andesítica en diversas tonalidades, con algunas áreas de alteración por oxidación. Además, por el lado SE se observa un aumento significativo en la presencia de silicificación, que varía de moderada a fuerte.

Tabla 6. Descripción de las unidades geológicas en el Proyecto Huayrapongo.

Código	Descripción de la geología	Litología
Pp-vt	Volcánico Tembladera	Tobas, aglomerados
Pe-vch	Volcánico Chilete	Tobas, aglomerados, brechas
Po-vsp	Volcánico San Pablo	Tobas, aglomerados, brechas

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Volcánico Chilete

Está compuesto por secuencias volcánicas progresivas de rocas andesíticas con pseudoestratificación, ya que se trata de magma que ha sido expulsado hacia la corteza terrestre y se ha solidificado formando lava. Estas secuencias rocosas progresivas se deben al enfriamiento, delimitando la dirección del flujo principal y presentando discontinuidades. También se identifican flujos, tobas y materiales volcánicos que varían en color desde verde violáceo hasta gris claro, con clastos subredondeados y transportados que cubren gran parte del área de investigación. Además, se encuentran areniscas tobáceas de color rojizo y conglomerados lenticulares compuestos exclusivamente de cuarcita, bien sedimentados.

También hay en el área de investigación:

Rocas de secuencia volcánica Chilete-Ayambla (Pe-ch/1), que son flujos de lavas andesíticas intercalados con depósitos volcanoclásticos, lahares y flujos de cenizas gris violáceos.

Rocas del centro volcánico Chicche-Hueco Grande (Po-chg/1), que son depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinos, rico en cristales intercalados con flujos de cenizas gris violáceos.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

Tipo de investigación: es de tipo descriptivo, ya que toma como referencia la descripción de eventos específicos y analiza las características de los objetos estudiados.

Nivel de investigación: es de carácter descriptivo-correlacional. Descriptiva porque analiza y detalla las condiciones del contexto actual; correlacional debido a que examina la relación entre las variables del objeto de estudio.

Diseño de investigación: es de tipo no experimental, ya que no incluye la manipulación de las condiciones o variables. Se fundamenta en la observación de los hechos tal como ocurren y luego proceder con su análisis

Método de investigación: es deductivo – inductivo, esto significa que se parte de principios generales o fórmulas ya establecidas para aplicarlos a casos específicos, también se analiza la información obtenida de los casos particulares para identificar patrones o generar conclusiones.

3.3.2. Población de estudio

Labores de exploración del proyecto minero subterráneo Huayrapongo.

3.3.3. Muestra

Han sido los 8 pozos de mayor profundidad perforada en taladros de exploración geológica en las estaciones definidas de la labor minera del proyecto.

3.3.4. Unidad de análisis

Se ha recolectado información del rendimiento de la perforadora, profundidad de los taladros diamantinos, velocidad de rotación, velocidad del fluido, calidad de la roca.

3.3.5. Definición de variables

Independientes

- Profundidad del taladro: Cantidad de metros alcanzados en la perforación de un sondeo.
- Velocidad de rotación: Es el cociente obtenido entre el número de revoluciones que emplea la broca y el tiempo que se tarda en dar esas revoluciones.
- Velocidad del fluido: Cantidad de fluido que circula a través de una sección de perforación diamantina en un tiempo determinado.
- Calidad de la roca: Grado de unión del macizo rocoso.

Dependiente

- Rendimiento de la perforadora packsack: Resultado obtenido en los sondeos de perforación.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Técnicas

Análisis Documental

Recolección de información en artículos científicos, libros, tesis y publicaciones con relación directa al tema de investigación; la recolección de datos fue directa en campo a partir de la observación, descripción y medición dentro de la galería de trabajo.

Observacional

Observaciones directas del proceso de perforación diamantina, frente de trabajo, armado del equipo, colocación de accesorios e iniciación de trabajos preliminares, sin intervenir ni modificar las variables.

Descriptivo

Metodología empleada para describir todas las actividades involucradas con el rendimiento de la perforadora packsack.

3.4.2. Instrumentos y equipos

Para la elaboración de la presente investigación se ha tomado en cuenta la aplicación de técnicas de observación, descripción e interpretación a través de trabajos de campo y gabinete, así como el empleo de materiales y equipos, los que se describen a continuación:

Instrumentos

- Boletines informativos de la geología presente en la zona de estudio, así como mapas geológicos de la zona, obtenidos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Imágenes satelitales del SAS Planet y Google Earth, para la ubicación y referenciación de la zona de investigación.
- Registro geológico-geotécnico.

Equipos

- Brújula geotécnica, para medir la orientación de la labor y las geoestructuras.
- GPS de navegación para georreferenciar la zona de estudio.
- Libreta de campo y lapiceros para realizar anotaciones del proceso de perforación.
- Picota de geólogo, para la obtención de muestras.
- Lupa, para observación de textura y composición mineralógica de las muestras.
- Cámara digital para el registro fotográfico.
- Wincha para la toma de medidas en la galería de trabajo.
- Equipo de protección personal.
- Laptop para el procesamiento de los datos obtenidos, así como la redacción de la investigación, desarrollo y culminación de la tesis.

Softwares

- ArcGis 10.5 para la elaboración de mapas temáticos.
- Sas Planet para obtención de imágenes satelitales con diferentes satélites.
- AutoCAD 2022 para elaboración del diseño de la mina y mapas.
- Office 2016 para la elaboración del documento de la tesis profesional.

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. Registro y control de parámetros de perforación

Los parámetros de perforación que debe registrar, controlar y modificar el perforista en el reporte de turno son:

- RPM
- Peso sobre la corona
- Caudal o flujo del lodo

El control se lleva a cabo mediante los instrumentos del tablero de comando de la sonda, asegurando que todos estén correctamente conectados para poder realizar las lecturas adecuadamente. En resumen, es necesario registrar las lecturas del nanómetro y del flujómetro o medidor de caudal. Posteriormente, se debe verificar la velocidad de penetración de la corona, que debe estar entre 3 y 5 pulgadas por minuto. Para optimizar el rendimiento de las coronas impregnadas, es fundamental considerar los aspectos que se mencionarán a continuación (Christensen, 2019).

3.5.2. Velocidad de rotación

Para un óptimo aprovechamiento de las coronas, es fundamental tener en cuenta que las velocidades de penetración están estrechamente relacionadas con la velocidad de rotación (RPM). Para un control adecuado, se deben considerar los índices de RPI o RPC, estableciendo un rango óptimo entre 200 y 250 RPI (80 y 100 RPC). RPI se refiere al número de revoluciones de la corona por cada pulgada de avance en la penetración, mientras que RPC indica el número de revoluciones por cada centímetro de avance.

Siguiendo este indicador y los rangos considerados óptimos, se puede concluir que si las RPI están por debajo de 200 (80 RPC), esto causará un desgaste excesivo de la corona, por lo que se recomienda aumentar las RPM o reducir la velocidad de avance, disminuyendo el peso sobre la corona. Por el contrario, si las RPI son superiores a 250 (100 RPC), la corona puede desgastarse, siendo necesario disminuir las RPM o incrementar el peso sobre la corona para aumentar la velocidad de penetración (Christensen, 2019).

► **Cálculo de RPI (RPC)**

Los valores recomendados para estos indicadores son:

RPI → Entre 200 a 250

RPC → Entre 80 a 100

$$RPI = \frac{\text{Velocidad de rotación (RPM)}}{\text{Velocidad de avance (pulgadas/minutos)}}$$

$$RPC = \frac{\text{Velocidad de rotación (RPM)}}{\text{Velocidad de avance (centímetros/minutos)}}$$

3.5.3. Peso sobre la corona

Este parámetro es crucial para optimizar los índices de RPI o RPC, tal como se mencionó anteriormente en la velocidad de rotación. Una carga excesiva podría provocar un desgaste prematuro o incluso ocasionar una falla mecánica. Además, el peso sobre la corona es fundamental para controlar las desviaciones del taladro (Christensen, 2019).

► **Recomendaciones en el uso de las coronas**

Iniciar la inyección de lodo antes de comenzar la perforación y esperar a que circule hasta la superficie (si hay retorno). Esto es para limpiar el fondo del taladro de recortes y evitar que la corona se funda al inicio. Si no hay retorno de lodo, es fundamental asegurarse de que la columna de barras esté llena de fluido.

Comenzar la rotación de la corona a unos 20 cm del fondo del taladro y aumentar gradualmente las RPM y el peso sobre la corona. Esto permite asentar suavemente la corona en la roca y evitar sobretensiones, que podrían desprender la matriz de la corona.

Revisar las barras y detectar pérdidas de fluido de perforación, ya que estas indican que hay una barra dañada y reducen la cantidad de lodo que llega a la corona, lo que puede provocar su fusión y causar el atrapamiento de la columna de barras.

Asegurarse de que las barras y barriles estén bien alineados y asentados sobre los hilos. Esto ayudará a reducir la fricción, las vibraciones y el deterioro de los hilos.

Es importante que el escariador tenga siempre un diámetro mayor que el de la corona. Esto evita el ensanchamiento y mejora la estabilidad.

Recuperar el testigo caído con una corona usada, ya que el testigo suelto en el taladro tiene un alto potencial de dañar la corona.

El ajuste entre la corona y el escariador debe hacerse con el torque adecuado; de lo contrario, puede causar deformaciones en su diámetro y en los hilos.

No dejar caer la columna de barras hasta el fondo del taladro, ya que esto puede romper los diamantes o fracturar la matriz.

Evitar comenzar a rotar la corona junto con el peso sobre la misma, ya que esto puede causar la ruptura de los diamantes o la fractura de la matriz.

Nunca continuar con la perforación si hay bloqueo o si el tubo interior está lleno, ya que esto puede moler la muestra y dañar la corona y el escariador.

Evitar vibraciones en la suspensión de las barras, ya que los diamantes pueden ser destruidos instantáneamente.

No forzar la corona si no avanza con el peso normal, ya que esto puede causar que la corona se desgaste o no sea adecuada para el tipo de terreno que se está perforando.

Por último, nunca comenzar a rotar la corona sin asegurarse de que el lodo haya llegado al fondo del taladro, ya que esto puede obstruir las vías de agua de la corona y potencialmente fundirla

3.5.4. Velocidad del fluido

La velocidad del fluido es otra variable clave para optimizar el rendimiento en la perforación. El flujo debe enfriar adecuadamente la broca y eliminar los detritos de la perforación, llevándolos desde la cara de la broca hasta la superficie del taladro a través del espacio anular de la manera más eficiente posible. El volumen de fluido debe incrementarse en proporción al aumento del rango de penetración. La velocidad del fluido y su capacidad de transporte dependen de su viscosidad.

Por lo general, los detritos deben ascender a una velocidad de 4 pulgadas por segundo (10 cm/s). Un volumen de fluido excesivamente alto puede provocar el levantamiento hidráulico de la sarta de perforación, lo que afectaría seriamente la carga real sobre la broca y, en consecuencia, el resultado de la perforación. Si el flujo de fluido es demasiado bajo, la broca puede desgastarse prematuramente debido a la acción abrasiva de los detritos. En formaciones con litología muy duras y de grano fino, se puede reducir intencionalmente la velocidad del fluido para aumentar la erosión de la matriz y exponer nuevos diamantes (Christensen, 2019).

3.5.5. Funcionamiento de los aditivos de perforación

El primer aspecto importante a considerar al preparar un lodo es verificar la calidad del agua que se utilizará. Algunas aguas pueden contener restos de minerales como calcio, magnesio y zinc, que pueden contaminar los aditivos. Además, bajos niveles de alcalinidad pueden afectar su rendimiento. Para solucionar esto, se añade al inicio de la mezcla "Ceniza de Soda" con el objetivo

de eliminar estos contaminantes y proporcionar al agua una alcalinidad (pH) adecuada, que debe estar entre 8.5 y 9. La alcalinidad se mide con papel pH. Una vez tratada el agua, se requiere un aditivo que forme la primera pared o revestimiento en el taladro y que también sea capaz de suspender los recortes generados por la corona para evitar su acumulación en el fondo. Este aditivo se conoce como Bentonita.

Durante la perforación, podemos encontrar formaciones de arcillas que absorben agua, se hinchan y se desprenden de su lugar, causando derrumbes que complican la estabilidad del taladro. También hay formaciones de arena o altamente porosas y filtrantes que, al permitir el paso del líquido, generan una costra o revoque grueso de bentonita en las paredes del taladro, lo que reduce el diámetro y provoca altos torques y sobrepresiones en las bombas al impedir el flujo del lodo. Estos problemas se pueden mitigar con un aditivo que evite la pérdida excesiva de agua en áreas arcillosas y filtrantes; este aditivo también debe tener excelentes propiedades para transportar los recortes hacia la superficie.

Si el taladro se encuentra en una formación con mucha arcilla, será fundamental reducir el uso de bentonita, ya que esta también es una arcilla comercial, y no queremos perder sus propiedades viscosificantes. La solución es utilizar un aditivo que permita alcanzar la viscosidad de la bentonita usando menos cantidad y sin aumentar los sólidos arcillosos en el taladro (Christensen, 2019).

3.5.6. Accesorios adicionales de perforación

► Escariadores (reamings)

Sobre la corona se coloca el escariador (Figura 11), que es una herramienta con impregnaciones de diamantes en los laterales y se utiliza para ajustar el diámetro del taladro y facilitar el desplazamiento adecuado de las barras. Es importante que el escariador tenga el mismo diámetro que la barra. Si se perfora a grandes profundidades, se pueden instalar varios escariadores a lo largo del tren de barras (Mantilla, 2019).



Figura 11. Triángulo de perforación correcta.
Fuente: Mantilla, (2019).

► Zapatas (shoes)

Si es necesario instalar tubería (“casing”) para prevenir desmoronamientos del taladro o la pérdida de la inyección, se utilizan las zapatas (Figura 12). Estas son herramientas similares a las coronas, con diamantes impregnados y perfiles rectos. Su diámetro interno es ligeramente mayor que el externo de la corona correspondiente, lo que permite que se baje simultáneamente (la corona en su interior). La tubería de casing también tiene un diámetro mayor y es un poco más liviana. Al finalizar la perforación, se retiran tanto la zapata como el casing.



Figura 12. Zapata y escariador.
Fuente: Mantilla, (2019).

► **Barril saca testigo (core barrel)**

Pueden ser de pared doble o triple (que lleva el agregado 3 en la denominación). En los de pared doble el tubo externo gira con la corona y las barras, mientras que el tubo interior (que es el tubo saca testigos propiamente dichos) no gira (Figura 13).



Figura 13. Cabezal y tubo interior o saca testigos.
Fuente: Mantilla, (2019).

Entre el tubo interior y el testigo sólo circula una ínfima cantidad de agua (inyección) como lubricante. El tubo interior está enroscado a un cabezal que en su parte superior lleva el enganche (Figura 14) por el cual es izado por el interior de las barras, llevando el testigo. En los de triple tubo, dentro del tubo interior va otro tubo escindido longitudinalmente en dos mitades, en el cual entra el testigo; se usa en formaciones muy fracturadas para mejorar la recuperación ya que se evita cualquier contacto del testigo con la inyección.



Figura 14. Parte superior del cabeza al que va enroscado el tubo saca testigos (tubo interior).
Fuente: Mantilla, (2019).

3.5.7. Variables de perforación correcta

Cualquier solución debe fundamentarse en la identificación real del problema dentro de estas tres variables que funcionan como un engranaje, como se ilustra en la Figura 15. Es decir, si el perforista tiene experiencia y la máquina no presenta fallos mecánicos, la causa del problema puede estar en la preparación de un lodo inadecuado para el terreno que se está perforando. De igual manera, si el lodo está formulado con la densidad, viscosidad y propiedades de acarreo correctas, y la máquina tiene una buena capacidad de bombeo, es probable que las malas prácticas de perforación del operador sean responsables de los problemas. Lo mismo se puede afirmar sobre un buen perforista y un lodo adecuado que, sin embargo, se ven limitados por una bomba deficiente, equipos de mezcla inadecuados o tuberías y coronas con un desgaste excesivo (Christensen, 2019).

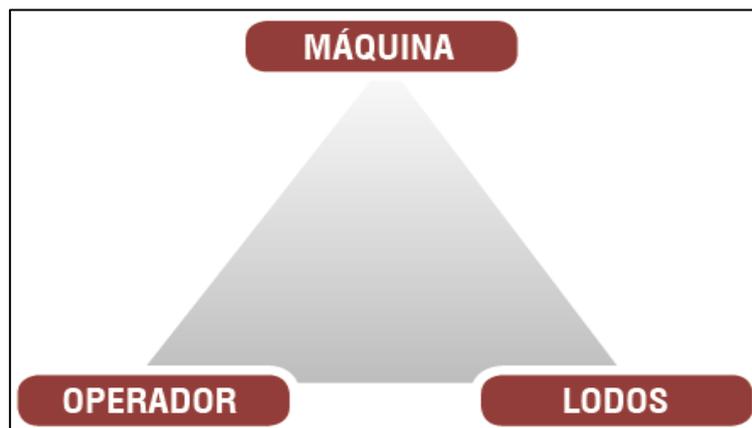


Figura 15. Triángulo de perforación correcta.
Fuente: Christensen, (2019).

3.6. CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO

La galería en la cual se ha realizado los sondajes diamantinos se ha corrido en veta, y la litología presente son rocas volcánicas andesíticas con pseudoestratificaciones. La calidad del macizo rocoso según la clasificación RMR Bieniawski (1989) en las zonas de perforación están caracterizados por presentar una Calidad Buena, Clase II y una Puntuación promedio de 61-80, considerando según observaciones realizadas una resistencia a la matriz rocosa entre 100 a 250 MPa y sin la presencia de agua subterránea.

3.7. DATOS RECOPIADOS DE SONDAJES

Los sondajes que tendremos en cuenta serán los 8 pozos de mayor profundidad perforada en taladros de exploración geológica, son los que se enumeran a continuación:

PDPS0101 = 47.6 m perforados.

PDPS0102 = 47.8 m perforados.

PDPS0103 = 47.3 m perforados.

PDPS0104 = 49.9 m perforados.

PDPS0105 = 51.6 m perforados.

PDPS0106 = 49.7 m perforados.

PDPS0107 = 49.9 m perforados.

PDPS0108 = 48.3 m perforados.

Para cada pozo perforado se elaboró una base de datos correspondiente a los tramos perforados por día, hasta alcanzar la longitud máxima de la perforadora. Las siguientes tablas muestran la data correspondiente a los sondajes realizados.

Tabla 7. Datos y parámetros de perforación de los sondajes PDPS0101 y PDPS0102.

FECHA	CATEGORIA	NIVEL	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	LINEA	AZIMUT	INCLINACIÓN	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
07/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	0	7,3	7,3	XRP-50	50°	-46°	950	5 - 6	90
08/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	7,3	12,4	5,1	XRP-50	50°	-46°	950	5 - 6	90
09/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	12,4	19,1	6,7	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
10/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	19,1	25,3	6,2	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
11/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	25,3	30,8	5,5	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
12/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	30,8	37,5	6,7	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
13/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	37,5	42,8	5,3	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
14/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0101	42,8	47,6	4,8	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
15/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	47,6	56,4	8,8	XRP-50	50°	-46°	950	5 - 6	90
16/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	56,4	64,1	7,7	XRP-50	50°	-46°	950	5 - 6	90
17/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	64,1	71,2	7,1	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
18/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	71,2	78,1	6,9	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
19/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	78,1	84,7	6,6	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
20/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	84,7	90,2	5,5	XRP-50	50°	-46°	1000	5 - 6	100
21/02/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0102	90,2	95,4	5,2	XRP-50	50°	-46°	1500	5 - 6	100

Tabla 8. Datos y parámetros de perforación de los sondajes PDPS0103 y PDPS0104.

FECHA	CATEGORIA	NIVEL	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	LINEA	AZIMUT	INCLINACIÓN	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
02/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	0	6,4	6,4	XRP-50	120°	0°	950	5 - 6	90
03/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	6,4	12,7	6,3	XRP-50	120°	0°	950	5 - 6	90
04/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	12,7	19,2	6,5	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
05/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	19,2	25,7	6,5	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
06/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	25,7	31,4	5,7	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
07/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	31,4	37,3	5,9	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
08/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	37,3	42,5	5,2	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
09/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0103	42,5	47,3	4,8	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
10/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	47,3	53,8	6,5	XRP-50	120°	0°	950	5 - 6	90
11/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	53,8	60,3	6,5	XRP-50	120°	0°	950	5 - 6	90
12/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	60,3	66,4	6,1	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
13/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	66,4	72	5,6	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
14/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	72	77,6	5,6	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
15/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	77,6	82,6	5	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
16/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	82,6	86,8	4,2	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
17/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	86,8	90,9	4,1	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
18/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	90,9	94,1	3,2	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
19/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0104	94,1	97,2	3,1	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100

Tabla 9. Datos y parámetros de perforación del sondaje PDPS0105.

FECHA	CATEGORIA	NIVEL	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	LINEA	AZIMUT	INCLINACIÓN	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
20/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	97,2	102,7	5,5	XRP-50	120°	0°	950	5 - 6	90
21/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	102,7	108,1	5,4	XRP-50	120°	0°	950	5 - 6	90
22/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	108,1	113,4	5,3	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
23/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	113,4	119	5,6	XRP-50	120°	0°	1000	5 - 6	100
24/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	119	123,9	4,9	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
25/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	123,9	129,7	5,8	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
26/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	129,7	134,9	5,2	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
27/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	134,9	140	5,1	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
28/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	140	144,5	4,5	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100
29/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0105	144,5	148,8	4,3	XRP-50	120°	0°	1500	5 - 6	100

Tabla 10. Datos y parámetros de perforación del sondaje PDPS0106.

FECHA	CATEGORIA	NIVEL	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	LINEA	AZIMUT	INCLINACIÓN	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
02/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	0	6,8	6,8	XRP-50	147°	19°	950	5 - 6	90
03/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	6,8	13,2	6,4	XRP-50	147°	19°	950	5 - 6	90
04/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	13,2	19,3	6,1	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
05/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	19,3	24,9	5,6	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
06/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	24,9	30,4	5,5	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
07/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	30,4	36	5,6	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
08/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	36	40,8	4,8	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
09/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	40,8	45,3	4,5	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
10/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0106	45,3	49,7	4,4	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100

Tabla 11. Datos y parámetros de perforación de los sondajes PDPS0107 y PDPS0108.

FECHA	CATEGORIA	NIVEL	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	LINEA	AZIMUT	INCLINACIÓN	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
11/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	49,7	56,4	6,7	XRP-50	147°	19°	950	5 - 6	90
12/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	56,4	62,9	6,5	XRP-50	147°	19°	950	5 - 6	90
13/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	62,9	68,8	5,9	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
14/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	68,8	74,4	5,6	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
15/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	74,4	79,8	5,4	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
16/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	79,8	84,9	5,1	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
17/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	84,9	90,1	5,2	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
18/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	90,1	95	4,9	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
19/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0107	95	99,6	4,6	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
20/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	99,6	106,5	6,9	XRP-50	147°	19°	950	5 - 6	90
21/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	106,5	113	6,5	XRP-50	147°	19°	950	5 - 6	90
22/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	113	118,7	5,7	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
23/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	118,7	124,1	5,4	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
24/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	124,1	129,2	5,1	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
25/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	129,2	134,3	5,1	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
26/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	134,3	139,4	5,1	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
27/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	139,4	143,8	4,4	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100
28/03/2022	EXPLORACION	1520	PDPS0108	143,8	147,9	4,1	XRP-50	147°	19°	1000	5 - 6	100

Las siguientes tablas muestran los resultados de las mediciones procesadas de los sondajes diamantinos:

La Tabla 12 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0101 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Los valores negativos del buzamiento como de la profundidad indican que la perforación se realizó hacia el piso en la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 12. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0101.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	-45,914	0	0	0	0	100
2	-45,834	359,806	-0,006	0,481	-0,589	100
4	-45,741	359,93	-0,014	2,968	-3,173	100
6	-45,726	359,896	-0,019	4,458	-4,753	100
8	-45,657	0,116	-0,019	6,95	-7,331	100
10	-45,384	0,083	-0,013	9,454	-9,899	100
12	-45,514	359,976	-0,011	10,961	-11,462	100
14	-45,362	0,075	-0,009	12,47	-12,024	100
16	-45,581	0,097	-0,004	13,976	-14,589	100
18	-45,473	0,182	0,004	15,479	-16,157	100
20	-45,314	0,048	0,011	18,99	-19,717	100
22	-45,206	0,033	0,014	20,51	-21,268	100
24	-45,122	0,178	0,02	22,035	-22,814	100
26	-45,042	0,293	0,035	23,565	-24,354	100
28	-44,93	0,319	0,054	25,102	-25,889	100
30	-44,909	0,36	0,075	28,642	-29,419	100
32	-44,669	0,375	0,098	30,191	-30,942	100
34	-44,577	0,483	0,124	31,749	-32,454	100
36	-44,512	0,505	0,155	33,313	-33,961	100
38	-44,385	0,615	0,19	36,882	-37,463	100
40	-44,391	0,651	0,229	38,455	-38,96	100
42	-44,356	0,863	0,276	40,028	-40,457	100
44	-44,23	0,769	0,327	43,607	-43,949	100
46	-44,21	0,946	0,381	45,19	-45,436	100

La Tabla 13 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0102 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Los valores negativos del buzamiento como de la profundidad indican que la perforación se realizó hacia el piso en la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 13. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0102.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	-45,238	0	0	0	0	100
2	-44,202	0,757	0,48	1,359	-1,407	100
4	-44,226	0,878	0,531	3,942	-3,894	100
6	-44,143	0,792	0,583	5,527	-5,379	100
8	-44,016	1,189	0,646	7,118	-6,857	100
10	-43,981	0,995	0,714	8,715	-8,33	100
12	-44,069	1,06	0,779	10,309	-9,805	100
14	-43,884	1,19	0,849	11,907	-11,277	100
16	-43,76	1,359	0,929	13,513	-12,739	100
18	-43,758	1,421	1,017	15,123	-14,197	100
20	-43,7	1,428	1,107	18,735	-17,653	100
22	-43,777	1,38	1,195	20,347	-19,11	100
24	-43,764	1,313	1,28	21,956	-20,569	100
26	-43,783	1,435	1,367	23,566	-22,028	100
28	-43,649	1,288	1,453	25,179	-25,483	100
30	-43,493	1,213	1,532	28,8	-26,93	100
32	-43,406	1,224	1,609	30,429	-28,368	100
34	-43,275	1,244	1,687	32,065	-31,8	100
36	-43,127	1,422	1,772	33,709	-33,223	100
38	-42,984	1,477	1,864	37,361	-35,636	100
40	-42,886	1,634	1,964	38,02	-37,042	100
42	-42,807	1,651	2,069	40,685	-38,442	100
44	-42,821	1,714	2,176	42,351	-40,84	100
46	-42,762	1,596	2,282	45,019	-44,237	100

La Tabla 14 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0103 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Todos los valores son positivos ya que la perforación se realizó en el frente y hastiales de la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 14. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0103.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	0,018	0	0	0	0	100
2	0,074	0,028	0,001	2	0,044	100
4	0,141	0,009	0,003	4	0,077	100
6	0,266	0,043	0,005	6	0,095	100
8	0,291	0,001	0,007	8	0,102	100
10	0,388	359,923	0,004	10	0,147	100
12	0,493	0,139	0,006	11,999	0,188	100
14	0,521	0,025	0,014	13,999	0,204	100
16	0,573	0,088	0,018	15,999	0,238	100
18	1,074	0,248	0,033	17,999	0,256	100
20	1,078	0,297	0,057	19,999	0,288	100
22	1,388	0,387	0,087	21,999	0,307	100
24	1,533	0,524	0,127	23,999	0,341	100
26	1,713	0,743	0,182	25,998	0,369	100
28	1,849	0,825	0,25	27,997	0,394	100
30	2,003	0,758	0,319	29,996	0,412	100
32	2,226	0,674	0,382	31,995	0,439	100
34	2,461	0,776	0,445	33,993	0,484	100
36	2,522	0,73	0,511	35,991	0,572	100
38	2,703	0,701	0,573	37,988	0,712	100
40	2,826	0,739	0,636	39,986	0,866	100
42	3,072	0,789	0,702	41,982	1,036	100
44	3,173	0,925	0,777	43,978	1,222	100
46	3,395	0,848	0,854	45,974	1,421	100

La Tabla 15 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0104 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Todos los valores son positivos ya que la perforación se realizó en el frente y hastiales de la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 15. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0104.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	0,507	0	0	0	0	100
2	0,589	0,785	1,003	1,963	0,857	100
4	0,524	0,859	1,074	3,958	1,08	100
6	0,824	0,921	1,152	5,952	1,313	100
8	1,617	0,859	1,229	7,945	1,551	100
10	1,792	0,707	1,297	9,939	1,786	100
12	1,858	0,774	1,362	11,933	2,033	100
14	1,906	0,733	1,428	13,926	2,284	100
16	2,013	0,835	1,496	15,919	2,543	100
18	2,247	0,892	1,571	17,911	2,816	100
20	2,286	1,009	1,654	19,902	3,1	100
22	2,438	1,009	1,742	21,893	3,394	100
24	3,617	1,064	1,832	23,882	3,701	100
26	3,726	1,135	1,928	25,871	4,021	100
28	3,787	1,098	2,025	27,859	4,349	100
30	3,891	1,182	2,124	29,847	4,684	100
32	4,002	1,131	2,225	31,834	5,028	100
34	4,115	1,191	2,326	33,821	5,382	100
36	4,219	1,2	2,43	35,807	5,745	100
38	4,405	1,23	2,536	37,791	6,121	100
40	4,584	1,305	2,646	39,775	6,513	100
42	4,697	1,305	2,76	41,757	6,917	100
44	4,891	1,5	2,882	43,738	7,335	100
46	5,063	1,567	3,015	45,717	7,769	100
48	5,162	1,61	3,153	47,696	8,215	100

La Tabla 16 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0105 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Todos los valores son positivos ya que la perforación se realizó en el frente y hastiales de la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 16. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0105.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	0,221	0	0	0	0	100
2	0,439	1,721	3,438	1,649	0,131	100
4	0,615	1,763	3,589	3,624	0,613	100
6	0,778	1,76	3,742	5,597	1,109	100
8	0,891	1,856	3,899	7,568	1,618	100
10	1,042	1,906	4,062	9,539	2,137	100
12	1,247	2,016	4,232	11,507	2,672	100
14	1,43	2,129	4,412	13,473	3,224	100
16	1,585	2,151	4,597	15,437	3,791	100
18	1,667	2,2	4,786	17,4	4,368	100
20	1,564	2,252	4,979	19,363	4,944	100
22	1,624	2,408	5,181	21,326	5,518	100
24	1,576	2,425	5,39	23,289	6,093	100
26	1,628	2,385	5,599	25,251	6,668	100
28	1,591	2,428	5,807	27,214	7,243	100
30	1,74	2,472	6,02	29,175	7,824	100
32	1,75	2,434	6,232	31,136	8,411	100
34	1,726	2,514	6,446	33,097	8,998	100
36	1,87	2,668	6,671	35,057	9,589	100
38	1,981	2,69	6,903	37,015	10,192	100
40	2,087	2,771	7,139	39,972	10,805	100
42	2,067	2,921	7,386	41,927	11,421	100
44	2,216	2,974	7,641	43,882	12,042	100
46	2,249	3,06	7,902	45,835	12,672	100
48	2,359	3,157	8,171	47,787	13,307	100
50	2,342	3,232	8,447	49,739	13,947	100

La Tabla 17 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0106 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Todos los valores son positivos ya que la perforación se realizó en el frente y hastiales de la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 17. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0106.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	17,057	0	0	0	0	100
2	17,12	0,139	0,006	1,725	1,635	100
4	17,071	359,987	0,011	3,45	3,271	100
6	18,958	359,96	0,009	5,177	4,9	100
8	18,931	359,894	0,003	7,906	6,523	100
10	18,71	0,028	0	9,639	8,136	100
12	18,686	0,04	0,002	11,375	9,739	100
14	18,697	0,127	0,009	13,111	11,341	100
16	18,735	0,163	0,021	15,847	12,946	100
18	18,728	0,23	0,037	17,582	14,551	100
20	18,711	0,179	0,054	19,318	16,156	100
22	18,828	0,54	0,084	21,052	17,765	100
24	18,486	0,646	0,133	23,789	19,364	100
26	18,326	359,914	0,156	25,533	20,943	100
28	18,435	0,037	0,154	27,278	22,52	100
30	18,491	0,027	0,157	29,02	24,103	100
32	18,547	0,092	0,162	31,761	25,691	100
34	18,692	0,11	0,17	33,5	27,288	100
36	18,913	0,184	0,182	35,233	28,899	100
38	19,166	0,251	0,2	37,959	30,53	100
40	19,33	0,303	0,223	39,68	32,179	100
42	19,496	0,361	0,25	41,395	33,84	100
44	19,522	0,534	0,287	43,108	35,51	100
46	19,712	0,619	0,334	45,818	37,189	100
48	19,828	0,554	0,383	47,523	38,88	100

La Tabla 18 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0107 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Todos los valores son positivos ya que la perforación se realizó en el frente y hastiales de la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 18. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0107.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	19,932	0	0	0	0	100
2	20,065	0,536	0,468	1,923	1,29	100
4	20,265	0,659	0,517	3,616	2,014	100
6	20,508	0,802	0,577	5,303	3,756	100
8	20,718	0,867	0,645	7,982	5,516	100
10	20,943	1,044	0,723	9,654	7,294	100
12	21,242	1,128	0,811	11,319	9,094	100
14	21,281	1,21	0,906	13,977	10,907	100
16	21,332	1,379	1,011	15,634	12,723	100
18	21,375	1,498	1,128	17,29	14,544	100
20	21,326	1,655	1,256	19,945	16,364	100
22	21,37	1,762	1,395	21,6	18,185	100
24	21,333	1,894	1,544	23,254	20,005	100
26	21,31	2,017	1,703	25,909	23,823	100
28	21,428	2,183	1,873	27,562	24,645	100
30	21,397	2,335	2,057	29,214	25,47	100
32	21,487	2,438	2,251	31,863	27,298	100
34	21,529	2,494	2,451	33,511	29,131	100
36	21,526	2,573	2,657	35,158	32,966	100
38	21,531	2,563	2,865	37,804	34,801	100
40	21,5	2,662	3,077	39,451	36,635	100
42	21,482	2,682	3,294	41,098	38,466	100
44	21,54	2,776	3,515	43,745	40,3	100
46	21,462	2,829	3,743	45,391	42,132	100
48	21,515	2,871	3,974	47,038	43,964	100

La Tabla 19 muestra los valores del sondaje diamantino PDPS0108 cada dos metros perforados del buzamiento y azimut; así como el posicionamiento tridimensional en este, norte y profundidad. Todos los valores son positivos ya que la perforación se realizó en el frente y hastiales de la galería de trabajo. La calidad de la estación es buena ya que llega al 100%.

Tabla 19. Resultado del procesamiento de medición del sondaje PDPS0108.

Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	21,522	0	0	0	0	100
2	21,54	0,056	0,45	0,328	1,633	100
4	21,541	0,198	0,704	1,972	2,469	100
6	21,524	0,347	0,969	2,616	3,304	100
8	21,702	0,491	1,247	3,256	4,146	100
10	21,767	0,657	1,536	3,891	4,997	100
12	21,774	0,772	1,837	4,525	5,852	100
14	21,761	0,896	2,147	5,158	6,706	100
16	21,791	1,026	2,468	5,79	7,561	100
18	21,769	1,151	2,799	6,421	8,416	100
20	21,795	1,299	3,141	7,052	10,271	100
22	21,867	1,426	3,494	7,68	12,131	100
24	21,889	1,55	3,857	8,305	14,994	100
26	22,058	1,46	4,222	8,928	16,865	100
28	22,199	1,551	4,585	9,545	18,748	100
30	22,256	1,63	4,956	10,159	20,64	100
32	22,325	1,786	5,336	10,77	22,536	100
34	22,377	1,957	5,728	11,377	24,438	100
36	22,298	2,052	6,132	11,984	26,338	100
38	22,204	2,078	6,54	12,594	28,231	100
40	22,19	2,202	6,955	13,205	30,12	100
42	22,176	2,338	7,38	13,815	32,008	100
44	22,167	2,489	7,817	14,425	34,895	100
46	22,155	2,442	8,258	15,034	36,781	100
48	22,129	2,529	8,701	16,644	38,666	100

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE SONDAJES MEDIDOS

Se realizó la evaluación de cada sondaje a partir de la data presentada en el capítulo anterior. Se evaluó la desviación del buzamiento y azimut en cada sondaje desde el punto inicial hasta el final de la perforación. El avance diario acumulado y la meta diaria acumulada también se evaluaron para al final tener el margen de separación entre lo proyectado y lo realizado realmente. También se evaluó la velocidad de rotación y la presión de avance tanto al inicio como al final de la perforación.

4.1.1. Sondaje PDPS0101

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje, los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje de 1.704° para el buzamiento y 0.946° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 20 muestra los valores de la desviación.

Tabla 20. Resultados de desviación del sondaje PDPS0101.

Sondaje PDPS0101						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	-45,914	0	0	0	0	100
46	-44,21	0,946	0,381	45,19	-45,436	100
Desviación	1,704	0,946				

Parámetro 2: Avances de perforación, el Gráfico 1 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0101 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 47.6 metros se observa que existe una lejanía de 16.4 metros respecto a la meta que se debió lograr.

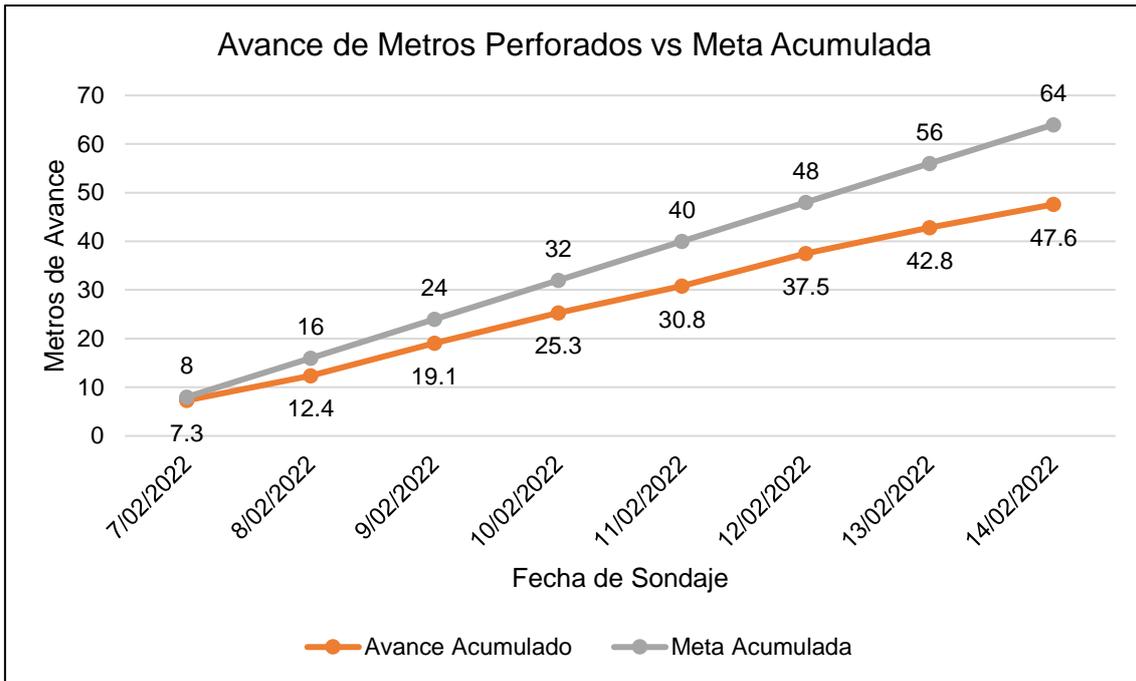


Gráfico 1. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 2 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0101 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.46° y se llegó hasta una desviación de 1.704° , lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

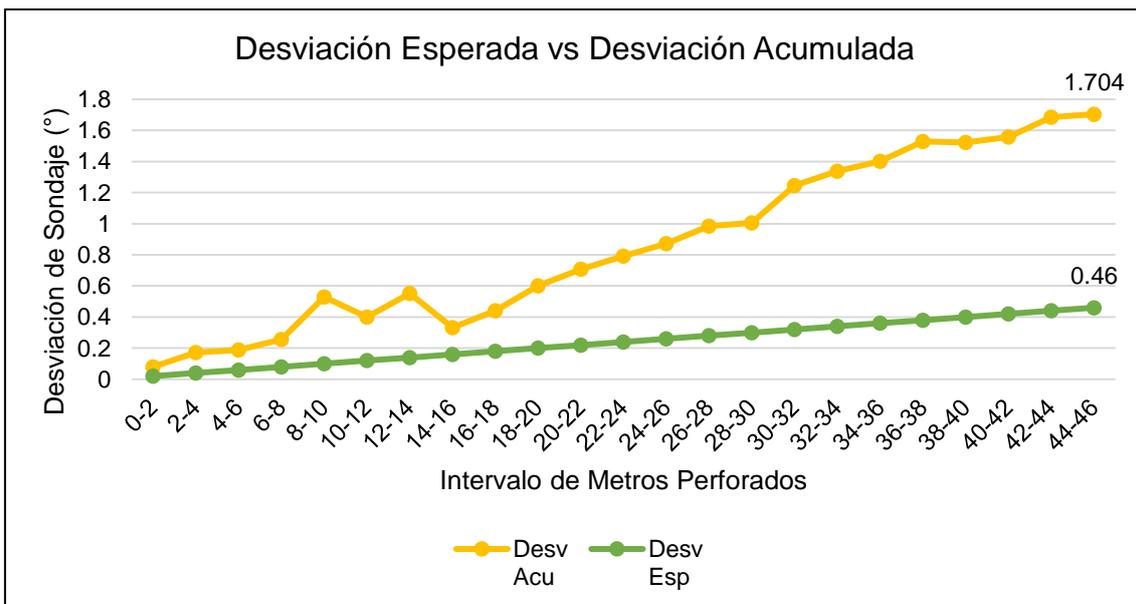


Gráfico 2. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 21. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0101.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
07/02/2022	PDPS0101	0	7,3	7,3	950	5 - 6	90
08/02/2022	PDPS0101	7,3	12,4	5,1	950	5 - 6	90
09/02/2022	PDPS0101	12,4	19,1	6,7	1000	5 - 6	100
10/02/2022	PDPS0101	19,1	25,3	6,2	1000	5 - 6	100
11/02/2022	PDPS0101	25,3	30,8	5,5	1000	5 - 6	100
12/02/2022	PDPS0101	30,8	37,5	6,7	1000	5 - 6	100
13/02/2022	PDPS0101	37,5	42,8	5,3	1000	5 - 6	100
14/02/2022	PDPS0101	42,8	47,6	4,8	1000	5 - 6	100

En la Tabla 21 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0101, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.2. Sondaje PDPS0102

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 2.476° para el buzamiento y 1.596° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 22 muestra los valores de la desviación.

Tabla 22. Resultados de desviación del sondaje PDPS0102.

Sondaje PDPS0102						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	-45,238	0	0	0	0	100
46	-42,762	1,596	2,282	45,019	-44,237	100
Desviación	2,476	1,596				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 3 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0102 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 47.8 metros se observa que existe una lejanía de 8.2 metros respecto a la meta que se debió lograr.

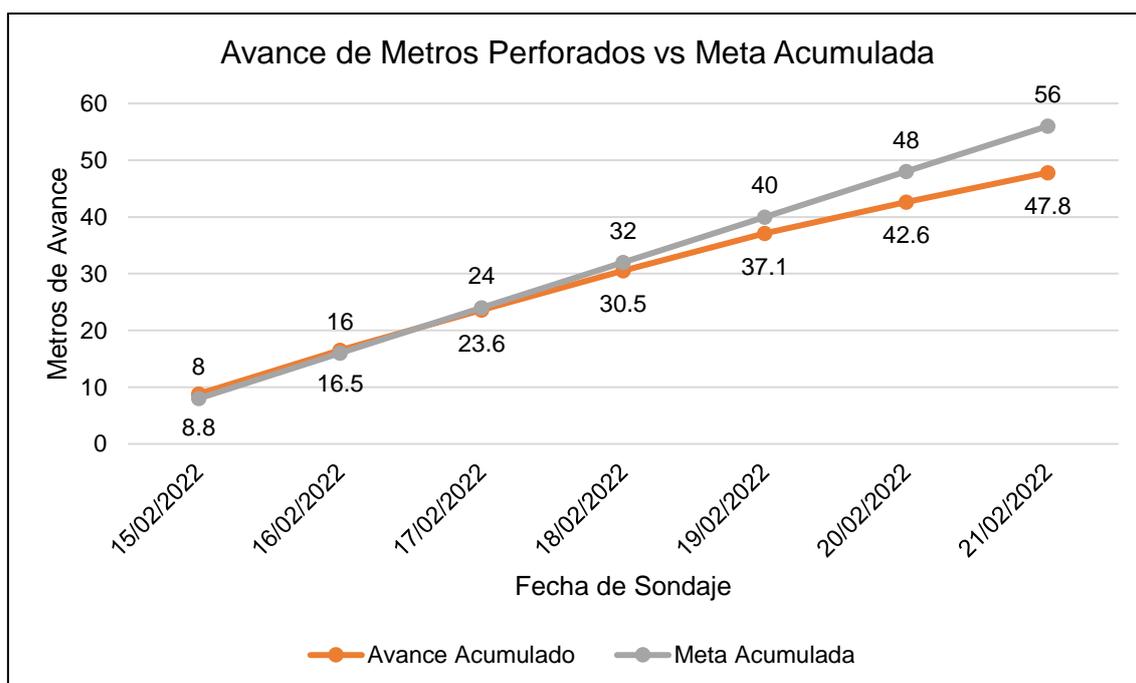


Gráfico 3. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 4 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0102 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.46° y se llegó hasta una desviación de 2.476°, lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

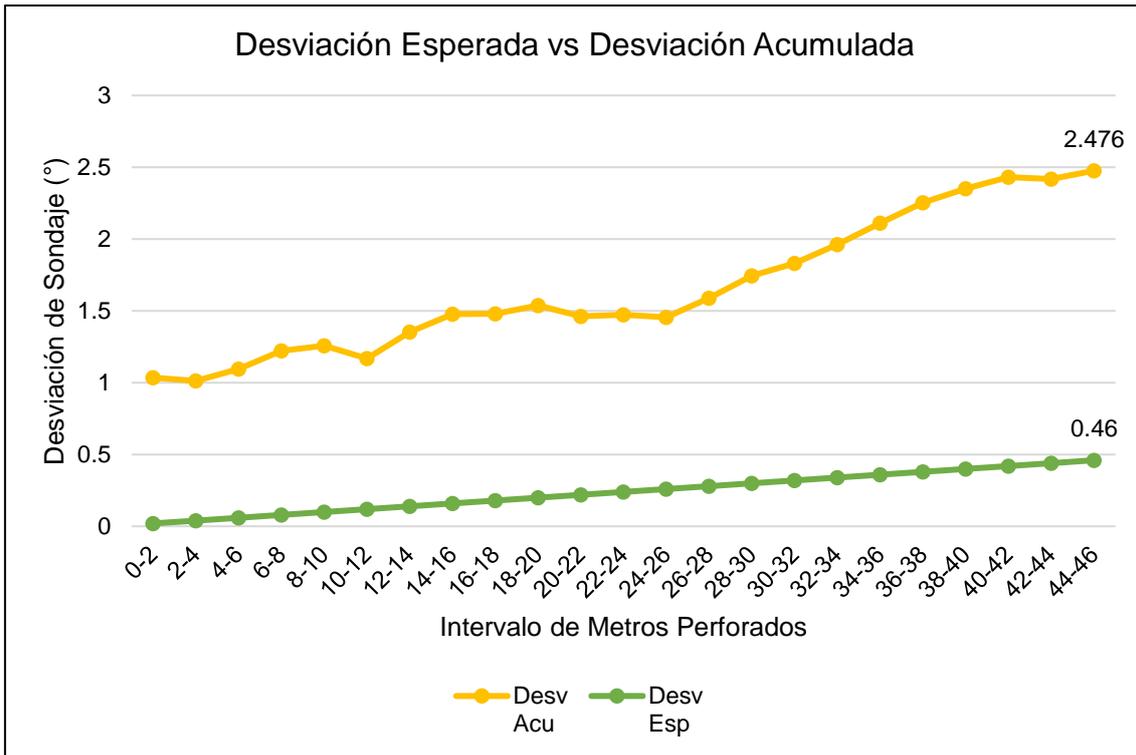


Gráfico 4. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 23. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0102.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
15/02/2022	PDPS0102	47,6	56,4	8,8	950	5 - 6	90
16/02/2022	PDPS0102	56,4	64,1	7,7	950	5 - 6	90
17/02/2022	PDPS0102	64,1	71,2	7,1	1000	5 - 6	100
18/02/2022	PDPS0102	71,2	78,1	6,9	1000	5 - 6	100
19/02/2022	PDPS0102	78,1	84,7	6,6	1000	5 - 6	100
20/02/2022	PDPS0102	84,7	90,2	5,5	1000	5 - 6	100
21/02/2022	PDPS0102	90,2	95,4	5,2	1500	5 - 6	100

En la Tabla 23 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0102, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.3. Sondaje PDPS0103

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 3.377° para el buzamiento y 0.848° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 24 muestra los valores de la desviación.

Tabla 24. Resultados de desviación del sondaje PDPS0103.

Sondaje PDPS0103						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	0,018	0	0	0	0	100
46	3,395	0,848	0,854	45,974	1,421	100
Desviación	3,377	0,848				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 5 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0103 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 47.3 metros se observa que existe una lejanía de 16.7 metros respecto a la meta que se debió lograr.

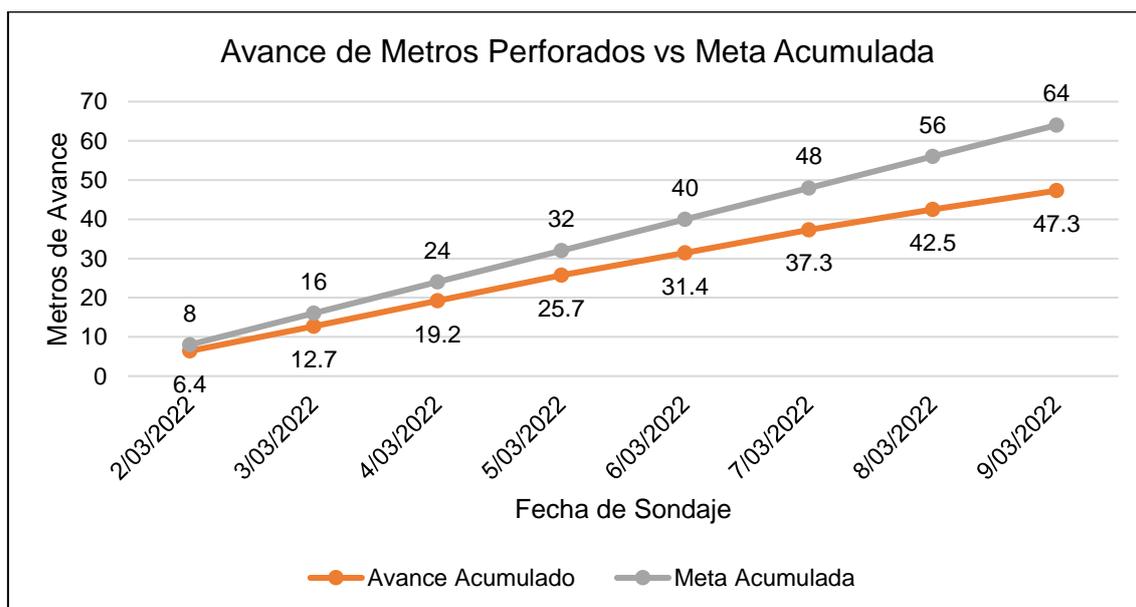


Gráfico 5. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 6 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0103 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.46° y se llegó hasta una desviación de 3.377°, lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

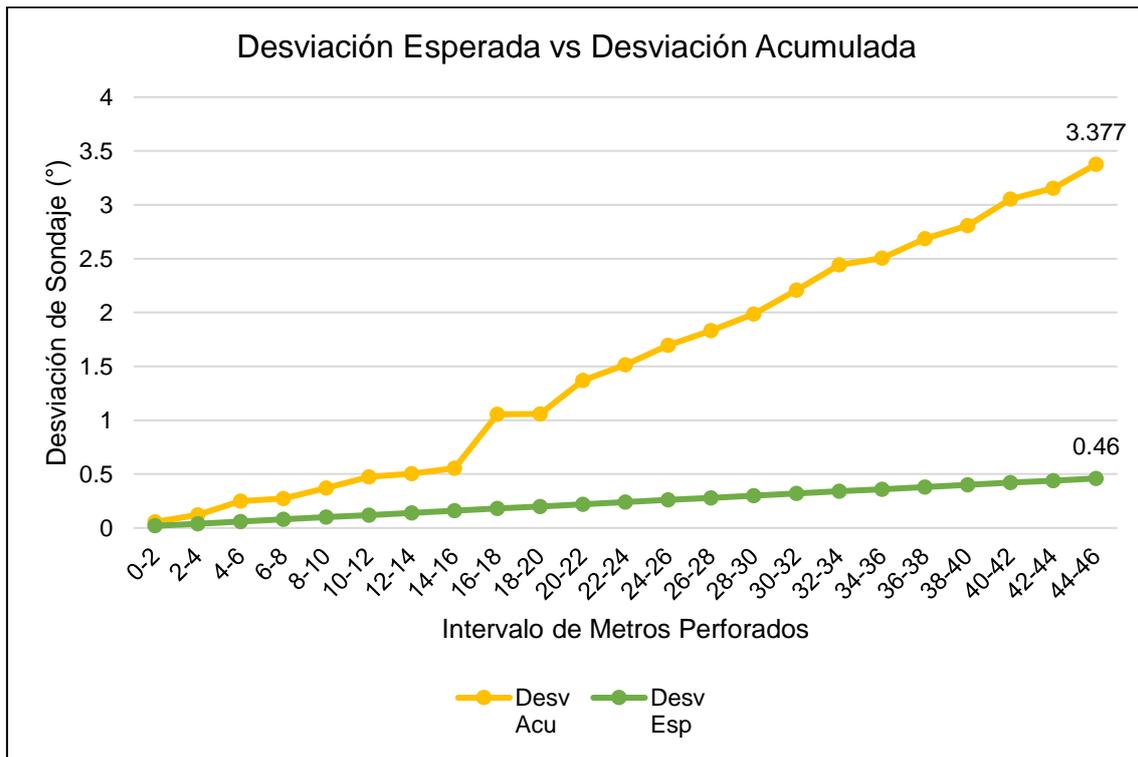


Gráfico 6. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 25. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0103.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
02/03/2022	PDPS0103	0	6,4	6,4	950	5 - 6	90
03/03/2022	PDPS0103	6,4	12,7	6,3	950	5 - 6	90
04/03/2022	PDPS0103	12,7	19,2	6,5	1000	5 - 6	100
05/03/2022	PDPS0103	19,2	25,7	6,5	1000	5 - 6	100
06/03/2022	PDPS0103	25,7	31,4	5,7	1000	5 - 6	100
07/03/2022	PDPS0103	31,4	37,3	5,9	1000	5 - 6	100
08/03/2022	PDPS0103	37,3	42,5	5,2	1000	5 - 6	100
09/03/2022	PDPS0103	42,5	47,3	4,8	1000	5 - 6	100

En la Tabla 25 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0103, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.4. Sondaje PDPS0104

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 4.655° para el buzamiento y 1.61° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 26 muestra los valores de la desviación.

Tabla 26. Resultados de desviación del sondaje PDPS0104.

Sondaje PDPS0104						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	0,507	0	0	0	0	100
48	5,162	1,61	3,153	47,696	8,215	100
Desviación	4,655	1,61				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 7 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0104 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 49.9 metros se observa que existe una lejanía de 30.1 metros respecto a la meta que se debió lograr.

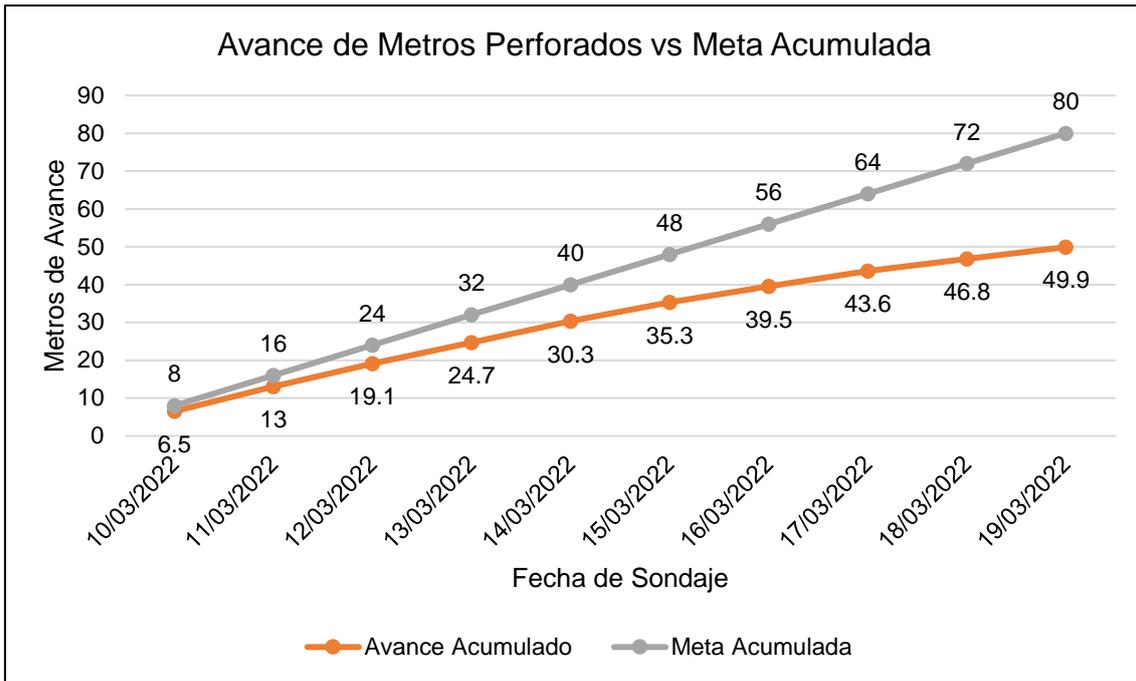


Gráfico 7. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 8 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0104 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.48° y se llegó hasta una desviación de 4.655° , lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

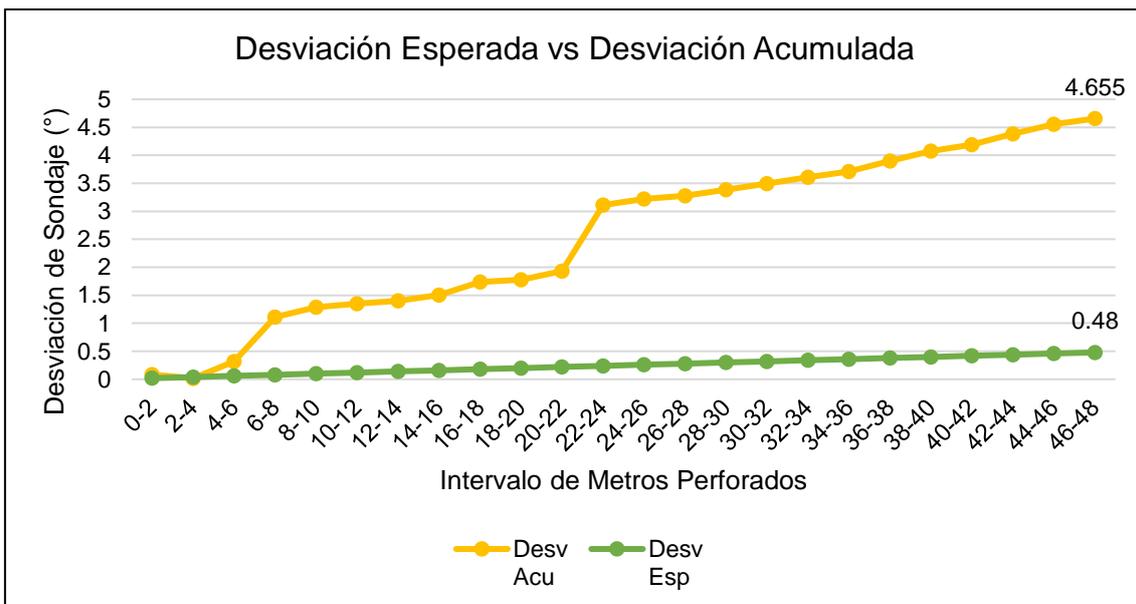


Gráfico 8. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 27. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0104.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
10/03/2022	PDPS0104	47,3	53,8	6,5	950	5 - 6	90
11/03/2022	PDPS0104	53,8	60,3	6,5	950	5 - 6	90
12/03/2022	PDPS0104	60,3	66,4	6,1	1000	5 - 6	100
13/03/2022	PDPS0104	66,4	72	5,6	1500	5 - 6	100
14/03/2022	PDPS0104	72	77,6	5,6	1500	5 - 6	100
15/03/2022	PDPS0104	77,6	82,6	5	1500	5 - 6	100
16/03/2022	PDPS0104	82,6	86,8	4,2	1500	5 - 6	100
17/03/2022	PDPS0104	86,8	90,9	4,1	1500	5 - 6	100
18/03/2022	PDPS0104	90,9	94,1	3,2	1500	5 - 6	100
19/03/2022	PDPS0104	94,1	97,2	3,1	1500	5 - 6	100

En la Tabla 27 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0104, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.5. Sondaje PDPS0105

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 2.121° para el buzamiento y 3.232° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 28 muestra los valores de la desviación.

Tabla 28. Resultados de desviación del sondaje PDPS0105.

Sondaje PDPS0105						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	0,221	0	0	0	0	100
50	2,342	3,232	8,447	49,739	13,947	100
Desviación	2,121	3,232				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 9 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0105 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 51.6 metros se observa que existe una lejanía de 28.4 metros respecto a la meta que se debió lograr.

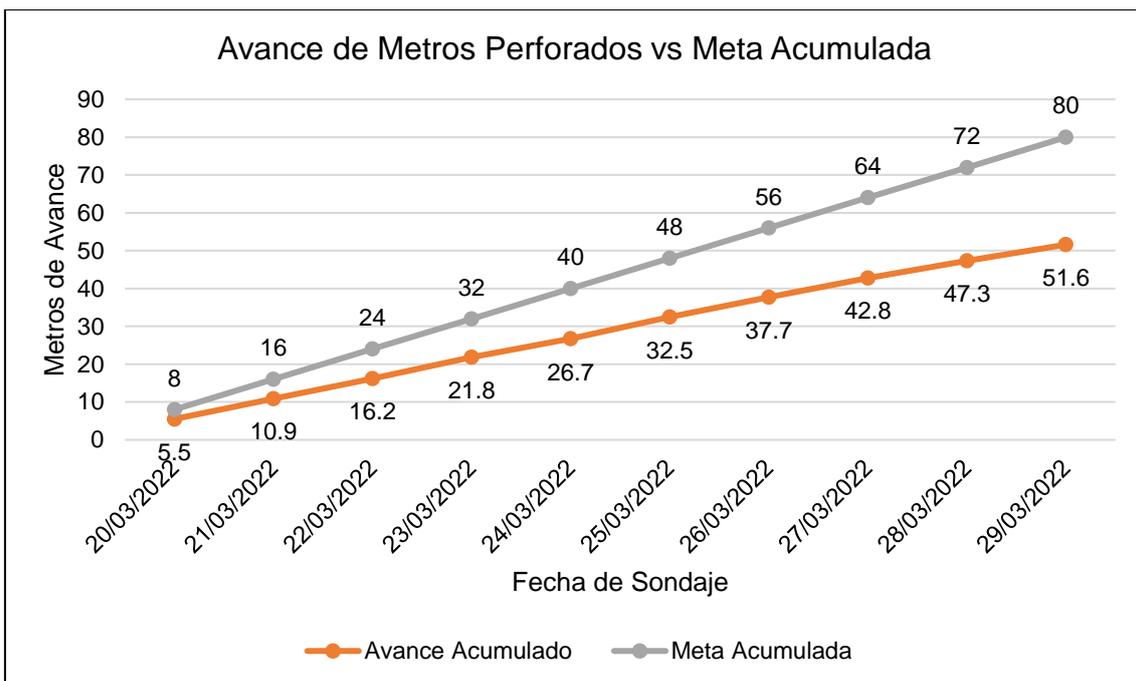


Gráfico 9. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 10 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0105 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.5° y se llegó hasta una desviación de 2.121°, lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

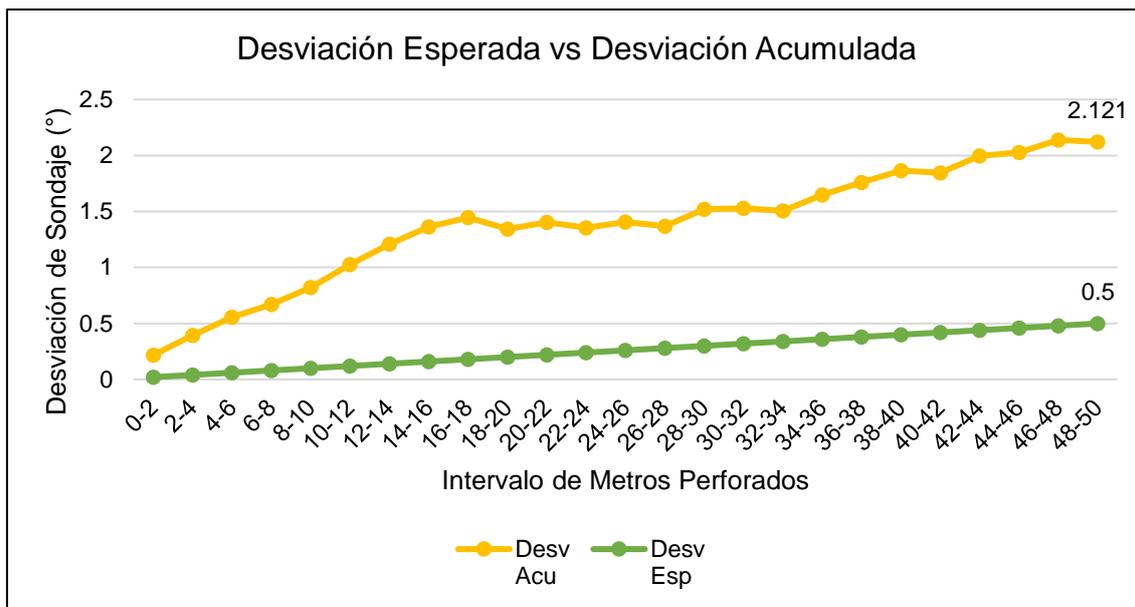


Gráfico 10. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 29. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0105.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
20/03/2022	PDPS0105	97,2	102,7	5,5	950	5 - 6	90
21/03/2022	PDPS0105	102,7	108,1	5,4	950	5 - 6	90
22/03/2022	PDPS0105	108,1	113,4	5,3	1000	5 - 6	100
23/03/2022	PDPS0105	113,4	119	5,6	1000	5 - 6	100
24/03/2022	PDPS0105	119	123,9	4,9	1500	5 - 6	100
25/03/2022	PDPS0105	123,9	129,7	5,8	1500	5 - 6	100
26/03/2022	PDPS0105	129,7	134,9	5,2	1500	5 - 6	100
27/03/2022	PDPS0105	134,9	140	5,1	1500	5 - 6	100
28/03/2022	PDPS0105	140	144,5	4,5	1500	5 - 6	100
29/03/2022	PDPS0105	144,5	148,8	4,3	1500	5 - 6	100

En la Tabla 29 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0105, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.6. Sondaje PDPS0106

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 2.771° para el buzamiento y 3.554° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 30 muestra los valores de la desviación.

Tabla 30. Resultados de desviación del sondaje PDPS0106.

Sondaje PDPS0106						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	17,057	0	0	0	0	100
48	19,828	0,554	0,383	47,523	38,88	100
Desviación	2,771	0,554				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 11 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0106 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 49.7 metros se observa un intervalo de 22.3 metros respecto a la meta esperada.

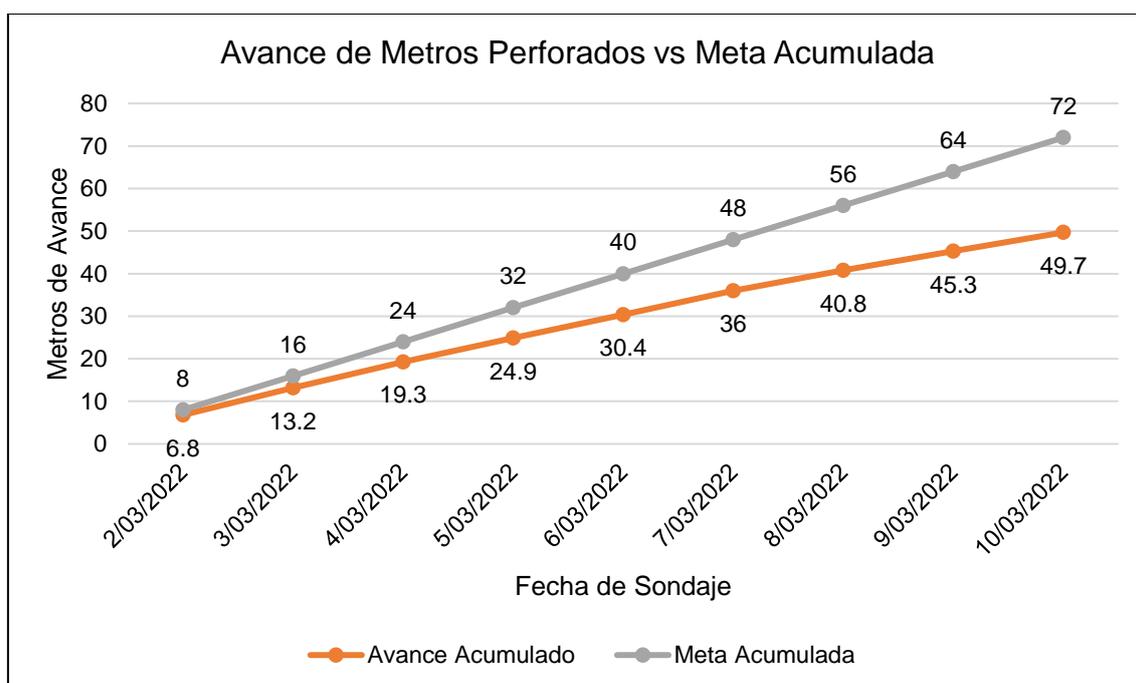


Gráfico 11. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 12 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0106 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.48° y se llegó hasta una desviación de 2.771°, lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

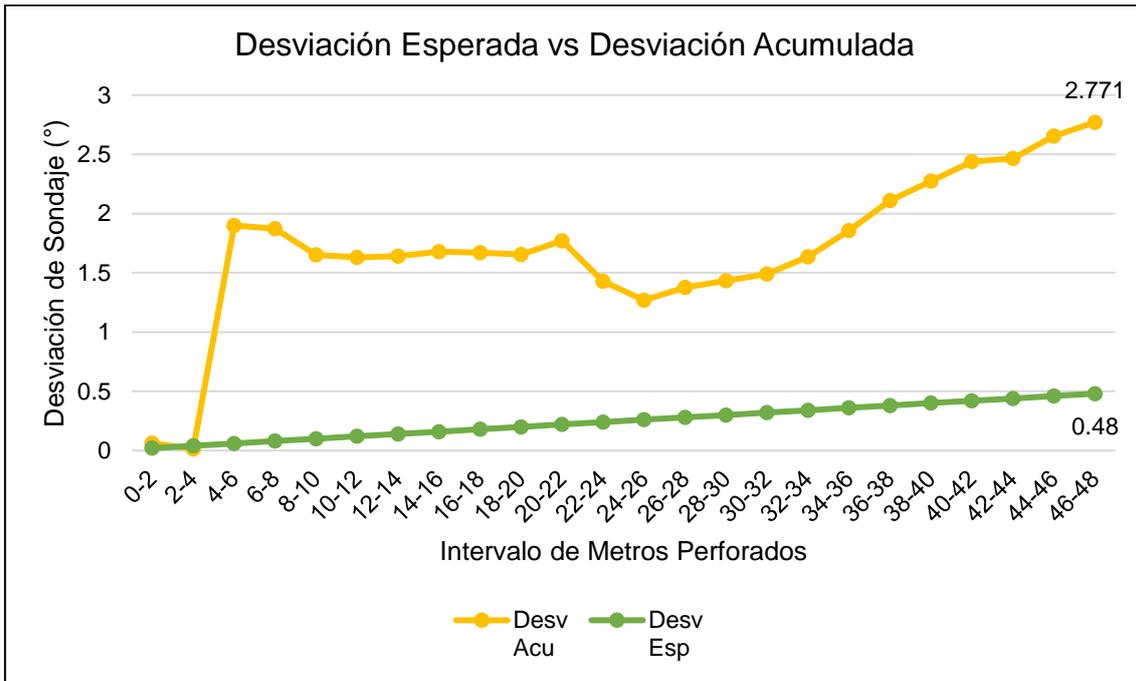


Gráfico 12. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 31. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0106.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
02/03/2022	PDPS0106	0	6,8	6,8	950	5 - 6	90
03/03/2022	PDPS0106	6,8	13,2	6,4	950	5 - 6	90
04/03/2022	PDPS0106	13,2	19,3	6,1	1000	5 - 6	100
05/03/2022	PDPS0106	19,3	24,9	5,6	1000	5 - 6	100
06/03/2022	PDPS0106	24,9	30,4	5,5	1000	5 - 6	100
07/03/2022	PDPS0106	30,4	36	5,6	1000	5 - 6	100
08/03/2022	PDPS0106	36	40,8	4,8	1000	5 - 6	100
09/03/2022	PDPS0106	40,8	45,3	4,5	1000	5 - 6	100
10/03/2022	PDPS0106	45,3	49,7	4,4	1000	5 - 6	100

En la Tabla 31 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0106, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.7. Sondaje PDPS0107

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 1.583° para el buzamiento y 2.871° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1°. La Tabla 32 muestra los valores de la desviación.

Tabla 32. Resultados de desviación del sondaje PDPS0107.

Sondaje PDPS0107						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	19,932	0	0	0	0	100
48	21,515	2,871	3,974	47,038	43,964	100
Desviación	1,583	2,871				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 13 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0107 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 49.9 metros se observa que existe una lejanía de 22.1 metros respecto a la meta que se debió lograr.

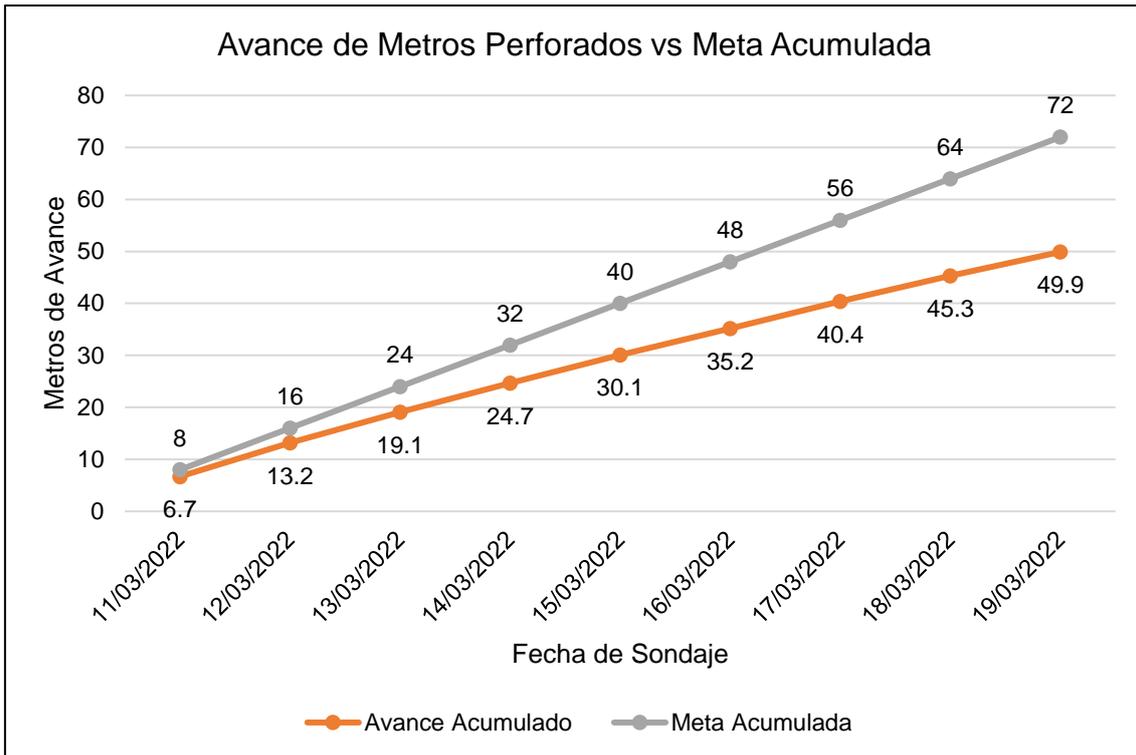


Gráfico 13. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 14 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0107 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.48° y se llegó hasta una desviación de 1.583° , lo cual indica una perforación desfavorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera incorrecta o múltiples problemas que surgen durante la operación.

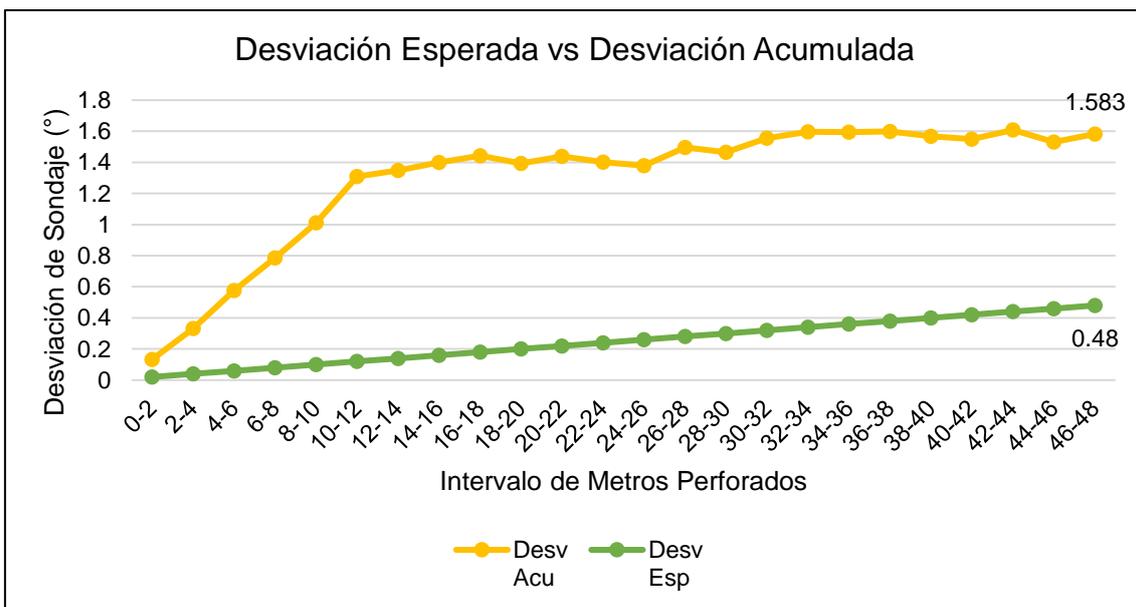


Gráfico 14. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 33. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0107.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
11/03/2022	PDPS0107	49,7	56,4	6,7	950	5 - 6	90
12/03/2022	PDPS0107	56,4	62,9	6,5	950	5 - 6	90
13/03/2022	PDPS0107	62,9	68,8	5,9	1000	5 - 6	100
14/03/2022	PDPS0107	68,8	74,4	5,6	1000	5 - 6	100
15/03/2022	PDPS0107	74,4	79,8	5,4	1000	5 - 6	100
16/03/2022	PDPS0107	79,8	84,9	5,1	1000	5 - 6	100
17/03/2022	PDPS0107	84,9	90,1	5,2	1000	5 - 6	100
18/03/2022	PDPS0107	90,1	95	4,9	1000	5 - 6	100
19/03/2022	PDPS0107	95	99,6	4,6	1000	5 - 6	100

En la Tabla 33 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0107, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.1.8. Sondaje PDPS0108

Se evaluó los siguientes parámetros antes, durante y después de la perforación.

Parámetro 1: Desviación del sondaje

Los resultados arrojados muestran que existe una desviación final del sondaje perforado de 0.607° para el buzamiento y 2.529° para el azimut, considerar que por cada 100 metros perforados la desviación debe ser menor o igual a 1° . La Tabla 34 muestra los valores de la desviación.

Tabla 34. Resultados de desviación del sondaje PDPS0108.

Sondaje PDPS0108						
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Calidad de la Estación (%)
0	21,522	0	0	0	0	100
48	22,129	2,529	8,701	16,644	38,666	100
Desviación	0,607	2,529				

Parámetro 2: Avances de perforación

El Gráfico 15 muestra los metros perforados diarios del sondaje PDPS0108 en comparación con la meta diaria a cumplir, al final del tramo perforado de 48.3 metros se observa que existe una lejanía de 23.7 metros respecto a la meta que se debió lograr.

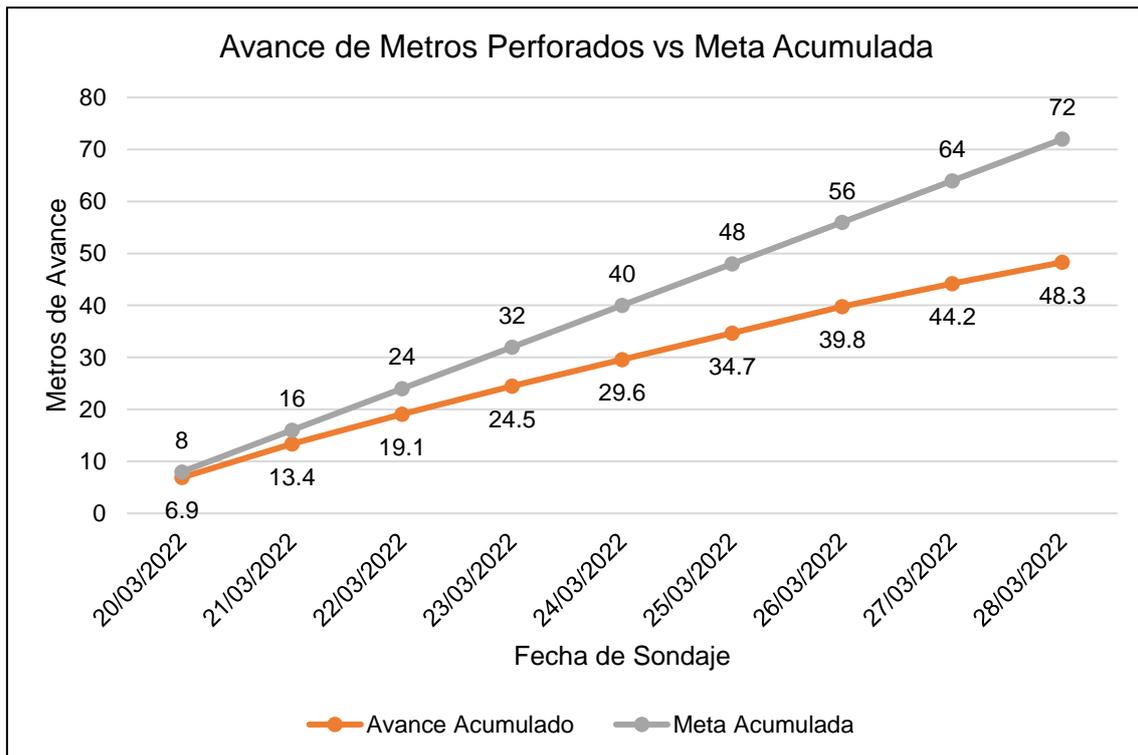


Gráfico 15. Avance de metros perforados vs meta proyectada.

El Gráfico 16 muestra la desviación acumulada del sondaje PDPS0108 en comparación con la desviación esperada a cumplir en el final de la perforación, se esperaba una desviación de 0.48° y se llegó hasta una desviación de 0.607°, lo cual indica una perforación favorable para la operación, esto debido al uso de parámetros de perforación de manera correcta y adecuada.

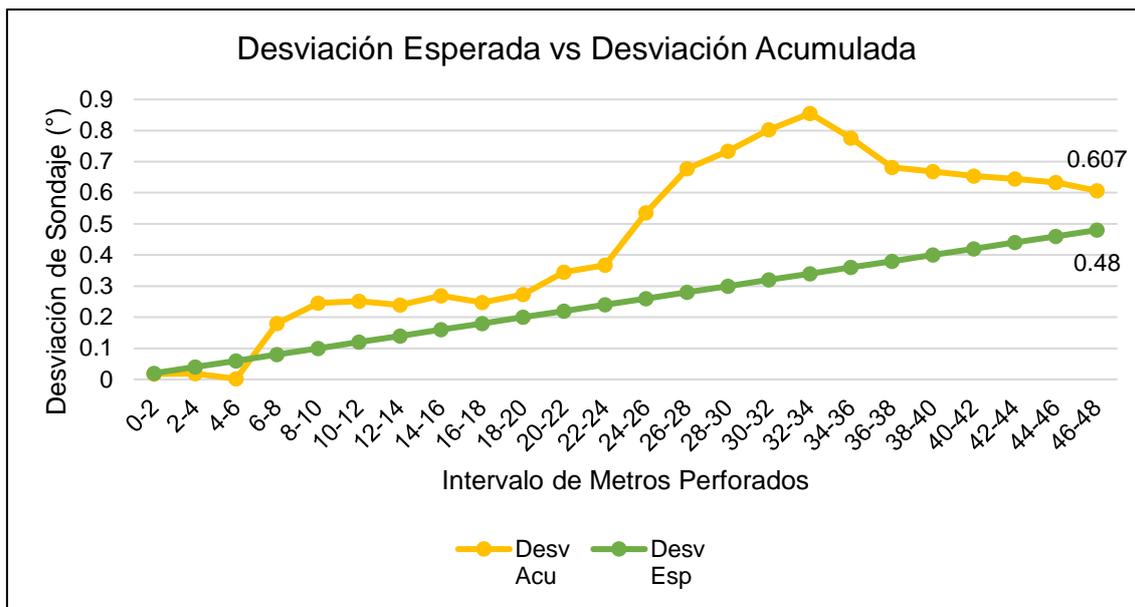


Gráfico 16. Desviación esperada vs desviación acumulada.

Tabla 35. Parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0108.

FECHA	SONDAJE	DESDE	HASTA	MPD	VELOCIDAD ROTACION (RPM)	CAUDAL FLUIDO (Gal/Min)	PRESION DE AVANCE O PULLDOWN (PSI)
20/03/2022	PDPS0108	99,6	106,5	6,9	950	5 - 6	90
21/03/2022	PDPS0108	106,5	113	6,5	950	5 - 6	90
22/03/2022	PDPS0108	113	118,7	5,7	1000	5 - 6	100
23/03/2022	PDPS0108	118,7	124,1	5,4	1000	5 - 6	100
24/03/2022	PDPS0108	124,1	129,2	5,1	1000	5 - 6	100
25/03/2022	PDPS0108	129,2	134,3	5,1	1000	5 - 6	100
26/03/2022	PDPS0108	134,3	139,4	5,1	1000	5 - 6	100
27/03/2022	PDPS0108	139,4	143,8	4,4	1000	5 - 6	100
28/03/2022	PDPS0108	143,8	147,9	4,1	1000	5 - 6	100

En la Tabla 35 se observa los parámetros de perforación aplicados en el sondaje PDPS0108, en los primeros metros de avance tanto la velocidad de rotación como la presión de avance o pulldown son menores con respecto al final de la perforación, esto es debido a que el inicio de la perforación debe ser lento y pausado para no incurrir en prematuras desviaciones, ya conforme se avanza en el sondaje los valores de velocidad y rotación van aumentando; asimismo se observa que el caudal del fluido se mantiene constante, ya que un aumento del caudal de agua a mayores profundidades desestabiliza el pozo generando atrapamiento de tubería y desgaste prematuro de broca.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación se realizó con el fin de evaluar el rendimiento de la perforadora PackSack en los sondajes de exploración y avance del proyecto minero Huyrapongo. Dicha investigación no solo tuvo implicancias geológicas, sino también a nivel operacional y de desarrollo ya que permitió tener una mayor objetividad en cuanto a la dirección de las vetas a explotar.

Una vez observado el comportamiento de las variables estudiadas en la evaluación del rendimiento de la perforadora con ocho sondajes realizados, se debate los resultados obtenidos de la siguiente manera:

En primer lugar, tenemos que para los sondajes PDPS0101, PDPS0102, PDPS0103, PDPS0104, PDPS0105, PDPS0106, PDPS0107, PDPS0108 existe un inicio de perforación del todo favorable, debido a que arrojan resultados dentro del rango de error permitido.

La Tabla 36 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación PDPS0101 en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.116° y en buzamiento de 0.086° , dichos valores se encuentran por debajo del permitido y es aceptable el sondaje.

Tabla 36. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0101.

PDPS0101		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	49,884	-45,914
Proyecto	50	-46
Rango de error	<0.5	<0.5
Error ejecutado	0,116	0,086

La Tabla 37 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación PDPS0102 en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.757° y en buzamiento de 0.762° , dichos valores se encuentran ligeramente por encima del permitido y es aceptable el sondaje.

Tabla 37. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0102.

PDPS0102		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	49,243	-45,238
Proyecto	50	-46
Rango de error	<0.5	<0.5
Error ejecutado	0,757	0,762

La Tabla 38 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación PDPS0103 en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.028° y en buzamiento de 0.018°, dichos valores se encuentran por debajo del permitido y es aceptable el sondaje.

Tabla 38. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0103.

PDPS0103		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	119,972	0,018
Proyecto	120	0
Rango de error	<0.5°	<0.5°
Error ejecutado	0,028	0,018

La Tabla 39 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación PDPS014 en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.785° y en buzamiento de 0.507°, el azimut se encuentra ligeramente por encima del permitido, lo cual es aceptable.

Tabla 39. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0104.

PDPS0104		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	119,215	0,507
Proyecto	120	0
Rango de error	<0.5°	<0.5°
Error ejecutado	0,785	0,507

La Tabla 40 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 1.721° y en buzamiento de 0.439°, el azimut se encuentra muy por encima de lo permitido, en tal sentido se tomó como observado dicho sondaje.

Tabla 40. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0105.

PDPS0105		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	118,279	0,439
Proyecto	120	0
Rango de error	<0.5°	<0.5°
Error ejecutado	1,721	0,439

La Tabla 41 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.139° y en buzamiento de 1.943°, el buzamiento se encuentra muy por encima de lo permitido, en tal sentido se tomó como observado dicho sondaje.

Tabla 41. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0106.

PDPS0106		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	146,861	17,057
Proyecto	147	19
Rango de error	<0.5°	<0.5°
Error ejecutado	0,139	1,943

La Tabla 42 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.536° y en buzamiento de 0.932°, dichos valores se encuentran ligeramente por encima del permitido y es aceptable el sondaje.

Tabla 42. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0107.

PDPS0107		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	146,464	19,932
Proyecto	147	19
Rango de error	<0.5°	<0.5°
Error ejecutado	0,536	0,932

La Tabla 43 muestra el error ejecutado en el sondaje de perforación en relación al procesado e indicado en el proyecto, así como el rango de error. En el azimut se tuvo un rango de error de 0.056° y en buzamiento de 2.54°, el buzamiento se encuentra muy por encima de lo permitido, en tal sentido se tomó como observado dicho sondaje.

Tabla 43. Resultado final de la medición del sondaje PDPS0108.

PDPS0108		
	Azimut (deg)	Buzamiento (deg)
Procesado	146,944	21,54
Proyecto	147	19
Rango de error	<0.5°	<0.5°
Error ejecutado	0,056	2,54

En segundo lugar, se evaluó la desviación final de los sondajes con la profundidad total del taladro.

La Tabla 44 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0101 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 46 metros entonces la desviación admitida es de 0.46°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -1.244°, mientras que en azimut -0.486°.

Tabla 44. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0101.

Sondaje PDPS0101		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	-45,914	0
46	-44,21	0,946
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,46	0,46
Desviación ejecutada	1,704	0,946
Error ejecutado	-1,244	-0,486

La Tabla 45 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0102 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 46 metros entonces la desviación admitida es de 0.46°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -2.016°, mientras que en azimut -1.136°.

Tabla 45. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0102.

Sondaje PDPS0102		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	-45,238	0
46	-42,762	1,596
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,46	0,46
Desviación ejecutada	2,476	1,596
Error ejecutado	-2,016	-1,136

La Tabla 46 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0103 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 46 metros entonces la desviación admitida es de 0.46°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -2.917°, mientras que en azimut -0.388°.

Tabla 46. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0103.

Sondaje PDPS0103		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	0,018	0
46	3,395	0,848
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,46	0,46
Desviación ejecutada	3,377	0,848
Error ejecutado	-2,917	-0,388

La Tabla 47 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0104 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 48 metros entonces la desviación admitida es de 0.48°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -4.175°, mientras que en azimut -1.13°.

Tabla 47. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0104.

Sondaje PDPS0104		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	0,507	0
48	5,162	1,61
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,48	0,48
Desviación ejecutada	4,655	1,61
Error ejecutado	-4,175	-1,13

La Tabla 48 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0105 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 50 metros entonces la desviación admitida es de 0.5°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -1.621°, mientras que en azimut -2.732°.

Tabla 48. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0105.

Sondaje PDPS0105		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	0,221	0
50	2,342	3,232
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,5	0,5
Desviación ejecutada	2,121	3,232
Error ejecutado	-1,621	-2,732

La Tabla 49 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0106 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 48 metros entonces la desviación admitida es de 0.48°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -2.291°, mientras que en azimut -0.074°.

Tabla 49. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0106.

Sondaje PDPS0106		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	17,057	0
48	19,828	0,554
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,48	0,48
Desviación ejecutada	2,771	0,554
Error ejecutado	-2,291	-0,074

La Tabla 50 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0107 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 48 metros entonces la desviación admitida es de 0.48°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -1.103°, mientras que en azimut -2.391°.

Tabla 50. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0107.

Sondaje PDPS0107		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	19,932	0
48	21,515	2,871
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,48	0,48
Desviación ejecutada	1,583	2,871
Error ejecutado	-1,103	-2,391

La Tabla 51 muestra el error ejecutado de la desviación en el sondaje PDPS0108 tomando como consideración el buzamiento y azimut inicial hasta la profundidad total con su buzamiento y azimut respectivo. El rango de desviación admitido es 1° por cada 100 metros perforados, ya que nuestro taladro llegó a los 48 metros entonces la desviación admitida es de 0.48°. En buzamiento se obtuvo un error ejecutado de -0.127°, mientras que en azimut -2.049°.

Tabla 51. Resultado final de la desviación del sondaje PDPS0108.

Sondaje PDPS0108		
Estación (m)	Buzamiento (deg)	Azimut (deg)
0	21,522	0
48	22,129	2,529
Rango de Desviación	1° cada 100 m	1° cada 100 m
Límite de Desviación	0,48	0,48
Desviación ejecutada	0,607	2,529
Error ejecutado	-0,127	-2,049

Los sondajes deberían tener una buena orientación ya que se iniciaron de manera correcta la cual nos indica los datos iniciales del sondaje al momento de empezar a perforar.

Po lo observado y evaluado en los sondajes realizados nos dieron resultados donde la trayectoria de las perforaciones se ha desviado conforme se ha ido aplicando mayores esfuerzos al terreno.

La variación de la trayectoria del sondaje tiene implicancias directas con una elevada presión de avance y velocidad de rotación, a mayores valores se generará mayores desviaciones y a menores valores de presión y velocidad la desviación en los sondajes se comportará dentro de los rangos permitidos.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se evaluó el rendimiento de la máquina perforadora PackSack en el proceso de perforación diamantina del proyecto minero subterráneo Huayrapongo, conforme se incrementa la profundidad de la perforación, la desviación de la trayectoria del sondaje tiende a aumentar generando mayor error, así como también el aumento de la presión y velocidad de rotación es causante de desviaciones del taladro, finalmente se debe controlar el caudal de agua ya que a mayor profundidad resultará en atascos de la tubería de perforación. En la hipótesis inicial se estableció que el rendimiento de la máquina perforadora PackSack depende de las condiciones de profundidad del taladro, velocidad de rotación de la corona, caudal del fluido y calidad de la roca determinada por su correlación de variables y además acorde con sus especificaciones técnicas de la máquina. Mencionado todo lo anterior, se indica que la hipótesis inicial ha sido contrastada y validada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se concluye que la desviación en el buzamiento para el sondaje 01 es 1.704°, sondaje 02 es 2.476°, sondaje 03 es 3.377°, sondaje 04 es 4.655°, sondaje 05 es 2.121°, sondaje 06 es 2.771°, sondaje 07 es 1.583°, sondaje 08 es 0.607°; 7 desviaciones se encuentran por encima del límite máximo de 0.5° y solo una por debajo del límite aceptable.

Se concluye que los avances de perforación diaria con la meta a cumplir son dispares ya que para el sondaje 01 se tuvo una diferencia de 16 m respecto a la meta que se debió lograr al finalizar el sondeo, sondaje 02 de 8.2 m, sondaje 03 de 16.7 m, sondaje 04 es 30.1 m, sondaje 05 de 28.4 m, sondaje 06 de 22.3 m, sondaje 07 de 22.1 m, sondaje 08 de 23.7 m.

Se concluye que mayor presión y velocidad de rotación en la máquina PackSack genera una mayor alteración en la trayectoria del sondaje, es por eso que se inició con una presión de 90 psi y se aumenta gradualmente hasta 100 psi; así como, se inició con revoluciones de 950 rpm y se aumentaron gradualmente hasta 1000 rpm.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa hacer perforaciones diamantinas superficiales de largo alcance.

Se recomienda hacer cartografiados geológicos del proyecto minero Huayrapongo.

Se recomienda usar equipo de perforación diferente para correlacionar y contrastar resultados de las desviaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arapa, FL. y Quispe, YG. 2023. Exploración Geológica mediante perforaciones diamantina para la ampliación de reservas en la concesión minera Santa Filomena Sancos – Ayacucho, 2021. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. 166 p.
- Altamirano, EJ. y Martínez, H. 2020. Influencia del tipo de broca y parámetros de perforación en la trayectoria de los taladros en la perforación diamantina de una unidad minera. Revisión sistemática entre 2010-2020. Tesis de Pregrado. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. 44 p.
- Bejarano, VW. 2017. Proceso de perforación diamantina y logueo geológico en el proyecto minero La Granja Rio Tinto en Querocoto – Chota – Cajamarca. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. 94 p.
- Cáceres, LM. 2019. Influencia mineralógica y geoquímica en la recuperación de Cu-Au en siete sondajes diamantinos del tajo Cerro Corona – provincia Hualgayoc, Cajamarca. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. 115 p.
- Diamantina Christensen (CHRISTENSEN). 2019. Manual técnico del perforista. Lima, Perú. 79 p.
- Garay, HZ. 2014. Análisis de vías de agua de brocas de perforación diamantina mediante simulación numérica. Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. 79 p.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. 2010. Metodología de la investigación. 5 ed. México, MGH. 656 p.
- Hormazábal, FG. 2022. Estimación de la orientación y frecuencia de fracturas en sondajes a partir de análisis de imágenes y Machine Learning. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. 69 p.

- Mantilla, VH. 2019. Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina. Tesis de Pregrado. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. 68 p.
- Meza, LA. y Cañari, AJ. 2024. Control de desviación de sondajes diamantinos para optimizar costos aplicando la tecnología de Champ Gyro Unidad Minera San Cristobal-Carahuacra. Tesis de Pregrado. Universidad Continental, Huancayo, Perú. 109 p.
- Núñez, EA. 2024. Evaluación geológica con sondajes diamantinos del prospecto Incahuasi, región de Antofagasta, Chile. Tesis de Pregrado. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 16 p.
- Pizarro, J. 2011. Exploración con sondajes proyecto Pulucktur distrito Codelco Norte. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. 75 p.
- Soto, CS. 2022. Medición de sondajes diamantinos para la evaluación de trayectoria de pozos de exploración geológica – Unidad Minera El Porvenir – Nexa. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. 176 p.
- Ticlla, J. 2021. Biodegradación de compuestos orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina mediante el proceso de compostaje. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú. 216 p.
- Urteaga, JE. y Cotrina, SJ. 2016. Optimización del porcentaje de recuperación de testigos de sondajes diamantinos en rocas fracturadas aumentando la viscosidad de los fluidos de perforación y variando parámetros operacionales en Minera Condestable, 2016. Tesis de Pregrado. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. 141 p.
- Vargas, E. 2022. Optimización de los parámetros de perforación con el sistema diamantina para el control de la desviación de la trayectoria del taladro, en la unidad operativa Yauricocha, Cía. Sierra Metals Inc, Yauyos – Lima, 2020. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, Abancay, Perú. 158 p.

- Vigo, WH. 2016. Tecnologías limpias en el proceso de Perforación Diamantina en la etapa de exploración geológica en minería, Cajamarca, 2016. Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo, Cajamarca, Perú. 82 p.
- Yatto, AE. 2022. Perforación direccional, herramientas y aplicación en sondajes diamantinos. Trabajo de Suficiencia Profesional. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. 126 p.
- Zapana, RW. 2013. Evaluación geológica mediante sondajes diamantinos del skarn de Tinyag – Mina Iscaycruz. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 123 p.

ANEXOS

Anexo 01. Plano de Ubicación

Anexo 02. Plano de Geología

Anexo 03. Plano de Labor Subterránea y Sondajes