REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Análisis técnico-económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en Ica, Perú

Tesis presentada por el Bachiller:

Medina Dospesos, Arturo Fabio

ORCID: 0009-0006-6686-4188

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Paredes Salas, Omar Willy

ORCID: 0009-0000-9860-6250

Arequipa – Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Noviembre del 2025

Dictamen: 016137-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 016137, presentado por:

2015220521 - MEDINA DOSPESOS ARTURO FABIO

Titulado:

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO COMPARATIVO DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA EN SONDAJES CORTOS Y PROFUNDOS EN UN PROYECTO DE EXPLORACIÓN MINERA EN ICA, PERÚ

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

29688402 - BARREDA DE LA CRUZ MIGUEL ALBERTO
DICTAMINADOR



40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK
DICTAMINADOR



29635304 - MORALES VALDIVIA JAVIER ANTONIO
DICTAMINADOR



Análisis técnico-económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en Ica, Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	10%	3%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Deptford Township High School Trabajo del estudiante	<1%
5	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.continentalgold.com Fuente de Internet	<1%
7	www.sausd.us Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1%

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dedicatoria

A mis padres, por su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional, que me motivaron a culminar esta etapa académica. A mis hermanos Wilfredo y Wilnor , que siempre me brindó apoyo moral y a mi novia Allison por su comprensión en los momentos más difíciles. Y a todas aquellas personas que creyeron en mí, dedico este trabajo con gratitud y cariño.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Agradecimientos

Expreso mi sincero agradecimiento a la universidad y a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas por la formación recibida y por las valiosas orientaciones brindadas en el desarrollo de esta investigación. De manera especial, agradezco a mi asesor de tesis por su guía constante y sus aportes técnicos y metodológicos que enriquecieron este estudio. Agradezco también a mis compañeros de investigación y a los profesionales de la empresa minera por la información compartida y la disposición para colaborar en el levantamiento de datos. Finalmente, reconozco el apoyo incondicional de mi familia y amigos, quienes con paciencia y aliento hicieron posible la culminación de este trabajo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El presente estudio, titulado "Análisis técnico–económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en Ica, Perú", tuvo como finalidad evaluar la eficiencia operativa y la rentabilidad económica de ambos tipos de sondajes, a fin de optimizar la planificación de campañas exploratorias. La investigación fue de tipo aplicada, descriptiva y comparativa, y se basó en un muestreo no probabilístico por conveniencia, conformado por 20 sondajes diamantinos con información técnica y económica completa, de los cuales 12 correspondieron a sondajes cortos de menos de 1,200 metros y 8 a sondajes profundos mayores a 1,200 metros. El análisis de los registros operativos y económicos permitió comparar indicadores como velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos, tiempos de ejecución, costos unitarios y costo por metro recuperado, así como calcular un índice de rentabilidad relativa. Los resultados demostraron que los sondajes cortos alcanzaron una mayor eficiencia operativa con una velocidad promedio de 28 metros por día frente a 22 metros en los profundos, además de un menor consumo de agua (661.5 L/m vs. 850.5 L/m) y combustible (3.5 L/m vs. 4.5 L/m), junto con tiempos de ejecución más reducidos (21.0 h/100 m vs. 27.2 h/100 m). En términos de calidad de información, los sondajes profundos obtuvieron una recuperación de testigo superior (96 % frente a 93 %), lo que garantiza una mayor confiabilidad geológica. En el aspecto económico, los sondajes cortos evidenciaron una mayor rentabilidad operativa, alcanzando una utilidad de $67,450 y un margen del 25 %, frente a $47,766 y 13 % en los sondajes profundos. Si bien los cortos presentaron un costo unitario ligeramente superior ($168/m frente a $153/m), generaron un retorno económico más alto por cada dólar invertido, confirmando su eficiencia y competitividad en campañas de cobertura y reconocimiento. En contraste, los sondajes profundos, aunque menos competitivos en términos económicos, resultan estratégicos en fases avanzadas de exploración, donde la continuidad y calidad del testigo son determinantes para la toma de decisiones geológicas y de inversión.

Palabras clave: perforación diamantina, sondajes, análisis técnico–económico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The present study, entitled "Technical–economic comparative analysis of diamond drilling in short and deep boreholes in an exploration project in Ica, Peru", aimed to evaluate the operational efficiency and economic profitability of both types of boreholes in order to optimize the planning of exploration campaigns. The research was applied, descriptive, and comparative, based on a non-probabilistic convenience sampling of 20 diamond drill holes with complete technical and economic information, of which 12 corresponded to short boreholes (<1,200 m) and 8 to deep boreholes (>1,200 m). The analysis of operational and economic records allowed the comparison of indicators such as drilling rate, core recovery, consumables consumption, execution times, unit costs, and cost per recovered meter, as well as the calculation of a relative profitability index. The results showed that short boreholes achieved greater operational efficiency, with an average drilling rate of 28 m/day compared to 22 m/day in deep boreholes, lower consumption of water (85 L/m vs. 110 L/m), additives (2.6 L/m vs. 3.4 L/m), and fuel (9.5 L/m vs. 12.0 L/m), and shorter execution times (21.0 h/100 m vs. 27.2 h/100 m). In terms of information quality, deep boreholes achieved higher core recovery (96% vs. 93%), ensuring greater geological reliability. From an economic perspective, short drilling showed greater operating profitability, achieving a profit of $67,450 and a margin of 25%, compared to $47,766 and a 13% margin for deep drilling. While short drilling had a slightly higher unit cost ($168/m versus $153/m), it generated a higher economic return for each dollar invested, confirming its efficiency and competitiveness in coverage and reconnaissance campaigns. In contrast, deep drilling, although less competitive in economic terms, is strategic in advanced exploration phases, where continuity and quality are key.

Keywords: diamond drilling, boreholes, technical–economic analysis.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimientos

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.1. Planteamiento del Problema 4

1.2. Objetivos 7

1.2.1. General 7

1.2.2. Específicos 7

1.3. Preguntas de Investigación 7

1.3.1. Pregunta Principal: 7

1.3.2. Preguntas secundarias: 8

1.4. Hipotesis 8

1.5. Líneas de Investigación 8

1.6. Tipo de investigación 8

1.7. Alcances y Limitaciones 9

1.7.1. Alcances 9

1.7.2. Limitaciones 9

1.8. Aporte del Desarrollo de la Tesis 9

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS 11

2.1. Antecedentes de Investigación 12

2.2. Marco Legal 17

2.3. Bases Teóricas de la Investigación 19

2.3.1. Minería en el Perú 19

2.3.2. Perforación en minerías 20

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.3. Perforación diamantina 32
2.4. Variables 42
CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO 43
3.1. Tipo y Diseño de la Investigación 44
3.1.1. Tipo de investigación 44
3.1.2. Nivel de la investigación 44
3.2. Población y Muestra 44
3.2.1. Población 44
3.2.2. Muestra 44
3.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 45
3.3.1. Método de Recolección de Datos 45
3.3.2. Instrumentos Utilizados 46
3.4. Metodología 47
3.5. Plan de análisis estadístico de los datos 48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES 50
CONCLUSIONES 69
RECOMENDACIONES 71
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 73
ANEXOS 79
ANEXO 1 CRONOGRAMA DE PERFORACIÓN DE SONDAJE 80
ANEXO 2. REPORTES DIARIO DE PERFORACIÓN – SONDEO 1 81
ANEXO 3. REPORTES DIARIO DE PERFORACIÓN – SONDEO 2 82
ANEXO 4. REPORTES DIARIO DE PERFORACIÓN – SONDEO 3 83
ANEXO 5 PERFORACIÓN EN SONDAJE CORTO 84
ANEXO 6 DIAMANTADO CON FRACTURACIÓN 85
ANEXO 7 PERFORACIÓN EN SONDAJE PROFUNDO 86
ANEXO 8 PERFORACIÓN EN SONDAJE PROFUNDO 87
ANEXO 9 DIAMANTADO EN SONDAJE PROFUNDO 88
ANEXO 10 ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DE DIÁMETROS EN UN SONDAJE LARGO 89

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 11 ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DE DIÁMETROS EN UN SONDAJE CORTO 90

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Comparación eficiencia/aplicaciones.* 41

Tabla 2. *Operacionalización de Variables del estudio* 42

Tabla 3. *Distribución de sondajes por tipo.* 51

Tabla 4. *Desglose de costos directos e indirectos por tipo de sondaje diamantina.* ..53

Tabla 5. *Velocidad de perforación por tipo de sondaje.* 56

Tabla 6. *Recuperación de testigo por tipo de sondaje* 58

Tabla 7. Consumo específico de insumos por metro 59

Tabla 8. *Tiempos de perforación por 100 m* 60

Tabla 9. *Costo unitario por metro de sondaje.* 64

Tabla 10. *Precio por metro recuperado ($·m útil).* 65

Tabla 11. *Índice de Rentabilidad Operativa.* 66

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Perforación rotatoria.* 22
Figura 2. *Acciones básicas en la perforación percutiva.* 23
Figura 3. *Perforación diamantina.* 32
Figura 4. *Testigos y plataforma.* 35
Figura 5. *Distribución de sondajes por tipo.* 51
Figura 6. *Distribución comparativa de costos directos e indirectos* 54
Figura 7. *Velocidad de perforación por tipo de sondaje.* 56
Figura 8. *Recuperación de testigo por tipo de sondaje* 58
Figura 9. *Consumo específico de insumos por metro* 59
Figura 10. *Tiempos de perforación por 100 m* 60
Figura 11. *Valorizado Sondaje 1,200 mts.* 62
Figura 12. *Valorizado Sondaje 2,000 mts.* 63
Figura 13. *Costo unitario por metro de sondaje.* 64
Figura 14. *Costo por metro recuperado ($·m útil).* 65
Figura 15. *Índice de rentabilidad operativa.* 66

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

La exploración minera constituye una de las fases más críticas en la cadena de valor del sector minero, pues de ella depende la identificación, delimitación y evaluación de los recursos minerales. En este contexto, la perforación diamantina se ha consolidado como el método más confiable para la obtención de testigos de roca que permiten caracterizar la geología del subsuelo. Sin embargo, su ejecución involucra elevados costos y tiempos operativos, lo que hace necesario evaluar su eficiencia técnica y económica con el fin de optimizar la toma de decisiones en proyectos exploratorios.

En el caso específico de la región Ica, el proyecto analizado contempló la ejecución de sondajes diamantinos de distinta profundidad, tanto cortos como profundos, lo que motivó la necesidad de comparar ambas alternativas bajo un enfoque técnico–económico. Esta comparación no solo es relevante para la gestión interna de costos y productividad, sino también para la planificación estratégica de campañas futuras, dado que de los resultados dependerá la asignación de recursos, el cronograma de perforación y el grado de certidumbre en la definición del yacimiento.

La presente investigación se justifica porque aporta criterios objetivos y cuantificados que permiten determinar qué tipo de sondaje resulta más eficiente y rentable en un contexto de exploración minera, contribuyendo con evidencia técnica a la optimización de procesos mineros. Asimismo, ofrece un aporte académico al integrar el análisis operativo con indicadores económicos, y un beneficio práctico para la industria minera, al orientar la planificación de campañas en función de la relación costo–beneficio.

El estudio tuvo como objetivo general realizar un análisis técnico–económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en Ica, con el fin de determinar la alternativa más eficiente y rentable. Entre los objetivos específicos se planteó: identificar las características técnicas de la perforación diamantina aplicadas a sondajes cortos y profundos; determinar los costos directos e indirectos de cada tipo de sondaje; comparar su rendimiento operativo en términos de velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos y tiempos de ejecución; y evaluar la rentabilidad relativa de ambas alternativas, considerando su impacto en la planificación y toma de decisiones. La hipótesis que guio el trabajo señaló que los sondajes cortos presentan mayor eficiencia operativa y rentabilidad económica que los profundos, optimizando así las decisiones estratégicas en el proyecto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La metodología empleada fue de tipo aplicada, descriptiva y comparativa, con un diseño no experimental. La muestra estuvo conformada por 20 sondajes diamantinos con información técnica y económica completa, de los cuales 12 correspondieron a sondajes cortos y 8 a sondajes profundos. Se utilizaron técnicas documentales y análisis de reportes técnicos y económicos, mientras que el tratamiento de los datos incluyó estadística descriptiva y análisis comparativo de indicadores técnicos y financieros.

Finalmente, la estructura de la tesis se organiza de la siguiente manera: el Capítulo I: Planteamiento de la investigación presenta el problema, los objetivos, la justificación y la hipótesis. El Capítulo II: Fundamentos teóricos desarrolla el marco conceptual y los antecedentes relacionados con la perforación diamantina. El Capítulo III: Marco metodológico describe el tipo y diseño de investigación, la población y muestra, los métodos e instrumentos de recolección de datos y el plan de análisis estadístico. El Capítulo IV: Resultados y discusiones expone el análisis de la información obtenida en relación con los objetivos planteados. Finalmente, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones, que recogen los hallazgos más relevantes del estudio y proponen lineamientos para futuras investigaciones y aplicaciones en la práctica minera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.1.Planteamiento del Problema

El problema de la comparación técnica y económica entre la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos no es exclusivo de Perú, sino que se presenta **internacionalmente** con industrias mineras desarrolladas. Por ejemplo, en Australia, se ha documentado que la perforación profunda, aunque más costosa (superando los $200 por metro), permite obtener muestras de alta calidad que son cruciales para la modelación precisa de recursos minerales, lo que a largo plazo puede justificar la inversión inicial al reducir la incertidumbre geológica (NOVO, 2024). Además, en Sudáfrica, se ha destacado que la eficiencia en la perforación profunda puede mejorar hasta en un 25% gracias a avances tecnológicos, lo que impacta directamente en la rentabilidad de los proyectos mineros (GeoDrilling Internacional, 2020). Estos ejemplos internacionales subrayan la relevancia y la complejidad del problema de investigación propuesto, evidenciando que las decisiones sobre métodos de perforación tienen implicaciones significativas en la viabilidad económica y técnica de los proyectos mineros a nivel global.

En el contexto **latinoamericano**, el problema de investigación sobre la comparación técnica y económica entre la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos se manifiesta de manera significativa en varios países de la región. Por ejemplo, en Colombia, la empresa Continental Gold ha demostrado que la perforación profunda, aunque costosa y técnicamente desafiante, es esencial para descubrir recursos de alta calidad, como se evidenció en su proyecto Buriticá, donde se realizaron perforaciones de más de 1,200 metros para identificar nuevos vetas de mineralización (ContinentalGold, 2018). Por otro lado, en Perú, la empresa Explomin ha incrementado su número de proyectos en un 37% en 2023, a pesar de una disminución en la longitud total de perforación, lo que sugiere una tendencia hacia la perforación más corta y eficiente en términos de costos y tiempo (Coring, 2024). Estos ejemplos resaltan que, a pesar de las diferencias en profundidad y enfoque, ambos métodos enfrentan desafíos y oportunidades económicas que son relevantes en el contexto minero de América Latina, donde la optimización de recursos es crucial para la sostenibilidad y rentabilidad de los proyectos mineros (Gold, 2018).

La perforación diamantina en **Perú** enfrenta un desafío significativo en la comparación técnica y económica entre sondajes cortos y profundos, lo que repercute en la eficiencia y rentabilidad de los proyectos de exploración minera. A nivel nacional, se ha evidenciado que los sondajes cortos, aunque más económicos y ágiles en su

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

implementación, requieren una mayor cantidad de perforaciones para cubrir áreas extensas, lo que puede incrementar los costos operativos a largo plazo (Méndez, 2024). Por otro lado, los sondajes profundos, que utilizan equipos especializados capaces de alcanzar más de 2000 metros, presentan un costo inicial más elevado, pero son cruciales para la delimitación precisa de cuerpos mineralizados, lo que puede optimizar la rentabilidad del proyecto al evitar perforaciones redundantes (MDH, 2024). Además, investigaciones recientes, como la realizada por la Universidad Nacional Micaela Bastidas, han demostrado que la optimización de parámetros técnicos en sondajes profundos puede reducir significativamente los costos por desviaciones, mejorando así la eficiencia operativa (Quivio, 2022). Este contexto resalta la necesidad de un análisis comparativo que permita a las empresas mineras en Perú tomar decisiones informadas sobre las técnicas de perforación más adecuadas según sus objetivos de exploración y desarrollo.

En el contexto de la exploración minera en **Ica, Perú**, la perforación diamantina se presenta como una herramienta crucial para la obtención de datos del subsuelo. Sin embargo, la elección entre realizar sondajes cortos o profundos plantea un dilema significativo, ya que cada opción conlleva ventajas y desventajas tanto técnicas como económicas. Los sondajes cortos, aunque menos costosos y más rápidos de ejecutar, pueden limitar la cantidad de información geológica obtenida, lo que podría comprometer la evaluación del yacimiento. Por otro lado, los sondajes profundos, a pesar de ofrecer un análisis más exhaustivo del subsuelo, implican un aumento considerable en los costos y en el tiempo de operación, además de mayores riesgos asociados. Esta falta de un análisis comparativo sistemático en muchos proyectos de exploración puede resultar en decisiones subóptimas que impactan negativamente la rentabilidad y la eficiencia del proyecto. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo una evaluación detallada que contemple aspectos como el rendimiento, los costos, la productividad y las condiciones geotécnicas, con el objetivo de optimizar las estrategias de perforación en futuros proyectos en la región.

La investigación sobre las diferencias técnicas y económicas en la perforación diamantina en sondajes cortos frente a sondajes profundos en Ica, Perú, surge de diversas **causas** que afectan la eficiencia y rentabilidad del proyecto de exploración minera. En primer lugar, la variabilidad en la geología del área puede influir en la elección de la técnica de perforación, ya que las características del suelo y las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

formaciones rocosas pueden requerir diferentes enfoques y herramientas. Además, los costos operativos asociados a cada tipo de sondaje, como el consumo de combustible, el desgaste de los equipos y la mano de obra, pueden variar significativamente, lo que impacta directamente en el presupuesto del proyecto. También es importante considerar el tiempo de ejecución, ya que los sondajes profundos suelen requerir más tiempo y recursos, lo que puede retrasar la obtención de resultados y afectar la toma de decisiones. Por último, la experiencia y capacitación del personal encargado de realizar las perforaciones pueden ser un factor determinante en la calidad de los resultados obtenidos, lo que a su vez influye en la evaluación económica del proyecto. Estas causas, entre otras, hacen que sea fundamental realizar un análisis comparativo para entender mejor las implicaciones de cada técnica de perforación en el contexto específico de Ica.

La investigación sobre las diferencias técnicas y económicas entre la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en Ica, Perú, podría tener **consecuencias** significativas que van más allá de la mera comparación de métodos. En primer lugar, si se determina que los sondajes profundos son significativamente más costosos y menos eficientes, esto podría llevar a una reducción drástica en la inversión en proyectos de exploración en la región, lo que a su vez podría resultar en el cierre de empresas mineras y la pérdida de miles de empleos. Además, la falta de exploración adecuada podría dejar recursos minerales valiosos sin explotar, afectando negativamente la economía local y nacional. Por otro lado, si se concluye que los sondajes cortos son la opción más viable, esto podría provocar una sobreexplotación de los recursos superficiales, generando un impacto ambiental devastador y un agotamiento acelerado de los recursos naturales. En última instancia, la decisión basada en esta investigación podría desencadenar un efecto dominó que afecte no solo a la industria minera, sino también a las comunidades locales, el medio ambiente y la economía del país en su conjunto, creando un escenario de crisis que podría perdurar por generaciones.

La investigación sobre la comparación técnica y económica del rendimiento de la perforación diamantina en sondajes cortos frente a sondajes profundos en un proyecto de exploración minera en Ica, Perú, ofrece varias **contribuciones** significativas. En primer lugar, proporciona un análisis detallado de los costos asociados a cada tipo de sondaje, lo que permite a las empresas mineras tomar decisiones más informadas sobre la asignación de recursos y la planificación de proyectos. Además, al identificar las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

diferencias en la eficiencia de perforación y la calidad de los datos obtenidos, la investigación puede ayudar a optimizar los métodos de exploración, mejorando así la precisión en la identificación de yacimientos minerales. Asimismo, los hallazgos pueden contribuir a la sostenibilidad del sector, al permitir una mejor gestión de los recursos y reducir el impacto ambiental de las actividades mineras. Finalmente, esta comparación puede servir como base para futuras investigaciones en otras regiones o contextos, ampliando el conocimiento sobre las mejores prácticas en la perforación diamantina.

1.2.Objetivos

1.2.1. General

Realizar un análisis técnico-económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en la región Ica, Perú, con el fin de determinar la alternativa más eficiente y rentable para optimizar las decisiones operativas y estratégicas del proyecto

1.2.2. Específicos

a) Identificar las características técnicas de la perforación diamantina aplicadas a sondajes cortos y profundos en el proyecto de exploración minera en la región Ica.
b) Determinar los costos directos e indirectos asociados a la ejecución de sondajes cortos y profundos mediante perforación diamantina.
c) Comparar el rendimiento operativo de los sondajes cortos y profundos en términos de velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos y tiempos de ejecución.
d) Evaluar la rentabilidad relativa entre ambos tipos de sondaje, considerando sus implicancias en la planificación y toma de decisiones del proyecto de exploración.

1.3.Preguntas de Investigación

1.3.1. Pregunta Principal:

¿Cuál es la alternativa más eficiente y rentable entre la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en la región Ica, Perú, desde un enfoque técnico-económico comparativo?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.3.2. Preguntas secundarias:

a) ¿Cuáles son las características técnicas de la perforación diamantina aplicadas a sondajes cortos y profundos en el proyecto de exploración minera en la región Ica?

b) ¿Cuáles son los costos directos e indirectos asociados a la ejecución de sondajes cortos y profundos mediante perforación diamantina?

c) ¿Cómo se compara el rendimiento operativo entre los sondajes cortos y profundos en términos de velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos y tiempos de ejecución?

d) ¿Cuál es la rentabilidad relativa entre ambos tipos de sondaje y cómo influye en la planificación y toma de decisiones del proyecto de exploración?

1.4.Hipotesis

La perforación diamantina en sondajes cortos presenta una mayor eficiencia operativa y rentabilidad económica que la perforación en sondajes profundos en un proyecto de exploración minera en la región Ica, optimizando así la toma de decisiones operativas y estratégicas del proyecto.

1.5.Líneas de Investigación

Esta investigación corresponde a la optimización de procesos mineros.

1.6.Tipo de investigación

El presente trabajo es de tipo aplicativo, ya que busca generar conocimiento útil para la toma de decisiones operativas y estratégicas en un proyecto de exploración minera, aplicando un análisis comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos. Asimismo, es de tipo descriptivo, porque describe, sistematiza y analiza la información técnica y económica recopilada a través de la documentación y de los registros operativos del proyecto.

Palabras Clave:

Perforación diamantina, sondajes cortos, sondajes profundos, análisis técnico-económico, exploración minera, eficiencia operativa, rentabilidad, proyecto minero.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.7.Alcances y Limitaciones

1.7.1. Alcances

Los alcances de la presente investigación comprenden el análisis técnico y económico de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos, aplicados en un proyecto de exploración minera en la región Ica. Se evaluarán indicadores como velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos, tiempos de ejecución, costos directos e indirectos, y rentabilidad relativa, con el fin de determinar la alternativa más eficiente y rentable. Los resultados estarán orientados a optimizar la toma de decisiones operativas y estratégicas en la fase de exploración minera.

1.7.2. Limitaciones

Las limitaciones del estudio se relacionan principalmente con la disponibilidad y acceso a la información técnica y económica proporcionada por la empresa minera, debido a la confidencialidad de ciertos datos operativos. Asimismo, los resultados se centran en un proyecto específico de exploración en la región Ica, por lo que sus conclusiones pueden no ser plenamente generalizables a otros yacimientos o contextos mineros con diferentes condiciones geológicas, técnicas y económicas. Otra limitación corresponde al tiempo asignado para la investigación, que restringe la posibilidad de ampliar el análisis a un número mayor de sondajes o proyectos comparativos.

1.8.Aporte del Desarrollo de la Tesis

El desarrollo de esta tesis representa un aporte significativo tanto a nivel técnico como económico en el ámbito de la exploración minera, al proporcionar un análisis comparativo riguroso entre sondajes cortos y profundos mediante perforación diamantina. Esta evaluación permite establecer criterios objetivos para seleccionar la alternativa más eficiente y rentable, considerando variables operativas como velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos, costos directos e indirectos, y tiempos de ejecución.

Desde una perspectiva operativa, los resultados obtenidos contribuirán a optimizar la planificación y ejecución de campañas de perforación, facilitando la toma de decisiones estratégicas que permitan reducir costos, mejorar la productividad y minimizar riesgos técnicos en proyectos similares. Además, al centrarse en un caso específico en la región Ica, esta investigación ofrece un modelo replicable para otras zonas con condiciones geológicas comparables.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En el ámbito académico, el estudio fortalece el cuerpo de conocimientos sobre la eficiencia y rentabilidad de los métodos de perforación en exploración minera, aportando datos y metodologías que podrán ser utilizados como referencia por investigadores, ingenieros y estudiantes del sector. Finalmente, la tesis fomenta una visión más integral en la evaluación de tecnologías aplicadas a la minería, al articular criterios técnicos y económicos para la toma de decisiones más informadas y sostenibles.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1. Antecedentes de Investigación

El artículo "**Deep learning for prediction of complex geology ahead of drilling" presenta un estudio cuantitativo no experimental orientado al desarrollo de un sistema de soporte para geosteering**. El objetivo fue predecir la geología compleja ante el avance del taladro mediante inteligencia artificial. La metodología combina dos técnicas de aprendizaje automático: un Generative Adversarial Network (GAN) para simular modelos geológicos complejos y una red neuronal profunda (FDNN) que sustituye un simulador electromagnético comercial. Entrenadas con datos sintéticos de modelos fluviales (realizaciones parametrizadas de 60 dimensiones), estas redes se integran en un esquema de asimilación de datos con máxima verosimilitud en conjunto, permitiendo estimaciones en tiempo real. Los resultados demostraron una notable reducción de la incertidumbre geológica antes del avance del taladro, mejorando la precisión predictiva del entorno inmediato. Como conclusión, los autores sostienen que esta combinación de GAN y FDNN en un marco de asimilación ensemblista es efectiva para anticipar condiciones geológicas complejas y soportar decisiones de perforación en tiempo real (Fossum et al., 2021).

El estudio "**Diamond core drilling process using intermittent flushing mode**" tiene como objetivo mejorar la eficiencia del proceso de perforación con corona de diamante bajo condiciones desafiantes. Se trata de una investigación experimental de tipo cuantitativo, realizada en un entorno de banco de pruebas con metodología de laboratorio; emplearon perforación en bloque de granito (categoria IX) usando una broca estándar 01A3 de 59 mm, variando el caudal de fluido de perforación en modo intermitente (factores de intermitencia k_int = 0, 0,2 y 1), midiendo velocidad de penetración, potencia en fondo de pozo y consumo energético. Los resultados muestran que el modo de flushing intermitente aumenta la velocidad de penetración entre 1,18 y 2,2 veces respecto al flushing continuo, dependiendo de la potencia aplicada y el grado de intermitencia, sin desgaste significativo de la broca . Como conclusión, los autores destacan que el flushing intermitente permite aprovechar mejor la energía térmica de fricción en el fondo, mejorar la eficiencia de perforación sin requerir cambios en el equipo ni brocas, y reducir consumo de fluido y potencia bombeada, representando una solución eficiente y de bajo costo para optimizar operaciones de perforación con diamante (Cao et al., 2020).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El artículo "**Optimización de parámetros de perforación controlables para barrenas de cono de rodillos y bits de diamante policristalino**" (Zhang et al., 2019) tiene como objetivo identificar los ajustes óptimos —como RPM, peso sobre broca (WOB) y flujo hidráulico— que maximicen la tasa de penetración (ROP) y la vida útil de barrenas de cono y brocas PDC. Se trata de un estudio mixto, experimental y analítico, con enfoque cuantitativo, empleando modelado de laboratorio y análisis de datos de campo utilizando sensores de torque, presión y desgastes, aplicados en pozos de petróleo y gas. La población incluye registros de múltiples corridas de perforación con diferentes configuraciones de barrenas. Los resultados muestran que los parámetros óptimos varían según la formación, siendo las brocas PDC más eficientes en condiciones de RPM elevadas y formaciones homogéneas, mientras que las barrenas de cono convencionales ofrecen mejor rendimiento en formaciones altamente fracturadas o con contenido nodular. Como conclusión, los autores recomiendan implementar ajustes específicos según las características geológicas del pozo, ajustar parámetros en tiempo real mediante monitoreo y priorizar el uso estratégico de PDC o barrenas de cono según el perfil de formación para mejorar eficiencia, costo y durabilidad en las operaciones (Darwesh et al., 2020)

El trabajo titulado "**Análisis y propuesta para la reducción de la desviación de los taladros de sondaje en el proceso de perforación diamantina en un yacimiento cuprífero al sur del Perú**", con el objetivo de analizar las desviaciones en perforaciones diamantinas y proponer una alternativa para reducirlas. Se trata de una investigación aplicada, de nivel experimental y enfoque cuantitativo, empleando técnicas de observación y análisis documental, y como instrumento una base de datos de 12 taladros de sondaje (7035,6 m) ejecutados en dos meses en un yacimiento cuprífero del sur peruano. Los resultados revelaron 12 causas de desviación (3 geológicas y 9 operacionales), y una eficiencia inicial de apenas 48,61 % (5147,3 m aceptados) que se incrementó a un 96,92 % tras aplicar la propuesta del sistema de control DeviGyro RG40. Se concluye que dicho sistema permite monitorear y corregir en tiempo real las trayectorias, reduciendo significativamente las desviaciones y mejorando la eficiencia del proceso (Diaz, 2023).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El estudio titulado "**Directional Core Drilling as an Approach to Reduce Uncertainty in Tunneling Construction"** tuvo como objetivo evaluar si el uso de la técnica de perforación direccional con recuperación de testigo (Directional Core Drilling, DCD) reduce la incertidumbre económica derivada del desconocimiento de las condiciones del macizo rocoso en proyectos de túneles, en comparación con sondajes convencionales. Se trata de un estudio cuantitativo descriptivo-analítico, basado en un análisis retrospectivo de tres túneles reales en España (Burata, Pajares Lot 3 y Bolaños), utilizando como método la comparación de costos e incertidumbres asociadas a ambas técnicas. Los investigadores aplicaron análisis económico de incertidumbre midiendo variables como avances, consumo de herramientas, necesidades de soporte, retrasos, emisiones y gestión de material excavado. Los resultados mostraron que la técnica DCD redujo la incertidumbre en un ratio entre 6,7 y 12,7 € por cada euro invertido, disminuyendo la incertidumbre en aproximadamente 6 000 € por metro de túnel, mientras el sobrecosto de perforación solo representó un ~2 % del presupuesto de excavación. Como conclusión, se afirma que la técnica DCD, aunque más cara en ejecución, ofrece un significativo retorno de inversión al acotar la incertidumbre económica y técnica y está justificada dentro de proyectos complejos de túneles (Rodríguez et al., 2023).

El estudio titulado **"Exploración geológica mediante perforaciones diamantina para la ampliación de reservas en la concesión minera Santa Filomena Sancos – Ayacucho, 2021**" tuvo como objetivo identificar nuevas estructuras mineralizadas y estimar reservas rentables mediante sondajes diamantinos en la unidad minera Santa Filomena. Fue un trabajo cuantitativo, descriptivo, correlacional y explicativo de diseño transversal. La metodología incluyó la revisión de antecedentes y la caracterización geomorfológica de la zona, seguida de nueve perforaciones diamantinas distribuidas en seis plataformas, con logueo e interpretación geológica de núcleos, y análisis de muestras en laboratorio. El estudio detectó múltiples estructuras mineralizadas, confirmando la presencia de vetas con minerales preciosos, aunque no se detallan las leyes específicas en el resumen. Como conclusión, los autores destacan que esta exploración amplía significativamente las reservas mineras, prolonga la vida útil del yacimiento y genera oportunidades económicas para la región (Arapa & Quispe, 2023)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El trabajo titulado **"Medición de sondajes diamantinos para la evaluación de trayectoria de pozos de exploración geológica – Unidad Minera El Porvenir – NEXA**" tuvo como objetivo evaluar la trayectoria de los pozos diamantinos perforados en la unidad minera El Porvenir. Se trató de una tesis de tipo cuantitativo y descriptivo, que aplicó mediciones de desviación utilizando el equipo Gyroflex para recopilar datos de orientación (inclinación y azimut), procesados con su software asociado y ajustados con datos topográficos del collar. La población de estudio consistió en los sondajes más profundos realizados durante nueve meses en 2019. Los resultados, presentados en forma numérica y gráfica, evidenciaron desviaciones respecto a la trayectoria planificada. Como conclusión, se confirma que medir y analizar estas desviaciones es fundamental para mejorar la precisión en la ubicación de los pozos y optimizar los procesos de perforación, garantizando una mejor calidad en la exploración geológica (Soto, 2022)

El estudio titulado **"Propuesta de optimizar la exploración utilizando perforación diamantina en la contrata minera MDH PD SAC – Unidad minera Cerro de Pasco**" tuvo como objetivo desarrollar una propuesta cuantitativa y descriptiva para mejorar la eficiencia de la perforación diamantina en la Unidad Minera Cerro de Pasco. Se empleó una metodología no experimental, analizando la situación actual de la operación y gestionando prácticas subóptimas, midiendo los avances de perforación en diciembre y enero. La técnica consistió en implementar brocas de diamante junto con herramientas y accesorios adecuados, y se utilizó como instrumento el registro sistemático de la tasa de perforación (m/h) y el cumplimiento de metas mensuales. La muestra se centró en los datos de operación de la contrata MDH PD SAC; los resultados evidenciaron un rendimiento del 59,94 % respecto a los objetivos establecidos, con una tasa de perforación promedio de 2,43 m/h. Como conclusión, se propone que la adopción de brocas de diamante y ajustes operativos puede optimizar significativamente la exploración mineral, aunque en el periodo evaluado aún no se alcanzaron las metas previstas, lo que sugiere la conveniencia de ajustes adicionales en la planificación y gestión de recursos (Condori & Satalaya, 2022).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El estudio titulado **"Optimización de costos de perforación diamantina mediante las brocas Hayden en la Contrata Minera Explomin del Perú S.A. – Unidad Minera San Rafael – Puno"** tuvo como objetivo optimizar los costos de perforación diamantina mediante la incorporación de brocas Hayden en la zona San Germán. Se trató de una investigación de tipo desarrollo aplicado, cuantitativa y no experimental, con una metodología comparativa basada en registros diarios (20 turnos durante 10 días) que evaluaron variables como diámetro, vida útil, costo de broca y máquina, rendimiento, tipo de roca y aditivos, tanto para brocas JC Portal como para las Hayden. Los resultados mostraron que las brocas Hayden alcanzaban una vida útil de 110 m y redujeron el costo por metro de perforación de US$11,44 a US$10,50, logrando un ahorro de US$0,94/m. Como conclusión, se determinó que el uso de brocas Hayden en la perforación diamantina representa una estrategia eficaz para disminuir los costos operativos en la Contrata Minera Explomin en Puno (Alvarez, 2020).

El estudio titulado **"Evaluación y optimización de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la ejecución de la Galería 819E – Mina Yanaquihua – Arequipa**" tuvo como objetivo determinar un nuevo diseño de malla de perforación y la carga explosiva adecuada para reducir los costos unitarios en la construcción de la galería. Fue una investigación aplicada, cuantitativa, descriptiva, correlacional y explicativa, basada en observación directa "in situ" de las operaciones de perforación y voladura, análisis comparativo entre la malla original y la optimizada, con recolección de datos de avance lineal, número de taladros, consumo de explosivo y costos. Participaron los frentes de ejecución de la galería 819E en la Mina Yanaquihua. Los resultados mostraron que el nuevo diseño redujo los taladros de 30 a 25, aumentó el avance por disparo de 1,08 m a 1,36 m (20,6 %), y disminuyó el costo de perforación de USD 51,73 a 35,42/m, de voladura de 69,36 a 41,72 USD/m, logrando una reducción total de 46,26 USD/m (del total de USD 212,93 a 166,67/m). Como conclusión, la optimización del diseño de malla y distribución de explosivos resulta efectiva y rentable, con mejoras operativas significativas que permiten utilidad por metro lineal y recomiendan su adopción y supervisión constante en la mina (Anchapuri, 2021).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2. Marco Legal

La perforación diamantina como actividad de exploración minera en el Perú se encuentra enmarcada dentro de una serie de disposiciones legales que regulan tanto la explotación racional de los recursos minerales como la seguridad de los trabajadores y la protección del medio ambiente. Estas normas establecen el marco jurídico que garantiza que los sondajes, ya sean cortos o profundos, se realicen bajo parámetros de eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

A. Constitución Política del Perú

En su artículo 66, establece que los recursos naturales son patrimonio de la Nación, correspondiendo al Estado promover su aprovechamiento sostenible. En el contexto de la exploración minera, esta disposición justifica la necesidad de un marco regulatorio específico que asegure que la perforación diamantina no solo busque viabilidad económica, sino que también respete los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

B. Ley General de Minería – Decreto Supremo N.° 014-92-EM

Esta norma es la columna vertebral del régimen minero peruano. Regula las fases de exploración, explotación y beneficio. En lo referido a la perforación diamantina, obliga a los titulares mineros a cumplir con requisitos técnicos y económicos para iniciar campañas de sondajes, garantizando que las inversiones se desarrollen bajo un marco legal que proporcione seguridad jurídica y operativa.

C. Reglamento de Exploración Minera – Decreto Supremo N.° 042-2003-EM

Específicamente orientado a la etapa exploratoria, establece los requisitos para la ejecución de sondajes diamantinos, tanto superficiales como subterráneos. Regula aspectos como la presentación de Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), permisos de uso de agua y planes de cierre. Su aplicación asegura que el análisis técnico-económico se enmarque dentro de los límites ambientales y administrativos aprobados por el Estado.

D. Ley N.° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (2011) y su Reglamento – D.S. N.° 005-2012-TR

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Esta norma transversal aplica a todas las actividades económicas. En minería, garantiza que los procesos de perforación diamantina se ejecuten bajo condiciones que minimicen riesgos laborales, obligando a implementar sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional. Esto impacta en los costos indirectos, ya que la prevención de accidentes reduce paradas de operación y pérdidas económicas.

E. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería – D.S. N.° 024-2016-EM

Norma específica del sector minero que regula operaciones de perforación, manipulación de equipos diamantinos, transporte de testigos y uso de insumos como brocas y lodos de perforación. Incide directamente en la eficiencia operativa al estandarizar protocolos de seguridad, lo que se traduce en reducción de tiempos improductivos por incidentes y en un incremento de la rentabilidad operativa.

F. Ley General del Ambiente – Ley N.° 28611

Introduce los principios de gestión ambiental en todas las actividades extractivas. En perforación diamantina, implica el manejo de lodos de perforación, residuos sólidos, hidrocarburos y aguas de circulación, cuya adecuada gestión reduce contingencias legales y ambientales, y evita sobrecostos asociados a sanciones.

G. Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Exploración Minera – D.S. N.° 042-2017-EM

Establece obligaciones específicas para la exploración, como la implementación de medidas de mitigación, monitoreo ambiental y planes de cierre progresivo. Para un análisis técnico-económico, esta norma es crítica, ya que los costos de cumplimiento ambiental forman parte de los costos indirectos del proyecto, influyendo en la comparación entre sondajes cortos y profundos.

H. Normas técnicas internacionales (ISO)

- ISO 14001:2015 (Gestión ambiental): Promueve la reducción de impactos ambientales derivados de la perforación (ej. disposición de lodos, uso de agua). Su adopción mejora la imagen corporativa y asegura competitividad en mercados internacionales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ISO 45001:2018 (Gestión de seguridad y salud en el trabajo): Su aplicación en perforación diamantina contribuye a estandarizar procesos seguros, disminuyendo incidentes, optimizando la productividad y reduciendo costos ocultos asociados a interrupciones operativas.

2.3. Bases Teóricas de la Investigación

2.3.1. Minería en el Perú

La minería ha sido un eje fundamental en el desarrollo histórico y económico del Perú, posicionándose como uno de los principales productores minerales a nivel mundial. Su evolución desde épocas prehispánicas hasta la actualidad ha configurado un sector complejo, marcado por contribuciones económicas significativas y desafíos socioambientales críticos. A lo largo de su historia, la minería ha generado una infraestructura extractiva consolidada, aunque también ha acumulado pasivos ambientales que requieren atención urgente para mitigar su impacto negativo en el entorno y las comunidades locales (Suárez, 2024).

Desde las civilizaciones antiguas, la actividad minera ha moldeado el territorio peruano, con una explotación intensiva que se expandió durante la época colonial y se industrializó en los siglos XIX y XX. Este legado histórico ha dejado no solo una huella económica, sino también una serie de desafíos ambientales, como la contaminación de suelos y fuentes de agua, que han sido objeto de críticas por parte de diversos sectores de la sociedad. La necesidad de abordar estos problemas ha llevado a la implementación de políticas que buscan equilibrar el desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental (Suárez, 2024).

La minería representa aproximadamente el 10% del Producto Bruto Interno (PBI) nacional y contribuye con el 60% de las exportaciones del país, destacándose como un motor macroeconómico clave (Serrano & Quispe, 2023). Los principales minerales explotados incluyen cobre, oro, plata, zinc y plomo. Sin embargo, el sector enfrenta desafíos significativos, como la informalidad laboral, que afecta a cerca del 30% de los trabajadores, quienes operan en condiciones precarias y sin las debidas garantías de seguridad y salud (Serrano & Quispe, 2023). Esto resalta la necesidad de fortalecer la regulación y la formalización del trabajo en la minería para mejorar las condiciones laborales y reducir los riesgos asociados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En cuanto a la regulación, la legislación actual establece lineamientos para la minería hacia el año 2030, buscando una visión que priorice la sostenibilidad ambiental y social. Entre las medidas clave se incluyen la reducción de pasivos mineros y la valoración del agua en las cadenas productivas, así como la mejora de las relaciones comunitarias y la erradicación de la minería ilegal (Suárez, 2024). Sin embargo, los conflictos derivados de la minería, especialmente en comunidades indígenas, evidencian la necesidad de un enfoque más inclusivo y participativo en la toma de decisiones, que considere las voces y derechos de las comunidades afectadas.

2.3.2. Perforación en minerías

2.3.2.1. Importancia de la perforación en la exploración minera

La perforación constituye la fase operativa decisiva en la exploración minera, transformando modelos geológicos en datos cuantificables de recursos. Su ejecución permite la identificación y evaluación de recursos, lo que es crucial para determinar la viabilidad económica de los proyectos mediante la validación de recursos, la reducción de incertidumbre geológica y la optimización de decisiones de inversión. En este contexto, la perforación no solo proporciona información crítica sobre la composición y distribución de los minerales, sino que también establece las bases para la planificación y desarrollo de proyectos mineros sostenibles.

Uno de los aspectos más relevantes de la perforación es su capacidad para identificar y evaluar recursos. Esto se logra a través de la proporción de muestras físicas para análisis de leyes minerales, geometría del depósito y características geotécnicas, fundamentales para estimar reservas (Kidder et al., 2025). Además, las técnicas avanzadas, como la perforación direccional, permiten explorar zonas profundas (≥1 km) y bajo cobertura, ampliando el alcance de la exploración y mejorando la precisión en la identificación de depósitos minerales (Kidder et al., 2025). En ambientes complejos, como cañones submarinos, la integración de inteligencia artificial y algoritmos de mapeo heterogéneo ha demostrado reducir el tiempo de exploración en un 40% (You et al., 2013).

La relación entre la perforación y el éxito en la exploración es evidente en estudios empíricos realizados en Indonesia (2004-2015), que muestran una correlación directa entre tasas de éxito de exploración y densidad de perforación. En casos donde se perforaron más de 15 pozos por año, se observó una probabilidad 3.2 veces mayor de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

descubrir depósitos económicos. Asimismo, la precisión en el diseño de pozos, basada en datos sísmicos y geoquímicos, ha elevado la tasa de recuperación de núcleos hasta un 35%, impactando positivamente en la evaluación de reservas (Kidder et al., 2025).

Las implicaciones económicas de la perforación son significativas. Estrategias óptimas de perforación pueden reducir costos a través de la disminución del tiempo de construcción (hasta un 50% en pozos con fluidos de perforación modificados) (You et al., 2013). Además, la prevención de daños de formación que comprometen la producción futura puede evitar pérdidas de hasta $2.5 millones por pozo en ambientes de baja permeabilidad (You et al., 2013). Proyectos que logran un retorno de inversión superior al 20% en perforación de evaluación tienden a maximizar la rentabilidad de los recursos, lo que subraya la importancia de una planificación meticulosa en la exploración minera.

En conclusión, la perforación es un componente esencial en la exploración minera que no solo facilita la identificación y evaluación de recursos, sino que también optimiza decisiones económicas y reduce riesgos. La implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de perforación adecuadas puede transformar la viabilidad de los proyectos mineros, asegurando un desarrollo sostenible y rentable en el sector.

2.3.2.2. Clasificación de métodos de perforación

a) Perforación rotatoria

La perforación rotatoria es un método ampliamente utilizado en la exploración mineral que emplea un bit de perforación rotatorio para abrirse paso a través de formaciones subterráneas. Esta técnica se caracteriza por su eficiencia en diversas condiciones geológicas y desempeña un papel crítico en la identificación y evaluación de recursos. La perforación rotatoria opera aplicando una fuerza descendente (peso sobre el bit) mientras gira un bit de perforación que está acoplado a una sarta de perforación. La rotación tritura las formaciones rocosas, mientras que la circulación de fluidos de perforación elimina los recortes y enfría el bit (Wang et al., 2024).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 1.
Perforación rotatoria.



Nota: Tomado de Jimeno, C. L., Jimeno, E., & Carcedo, F. J. (2010)

Existen dos variaciones primarias en la perforación rotatoria: la perforación rotatoria directa y la circulación inversa. La perforación rotatoria directa utiliza un sistema de equipos de superficie que alimenta el poder de rotación a través de la sarta de perforación, mientras que la circulación inversa emplea un sistema de tuberías de doble pared que permite un retorno más eficiente de los recortes, lo que resulta en una mejor calidad de muestreo (Han et al., 2022).

En cuanto a los tipos de equipos utilizados, se pueden clasificar en varias categorías. Los equipos convencionales incluyen mesas rotativas estándar o sistemas de transmisión de torque para perforación vertical. Por otro lado, los equipos de alta potencia están diseñados para mejorar la capacidad de torsión y empuje en formaciones desafiantes, como los rigs compatibles con minería de carbón (Han et al., 2022). También existen sistemas de perforación rotatoria dirigible (RSS) que permiten un control preciso de la trayectoria de perforación, lo que es esencial para la exploración en formaciones complejas (Wang et al., 2024).

La perforación rotatoria presenta varias ventajas y limitaciones. Entre las ventajas se encuentran tasas de penetración más altas en formaciones blandas a medianas y una capacidad superior para alcanzar profundidades significativas (más de 3000 m). Sin embargo, también presenta desventajas, como la reducción de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

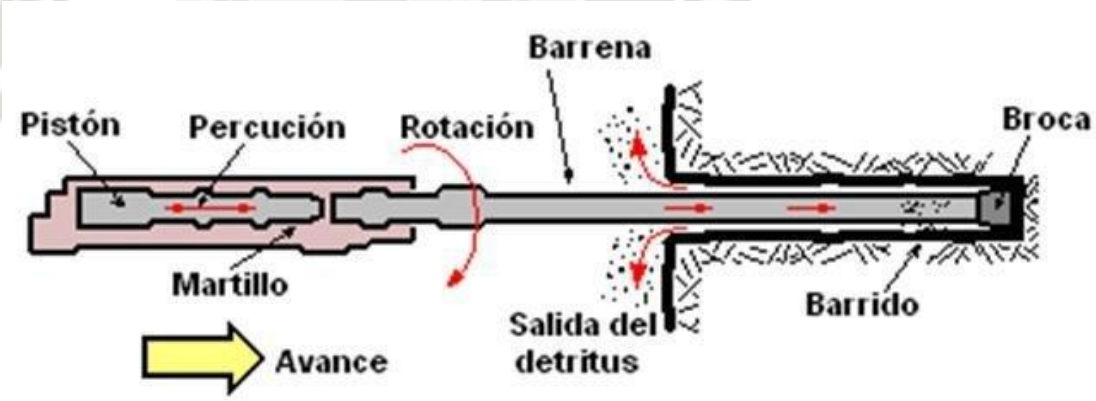
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

efectividad en rocas extremadamente duras y costos de equipo más altos en comparación con métodos de perforación más simples. A pesar de estas limitaciones, la perforación rotatoria sigue siendo indispensable para la exploración mineral moderna debido a su capacidad de adaptarse a mejoras tecnológicas y su equilibrio entre eficiencia operativa y calidad de datos (Han et al., 2022).

b) Perforación percutiva

La perforación percutiva es un método de excavación que utiliza impactos repetitivos para fracturar formaciones rocosas, combinados con rotación para eliminar el material desintegrado. Este enfoque es particularmente eficaz en rocas duras y abrasivas, donde supera a los métodos convencionales como la perforación rotativa o por chorro de alta presión (Tian et al., 2022). La técnica se basa en la transmisión de energía de impacto desde un martillo a un barreno, generando ondas de tensión que inician y propagan fracturas en la roca (Ihnatov et al., 2021).

Figura 2.
Acciones básicas en la perforación percutiva.



Nota: Tomado de Jimeno, C. L., Jimeno, E., & Carcedo, F. J. (2010)

El principio fundamental de la perforación percutiva radica en la transmisión de energía cinética del martillo al material rocoso. Esta energía se transforma en tensiones que provocan la fractura de la roca, lo que permite la extracción de fragmentos. Estudios han demostrado que cuando la frecuencia de impacto coincide con la frecuencia natural de la roca, se producen resonancias que maximizan la fractura y optimizan la penetración (Tian et al., 2022). Además, la utilización de martillos hidráulicos o neumáticos permite un control más preciso sobre la energía de impacto, lo que resulta en una mayor eficiencia en la perforación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Entre las ventajas de la perforación percutiva se encuentran la reducción de costos operativos, que puede llegar a ser del 20-30% en comparación con métodos tradicionales, y la disminución del tiempo de perforación (Tian et al., 2022). También se ha observado que este método genera menos contaminación acústica y ambiental, lo que lo hace más adecuado para áreas sensibles (Ihnatov et al., 2021). Sin embargo, es importante considerar que la efectividad de la perforación percutiva puede verse afectada por las condiciones geológicas, como la resistencia de la roca y la presencia de fracturas naturales.

Finalmente, la evolución de la tecnología en perforación percutiva ha llevado al desarrollo de sistemas más eficientes que combinan la perforación con técnicas de control de vibraciones y resonancias. Esto no solo mejora la eficiencia en la perforación, sino que también permite una mejor gestión de los costos y una menor huella ambiental (Tian et al., 2022). En proyectos de exploración minera, la perforación percutiva se ha convertido en una herramienta esencial para maximizar la recuperación de recursos y minimizar el impacto ambiental.

c) Perforación diamantina (breve introducción técnica)

La perforación diamantina es un método rotatorio que emplea brocas con diamantes industriales para atravesar rocas duras y abrasivas, siendo esencial en la exploración minera y geológica. A diferencia de las técnicas que fracturan la roca por impacto, esta técnica realiza cortes continuos y precisos, lo que permite obtener muestras cilíndricas intactas y reduce la generación de residuos. Las brocas utilizadas pueden ser de diamante policristalino (PDC) o de diamantes naturales incrustados en una matriz metálica, y la efectividad del proceso depende del peso aplicado sobre la broca y la velocidad de rotación. Entre sus beneficios destacan la alta precisión, la eficiencia energética y una elevada tasa de recuperación de muestras. No obstante, presenta algunos retos, como la fragilidad de las brocas PDC y la necesidad de controlar las vibraciones para proteger la maquinaria y el entorno. A pesar de estas dificultades, sigue siendo una técnica preferida en la minería y la industria petrolera debido a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones geológicas y proporcionar información precisa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.2.3.Factores que influyen en la elección del método de perforación

a) Tipo de terreno

El tipo de terreno es un factor fundamental que influye en las operaciones de perforación minera. Las características del terreno determinan no solo la selección de los métodos de perforación, sino también la eficiencia y la seguridad en la exploración mineral. Entre los atributos geológicos y físicos que afectan estas decisiones se encuentran la composición del suelo, la dureza de las rocas y las características estructurales del terreno. Estos factores influyen directamente en la elección del equipo, los costos operativos y las tasas de éxito en las operaciones de perforación (Wu et al., 2018).

La composición del suelo y la estratigrafía son aspectos críticos para considerar. Los sedimentos consolidados, como la arena y la arcilla, requieren sistemas de revestimiento especializados para prevenir el colapso de los agujeros de perforación, lo que aumenta la complejidad del proyecto (Korotaev & Ivanova., 2022). Por otro lado, las formaciones consolidadas, como las lutitas y las areniscas, permiten una perforación más rápida, aunque pueden requerir brocas de diamante para una penetración efectiva (Korotaev & Ivanova, 2022). Además, las secuencias heterogéneas requieren una adaptación en tiempo real de los parámetros de perforación para evitar la desviación o el daño a las herramientas.

La dureza de las rocas también juega un papel crucial en la selección de métodos de perforación. La dureza se mide mediante escalas como la de Mohs, que determina la selección de las brocas y los requerimientos energéticos. Por ejemplo, las rocas blandas, como el yeso, tienen una dureza de 1.5 a 2.5, lo que permite el uso de perforación rotativa con circulación de fluidos. En contraste, las rocas duras, como el granito, presentan desafíos significativos debido a su dureza de 6 a 8, lo que puede resultar en una penetración lenta y un desgaste acelerado de las brocas (Korotaev & Ivanova., 2022).

Finalmente, la evaluación del terreno a través de muestreo de núcleos, registros geotécnicos y pruebas físicas es esencial para optimizar la estrategia de perforación y la asignación de recursos (Wu et al., 2018). La identificación de fallas y fracturas en el terreno puede aumentar los riesgos de desviación y requerir sistemas de soporte para mantener la trayectoria, aunque la eficiencia puede disminuir entre un 30% y un 40%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

en estructuras complejas. Por lo tanto, la comprensión de las características del terreno es vital para el éxito de las operaciones mineras.

b) Profundidad del sondaje

La profundidad del sondaje es un factor crítico en la exploración minera, directamente vinculado a la viabilidad técnica, los costos operativos y la precisión en la evaluación de recursos minerales. A medida que aumenta la profundidad del sondaje, se enfrentan complejidades geológicas crecientes que demandan tecnologías especializadas y estrategias adaptativas, especialmente en sondajes diamantinos para muestreo de núcleos. Estas complejidades pueden incluir la presencia de formaciones geológicas intrincadas, que pueden dificultar la obtención de datos precisos y confiables sobre los recursos minerales disponibles.

Las formaciones profundas suelen presentar estructuras geológicas intrincadas, como capas de desalmúltiples que generan incertidumbre en la presión de formación y riesgos de colapso de pozos. Por ejemplo, los cinturones de cabalgamiento con fallas inversas aumentan la inestabilidad de las paredes del sondeo, lo que puede comprometer la integridad del proceso de perforación y la calidad de los datos obtenidos (Hugenschmidt, 2011). Además, las permutaciones en regiones árticas, donde las fluctuaciones térmicas afectan la integridad de las perforaciones, son un desafío adicional (Falmagne et al., 2019).

Los principales obstáculos técnicos en perforaciones profundas incluyen condiciones HTHP (alta temperatura/alta presión), donde en pozos ultra profundos (mayores a 7,000 m) se registran temperaturas de hasta 180 °C y presiones de 140 MPa. Estos factores requieren fluidos de perforación y cementación resistentes a condiciones extremas (Hugenschmidt, 2011). Asimismo, la pérdida de lodo y los eventos de reventón simultáneos son comunes en zonas salinas, donde las variaciones de presión exigen controles de densidad precisos (Hugenschmidt., 2011).

La optimización de los modelos geológicos 3D actualizados y la simulación de escenarios de perforación previa son fundamentales para mejorar la eficiencia y la efectividad de las operaciones mineras. La implementación de inteligencia artificial para predecir comportamientos de formación puede ser crucial para minimizar riesgos y maximizar la recuperación de recursos (Xiao et al., 2024). En este contexto, las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

adaptaciones tecnológicas son esenciales para enfrentar los desafíos que presenta la profundidad del sondaje y asegurar la viabilidad de los proyectos mineros.

c) Objetivo geológico

Los objetivos geológicos en la perforación minera guían la identificación y evaluación de recursos minerales mediante la recopilación de datos críticos sobre formaciones, estructuras y depósitos. Estos objetivos influyen directamente en la selección de métodos de perforación, técnicas de análisis y estrategias de recolección de datos durante la exploración. La comprensión de estos aspectos es fundamental para maximizar la eficiencia y efectividad de las operaciones mineras, asegurando que se tomen decisiones informadas basadas en datos precisos y relevantes.

Dentro de los objetivos geológicos, se destacan las formaciones geológicas y depósitos minerales. Por ejemplo, el carbón y lignito se encuentran en cuencas sedimentarias como Kolubara (Serbia), donde se buscan capas de lignito para la producción energética, con más de 4.100 millones de toneladas identificadas mediante perforación (Rahmat et al., 2024). Además, los metales y minerales críticos, como el cobre y zinc, se priorizan en depósitos hidrotermales, evaluando su continuidad y ley mediante modelos 3D (Medvedev et al., 2024). Por otro lado, los hidrocarburos no convencionales, como los encontrados en formaciones profundas, requieren exploraciones en reservorios complejos donde fracturas y presión de yacimiento son claves (Rahmat et al., 2024).

La información geológica requerida para la viabilidad del proyecto depende de varios factores. Primero, la geometría del yacimiento, que incluye espesor, profundidad y extensión de las zonas mineralizadas. Segundo, las propiedades geomecánicas, que abarcan la estabilidad de las estructuras y sistemas de fracturas (Medvedev et al., 2024). Tercero, las características del mineral, que se refieren a la ley, calidad y homogeneidad del recurso (Bulearca et al., 2024). Finalmente, el contexto estructural, que incluye fallas y pliegues que afectan la distribución mineral (Medvedev et al., 2024).

La influencia en métodos de perforación y análisis se manifiesta en la selección de técnicas adecuadas. Por ejemplo, la perforación diamantina para muestreo in situ en yacimientos complejos, el uso de fluidos de perforación poliméricos en formaciones arcillosas para reducir colapsos, y el diseño de campañas que optimizan el número de perforaciones y minimizan costos (Bulearca et al., 2024). Además, la integración de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

datos de perforación, núcleos y modelos 3D es crucial para predecir el éxito exploratorio y calibrar probabilidades de interceptación mineral (Medvedev et al., 2024).

Los objetivos geológicos son fundamentales para la recolección y gestión de datos en la minería, definiendo un marco técnico-científico para transformar datos en decisiones estratégicas. Esto no solo optimiza la viabilidad económica de los proyectos, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la mitigación de impactos negativos asociados a la minería.

2.3.2.4.Etapas del proceso de perforación en exploración

El proceso de perforación en exploración minera es una secuencia estructurada que garantiza la recolección precisa de datos geológicos. Esta metodología se centra en la optimización de la identificación de recursos y en la minimización de costos mediante etapas interconectadas. A continuación, se describen las etapas fundamentales que componen este proceso.

a) Preparación del sitio

La preparación del sitio es crucial y se divide en varias subetapas:

- Estudios geofísicos previos: Se realizan análisis de datos magnéticos, gravimétricos o espectrales para definir ubicaciones de perforación (Asadzadeh et al., 2024).
- Despeje y acceso: Implica la construcción de caminos y plataformas que cumplan con las normas ambientales.
- Logística: Consiste en el transporte de equipos de perforación (diamantina, RC, etc.) según las condiciones geológicas (Vučković, 2024).

La importancia de esta etapa radica en la reducción de gastos operativos y en asegurar la representatividad de las muestras.

b) Operaciones de perforación

Las operaciones de perforación son esenciales para la obtención de muestras. Esta fase incluye:

- Configuración técnica: Selección de métodos basados en la dureza de roca y profundidad objetivo.
- Perforación diamantina: Permite recuperar testigos intactos en formaciones competentes (Vučković, 2024).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Parámetros críticos: Se deben monitorear variables como RPM, penetración y control de calidad (Vučković, 2024).

La optimización de estos parámetros es fundamental para maximizar la eficiencia y la calidad de las muestras obtenidas.

c) Recuperación de testigos

La recuperación de testigos es una etapa donde se extraen y analizan las muestras obtenidas:

- Extracción del núcleo: Uso de tubos dobles para preservar muestras en formaciones fracturadas.
- Registro geológico inmediato: Descripción visual de la litología, alteraciones y mineralización (Asadzadeh et al., 2024).
- Control de calidad: Implementación de mediciones para asegurar una recuperación superior al 95% en zonas mineralizadas clave.

Esta fase es crítica para determinar la continuidad del depósito y priorizar análisis posteriores.

d) Análisis de muestras

Finalmente, el análisis de muestras permite evaluar la viabilidad del recurso:

- Procesamiento inicial: Corte longitudinal y almacenamiento en cajas organizadas.
- Ensayos de laboratorio: Incluyen geoquímica y petrográfica para identificar minerales portadores (Asadzadeh et al., 2024).
- Interpretación integrada: Relación de datos con anomalías geofísicas para modelar el cuerpo mineralizado.

Estas etapas forman un ciclo iterativo donde cada fase retroalimenta la toma de decisiones exploratorias. La optimización técnica en perforación diamantina y el análisis de datos son cruciales para descubrimientos económicos, como se ha demostrado en casos de carboníferas y porfiditos (Asadzadeh et al., 2024).

2.3.2.5. Avances tecnológicos aplicados a la perforación minera

Los recientes avances tecnológicos en perforación minera han transformado significativamente las operaciones, enfocándose en tres áreas clave: automatización, análisis de datos en tiempo real y modelado predictivo. Estas innovaciones mejoran la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones de perforación. La automatización y el aprendizaje automático permiten a los sistemas de perforación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

modernos incorporar algoritmos que identifican litologías en tiempo real mediante parámetros de perforación (Zagré et al., 2024). Esto permite detectar capas de carbón con una margen de ±20 cm mediante tecnología Monitor-While-Drilling (MWD), reduciendo la necesidad de costos o registros geofísicos (Zagré et al., 2024).

La integración de redes neuronales artificiales corrige desplazamientos de profundidad entre registros y datos de perforación, optimizando la precisión. Además, el análisis de vibraciones en tiempo real mediante técnicas de minería de datos monitorea las condiciones de perforación, detectando fallos tempranos y mejorando la seguridad operativa. Estas tecnologías emergentes no solo aumentan la eficiencia en un 30-40%, sino que también reducen los tiempos de perforación y rediseños de pozos (Zagré et al., 2024). La prevención de pérdidas de circulación y derrumbes de pozos mediante modelos predictivos disminuye accidentes en un 25% (Pashchenko et al., 2024).

Los modelos matemáticos no lineales que simulan la filtración de lodos de perforación en medios porosos consideran efectos dinámicos como cambios de viscosidad y permeabilidad (Pashchenko et al., 2024). Estos modelos predicen la formación de torta de filtro en paredes de pozos y su impacto en pérdidas de circulación, permitiendo optimizar parámetros de fluidos para reducir riesgos operativos (Pashchenko et al., 2024). La inclusión de variables como temperatura, concentración de sólidos y efectos de obstrucción mecánico-química proporciona simulaciones más precisas que los enfoques clásicos (Pashchenko et al., 2024).

Finalmente, las tecnologías emergentes como sensores IoT permiten la detección de calidad de aguas subterráneas basadas en IoT, monitoreando impactos ambientales en tiempo real. La analítica predictiva en minería de datos permite desarrollar modelos de rendimiento eficientes para nodos de sensores en su subsuelo, mejorando la recolección de datos. La visión artificial, combinando técnicas híbridas de análisis de recurrencia cuantitativa y machine learning, detecta automáticamente límites de roca, mejorando la caracterización geológica (Anvari et al., 2022). Estas innovaciones no solo optimizan la exploración y producción, sino que también promueven un enfoque más sostenible en la minería.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.3.2.6.Impacto ambiental y medidas de mitigación en perforaciones

La perforación minera genera impactos ambientales significativos que requieren estrategias de mitigación integrales. Estos impactos incluyen la degradación del suelo, la contaminación hídrica y la afectación de ecosistemas, abordados mediante la gestión de residuos, conservación de agua, fluidos ecológicos y marcos regulatorios específicos. La degradación del suelo, por ejemplo, se produce debido a la remoción de capas de tierra durante la perforación, lo que destruye la estructura del suelo, reduce su fertilidad y afecta la regeneración de la vegetación nativa (Sanabria et al., 2018).

La contaminación hídrica es otro efecto crítico, donde lixiviados de metales pesados, como mercurio y arsénico, y residuos de combustibles pueden infiltrarse en acuíferos, alterando parámetros físico-químicos y dañando la fauna acuática (Sanabria et al., 2018). Además, la fragmentación de hábitats provoca la disminución de especies endémicas y desequilibrios en cadenas tróficas, especialmente en áreas de alta biodiversidad.

Para mitigar estos impactos, se implementan diversas medidas. La gestión de residuos implica la instalación de sistemas de captación y tratamiento de lodos para evitar la dispersión de contaminantes, combinando con biorremediación mediante microorganismos para degradar hidrocarburos. La conservación hídrica se promueve a través de la recirculación de aguas industriales mediante circuitos cerrados y el uso de barreras hidráulicas para aislar acuíferos (Sanabria et al., 2018).

Finalmente, la regulación y directrices internacionales, como las establecidas por el ICMM (Consejo Internacional sobre Minería y Metales), exigen evaluaciones de impacto ambiental previas y monitoreo continuo de la calidad del agua y el suelo. Enfoques integrales, como los de Bolivia, priorizan la restauración ecológica y la compensación a comunidades afectadas, incluyendo planes de cierre de minas verificables. La efectividad de estas medidas depende de su implementación rigurosa, control estatal y la adopción de tecnologías sostenibles que equilibren la actividad minera con la preservación ambiental (Sanabria et al., 2018).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.3. Perforación diamantina

La perforación diamantina es una técnica de perforación rotativa que utiliza brocas incrustadas con diamantes industriales como medio de corte. Este método se destaca por su capacidad para perforar rocas duras y abrasivas, lo que lo convierte en una herramienta esencial en la exploración mineral y en la minería. Su principio fundamental radica en la abrasividad del material de la broca, que permite realizar cortes precisos y eficientes en diferentes tipos de formaciones geológicas. A diferencia de los métodos convencionales que fracturan la roca por impacto, la perforación diamantina genera un corte continuo, lo que resulta en una menor generación de escombros y una mayor recuperación de muestras intactas, cruciales para análisis geológicos (Melnikov & Buglov, 2024).

Figura 3.
Perforación diamantina.



Nota: Tomado de Jimeno, C. L., Jimeno, E., & Carcedo, F. J. (2010)

La mecánica operativa de la perforación diamantina implica el uso de brocas de diamante, que pueden ser de tipo PDC (diamante policristalino) o de diamantes naturales impregnados en una matriz metálica. Estas brocas están diseñadas para resistir las altas presiones y temperaturas generadas durante el proceso de perforación. La combinación de peso sobre la broca y la velocidad de rotación (RPM) son factores críticos que influyen en la eficiencia del corte y en la calidad de las muestras obtenidas. La correcta regulación de estos parámetros permite maximizar la penetración y minimizar el desgaste de la herramienta, lo que es fundamental para mantener la productividad en operaciones de perforación (Tian et al., 2022).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Entre las ventajas de la perforación diamantina se encuentran su alta precisión y la capacidad de recuperar testigos cilíndricos intactos, lo que permite obtener información geológica detallada. Este método es especialmente útil en formaciones donde la recuperación de muestras es crítica, logrando tasas de recuperación superiores al 85% en formaciones estratificadas. Además, la perforación diamantina es más eficiente en términos energéticos, ya que reduce el consumo específico de energía y minimiza las vibraciones destructivas que pueden comprometer la integridad de la roca circundante (Melnikov & Buglov, 2024).

Sin embargo, la perforación diamantina también presenta limitaciones y desafíos. Las brocas PDC, aunque efectivas, pueden ser frágiles y susceptibles a fracturas bajo condiciones extremas. Por lo tanto, es esencial implementar soluciones como cámaras dobles en cortadores para aumentar la resistencia al impacto y optimizar el rendimiento. Asimismo, el control de vibraciones es crucial para evitar daños en la maquinaria y en el entorno de perforación. A pesar de estas limitaciones, la perforación diamantina sigue siendo una técnica preferida en la exploración mineral y en la industria petrolera, gracias a su capacidad para adaptarse a diversas condiciones geológicas y su eficacia en la obtención de datos precisos (Tian et al., 2022).

2.3.3.1. Gestión de la perforación con diamantina

Optimizar el desempeño tanto del personal como de la maquinaria en una empresa dedicada a la perforación diamantina contribuye a una gestión más eficiente de los costos, evitando gastos innecesarios y maximizando los beneficios del proyecto. Estas estrategias permiten cumplir con los objetivos, ya sea mejorar la precisión en la evaluación de recursos minerales o recolectar datos geotécnicos e hidrogeológicos para análisis detallados.

La industria demanda respuestas ágiles debido a la complejidad de la perforación, que requiere adaptarse constantemente a nueva información, condiciones operativas cambiantes y estrictas normas de seguridad. La experiencia acumulada durante el proceso es clave para realizar estos ajustes de manera efectiva.

Además, es fundamental priorizar métodos que reduzcan el impacto ambiental durante campañas de perforación diamantina, garantizando la sostenibilidad y responsabilidad social. Esto implica no solo seleccionar adecuadamente el equipo de perforación, sino también planificar la logística integral que incluye personal, materiales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

y vehículos. Adaptar las estrategias a las condiciones específicas del sitio de operación es esencial para optimizar resultados y minimizar posibles daños en la zona de influencia.

Este enfoque integral de optimización ha sido respaldado por estudios en Perú, donde la implementación de brocas más eficientes y una gestión adecuada de recursos ha permitido reducir costos y mejorar la productividad en proyectos mineros (por ejemplo, uso de brocas Fordia y Hayden en Cusco y Puno) (Alvarez, 2019)

2.3.3.2.Perforación diamantina para la estimación de recursos mineros

La perforación diamantina es una metodología clave para determinar la cantidad y composición del recurso mineral en un depósito, lo que permite evaluar su viabilidad económica para la explotación. Al iniciar un proyecto o en etapas avanzadas, se realiza una serie de perforaciones escalonadas —aproximadamente 17— que aseguran una representatividad adecuada y un nivel de confianza inicial en la estimación del recurso inferido. A medida que el proyecto avanza, esta malla de perforación se refina para obtener una valoración más precisa del recurso indicado, aumentando la exactitud de los datos. Finalmente, se ajusta sistemáticamente la malla hasta alcanzar la categoría de recurso medido, cumpliendo con los estándares de certeza necesarios para respaldar financieramente la extracción. Todo este proceso se realiza bajo estrictas normativas y códigos internacionales, como el JORC, (2012) que garantizan la transparencia e integridad en los análisis.

Según el código JORC, los recursos minerales son acumulaciones de materiales sólidos o líquidos en la superficie o subsuelo con potencial económico para ser extraídos. Para que un recurso sea considerado viable para minería, debe cumplir con condiciones como ubicación precisa, concentración significativa del metal, acceso factible y características geológicas bien definidas. La perforación diamantina permite obtener muestras representativas para evaluar detalladamente su valor. Los recursos se clasifican en tres categorías según la confianza en los datos geológicos: inferido, indicado y medido. Todas las evaluaciones deben cumplir rigurosamente con las normativas vigentes que aseguran la validación económica del recurso, independientemente de su categoría (JORC, 2012).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 4.
Testigos y plataforma.



Nota: Tomado de Jimeno, C. L., Jimeno, E., & Carcedo, F. J. (2010)

2.3.3.3.Gestión de la perforación diamantina dentro de las operaciones mineras

Antes de iniciar una perforación diamantina, es fundamental organizar adecuadamente los accesos y plataformas necesarias para llevar a cabo la operación. Esto incluye obtener todas las autorizaciones administrativas requeridas, como las certificaciones ambientales, y cuando sea pertinente, contar con el consentimiento de las comunidades locales involucradas. La preparación del terreno generalmente se realiza con vehículos especializados, como tractores y máquinas de excavación, o una combinación de ambos.

Además, es vital gestionar responsablemente el ecosistema, lo que implica manejar correctamente los materiales excavados, como la poza de lodos, y garantizar la rehabilitación ambiental posterior a la operación.

Para minimizar interferencias con las actividades mineras en curso, la planificación debe contemplar distintos escenarios que puedan surgir durante el trabajo diario en la mina. Antes de comenzar la perforación, se debe evaluar cómo esta actividad impactará en la excavación y transporte dentro del contexto operativo, anticipándose para actuar de manera proactiva.

La alineación precisa entre las actividades preparatorias y la empresa encargada de la perforación es esencial para cumplir con los plazos establecidos. Esto permite

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

definir claramente responsabilidades, asignar recursos financieros y mantener el cronograma sin retrasos. Una coordinación efectiva facilita el traslado seguro y eficiente de la maquinaria, la instalación de la base operativa, la movilización del personal y la logística de herramientas e insumos, incluyendo equipos especializados para maniobras direccionales.

El costo por metro de sondeo varía según múltiples factores, como el método de perforación (direccional o convencional), la extensión total del proyecto, la profundidad promedio, el tipo de broca utilizada (PQ, HQ, NQ, BQ), la angulación del taladro y las condiciones logísticas del sitio, como la accesibilidad. Además, los cambios en la economía del sector minero influyen en estos costos. Por ello, cada operación es única y su precio final se determina considerando todas estas variables específicas.

El éxito de un proyecto de perforación diamantina depende en gran medida de la retroalimentación constante entre los equipos de trabajo, lo que permite ajustar y mejorar las operaciones durante la campaña.

Es imprescindible seguir las directrices corporativas y contar con un plan de trabajo detallado que establezca la secuencia lógica de cada etapa. El personal debe estar debidamente capacitado para identificar y resolver cualquier eventualidad que pueda surgir, asegurando una gestión eficiente y alineada con los estándares de la empresa.

La formación técnica y operacional del equipo es clave para la eficacia del proyecto. Los profesionales deben poseer conocimientos técnicos sólidos y la capacidad para implementar estrategias y planes de manera eficiente. La falta de capacitación adecuada puede conducir a una gestión deficiente y afectar negativamente los resultados del proyecto.

2.3.3.4. Principios físicos y mecánicos del método

Los principios físicos y mecánicos del método se fundamentan en la utilización de materiales específicos y en la aplicación de técnicas que optimizan la eficiencia del proceso. En este contexto, la mecánica de corte con diamante se destaca por su capacidad para penetrar formaciones rocosas duras. El diamante, como material de corte, posee una dureza extrema (10 en la escala de Mohs) y una conductividad térmica que permite una efectiva penetración en las rocas. En las cabezas de perforación con matriz escalonada, los diamantes impregnados fracturan la roca mediante fuerzas de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

compresión y cizallamiento localizadas, facilitando así la iniciación de microfracturas (Cherry et al., 2025).

La fragmentación eficiente de rocas requiere superar la resistencia a la compresión confinada de la roca. Bajo condiciones de ultra profundidad (240 MPa y 200 °C), se optimiza combinando dos factores clave: la carga axial (WOB) y la velocidad de rotación. Estos parámetros, identificados como óptimos, son de 8.0–8.5 kN de WOB y 180–240 rad/min de rotación, maximizando la eficiencia de corte y minimizando el desgaste (Zhou, 2024). La dinámica de la sarta de perforación se ve influenciada por la transmisión de energía, donde la carga axial y el par aplicado en superficie se transmiten a través de la sarta, generando pérdidas por fricción y flexión.

Los modelos de elementos finitos (FEM) muestran que los esfuerzos tangenciales máximos en cortadores PDC deben mantenerse por debajo de 20 GPa para evitar fallas (Cherry et al., 2025). Además, se identifican factores que afectan la eficiencia del proceso de perforación. Por ejemplo, la diferencia de tensión horizontal puede reducir la tasa de penetración (ROP) y aumentar la resistencia cohesiva de la roca (Zhou, 2024). La fluidez de perforación mejora la recuperación de testigos y reduce la absorción de dureza y formación de capas hidratadas en microgrietas, lo que es crucial para mantener la integridad de la operación.

Finalmente, la adaptación de estos principios permite optimizar la perforación en condiciones geológicas desafiantes, equilibrando parámetros mecánicos y propiedades de materiales para maximizar el rendimiento. Estos principios son esenciales para el diseño de sistemas de perforación que buscan no solo la eficiencia, sino también la sostenibilidad en la extracción de recursos.

2.3.3.5. Componentes del equipo de perforación diamantina

Los componentes del equipo de perforación diamantina son esenciales para garantizar la eficacia y la precisión en las operaciones de perforación. Estos componentes se dividen en varias categorías, cada una con funciones específicas que contribuyen al éxito del proceso de perforación. A continuación, se describen los principales componentes y sus características.

a) Sistema de perforación (Drill Rig)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El sistema de perforación es el núcleo del equipo, que alberga los sistemas mecánicos, hidráulicos y de control. Este sistema proporciona la potencia rotacional y de avance necesaria para impulsar la sarta de perforación. Entre sus funciones se destacan:

- Potencia rotacional y de avance: Es fundamental para impulsar la sarta de perforación.
- Control de presión y torque: Permite ajustes precisos para diferentes formaciones rocosas. Los avances tecnológicos incluyen sistemas PLC que automatizan operaciones y optimizan parámetros en tiempo real.

b) Brocas (Drill Bits)

Las brocas son componentes críticos que realizan la acción de corte en el material. Están diseñadas con incrustaciones de diamante para maximizar la eficiencia de perforación. Los tipos comunes de brocas incluyen:

- Brocas de corona circular: Utilizadas para formaciones homogéneas.
- Brocas impregnadas: Compuestas por diamantes sintéticos en una matriz metálica, ideales para rocas abrasivas.

Los materiales clave para estas brocas incluyen matrices de carburo de tungsteno (WC-Co) o cerámicos reforzados (Mezzetti et al., 2016). Innovaciones como recubrimientos de carbono tipo diamante (DLC) mejoran la resistencia a la fatiga y el desgaste (Sujitno et al., 2019).

c) Barras de perforación (Core Barrels)

Las barras de perforación son conjuntos tubulares que albergan el núcleo extraído. Incluyen:

- Barras exteriores: Transmiten la rotación a la broca.
- Barras interiores: Recuperan el testigo con mínima alteración.

La tecnología de sistemas de triple tubo permite recuperar más del 95% del núcleo (Mezzetti et al., 2016). Esto es crucial para obtener muestras representativas del subsuelo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d) Sistema de entubación (Casing)

El sistema de entubación consiste en tubos temporales que estabilizan el pozo. Sus funciones incluyen:

- Prevenir derrumbes: Mantiene la integridad del pozo.
- Aislamiento de fluidos: Controla la circulación de fluidos en el pozo.

Los materiales utilizados, como aceros AISI 4340, son seleccionados por su resistencia y durabilidad, lo que permite una mayor vida útil en ambientes corrosivos (Sujitno et al., 2019).

e) Sistema de fluidos

El sistema de fluidos es vital para la operación de perforación, ya que:

- Enfría la broca: Reduce la temperatura en la zona de corte.
- Extrae recortes: Transporta los residuos a la superficie.

Los avances en polímeros mejoran la eficiencia y reducen el impacto ambiental. La implementación de tecnologías de automatización PLC permite un control preciso de los parámetros de perforación, optimizando así el rendimiento y la seguridad en las operaciones (Mezzetti et al., 2016).

2.3.3.6. Técnicas de perforación diamantina (convencional y wireline)

La perforación diamantina es una técnica esencial en la exploración minera, utilizada para obtener muestras de testigo (core) con el mínimo daño a la formación. Existen dos métodos predominantes en esta técnica: el convencional y el wireline, cada uno con características operativas y aplicaciones específicas.

a) Perforación diamantina convencional

Principio operativo:

- Este método utiliza un conjunto de barras de perforación conectadas que se extraen completamente para recuperar cada muestra de testigo (Geng et al., 2014).
- El núcleo se corta mediante una corona diamantada y se almacena en el tubo interior, requiriendo el retiro total del tren de perforación para su extracción.

Ventajas:

- Simplicidad mecánica y menor costo inicial del equipo (Geng et al., 2014).
- Adecuado para formaciones inestables o profundidades moderadas.

Desventajas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Ineficiencia por tiempo requerido para extraer todo el tren de perforación (promedio de 1 hora por ciclo) (Geng et al., 2014).
- Mayor generación de polvo y residuos durante la manipulación del testigo (Geng et al., 2014).

b) Perforación diamantina wireline

Principio operativo:

- Emplea un sistema de cable (wireline) que permite izar solo el tubo interior con el testigo, sin necesidad de retirar las barras de perforación (Geng et al., 2014).
- Esto permite una recuperación más rápida y eficiente del material.

Ventajas:

- Eficiencia: Reducción del 60-70% en tiempo de perforación en comparación con el método convencional (Geng et al., 2014).
- Calidad de muestra: Minimiza los disturbios en muestras frágiles durante la extracción (Sun et al., 2015).
- Seguridad: Disminución de la manipulación manual y reducción de riesgos de accidentes (Geng et al., 2014).

Desventajas:

- Mayor complejidad mecánica y costo de mantenimiento del equipo (Geng et al., 2014).
- Limitaciones en formaciones duras donde el sistema de cable puede no ser efectivo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c) Comparativa de eficiencia y aplicaciones

Tabla 1.

Comparación eficiencia/aplicaciones.

Parámetro	Convencional	Wireline
Velocidad	15-20 m/turno	25-40 m/turno
Profundidad	Óptimo < 500 m	Eficiente > 1000 m
Costo	Menor inversión inicial	Mayor a largo plazo
Aplicaciones	Exploraciones superficiales	Proyectos profundos y complejos

2.3.3.7. Innovaciones tecnológicas

Las innovaciones en perforación diamantina incluyen:

- Sistemas de corte in situ: Propuestas como el core splitter integrado en el tubo interior, que realizan cortes diamantados durante la perforación, eliminando la necesidad de divisiones superficiales y reduciendo el polvo (Geng et al., 2014).
- Optimización de coronas: Uso de cortadores PDC no-planar que mejoran la penetración en formaciones plásticas en un 133% versus cortadores convencionales (Geng et al., 2014).
- Telemetría avanzada: Integración de registros durante la perforación para correlacionar en tiempo real con datos de pozos adyacentes (Sun et al., 2015).

2.3.3.8. Impacto en la exploración minera

El método wireline se ha vuelto dominante en proyectos de media-alta profundidad debido a su relación costo-eficiencia y la calidad de las muestras obtenidas. La capacidad de realizar perforaciones más precisas y rápidas es crítica para la evaluación de recursos minerales, especialmente en contextos donde la calidad del testigo es fundamental para la estimación de reservas (Geng et al., 2014).

En conclusión, la elección entre perforación convencional y wireline dependerá de las características del proyecto, la profundidad de perforación y las condiciones geológicas. Ambas técnicas tienen sus ventajas y desventajas, pero la tendencia actual se inclina hacia la perforación wireline por su eficiencia y calidad en la recuperación de muestras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.Variables

Tabla 2.
Operacionalización de Variables del estudio

Variables	Definición de Ejecución	Indicador Operacional
Eficiencia técnico-económica de la perforación diamantina	Evaluar la eficiencia operativa de los sondajes diamantinos en función de la profundidad (cortos y profundos).	Velocidad de perforación (m/día) = Metros perforados/Días trabajados
	Evaluar la recuperación de testigo en ambos tipos de sondaje.	% Recuperación de testigo = Longitud de testigo recuperado/Longitud de avance×100
	Medir el consumo de insumos en la operación.	Litros de agua, aditivos y combustible consumidos por metro perforado
	Calcular los costos directos e indirectos asociados a la perforación.	Costo por metro perforado (S/.) = Costos totales/Metros perforados
	Evaluar la rentabilidad relativa del tipo de sondaje.	Rentabilidad (%) = Ingresos−Costos/ Costos×100\
	Determinar el impacto estratégico en la toma de decisiones de exploración.	Nivel de aplicabilidad de resultados en planificación (bajo, medio, alto)
Variable independiente Tipo de sondaje por perforación diamantina	Clasificar los sondajes de acuerdo con su profundidad.	Profundidad: Corto (<1,200 m); Profundo (>1,200 m)
	Identificar las condiciones técnicas del terreno durante la perforación.	Tipo de litología, grado de fracturamiento y dureza de roca
	Registrar los equipos utilizados en cada tipo de sondaje.	Tipo de máquina perforadora, capacidad de avance (m/día), tipo de broca y accesorios

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo **aplicativo,** ya que busca generar conocimiento útil para la toma de decisiones en un proyecto de exploración minera, mediante el análisis técnico-económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos. Asimismo, es de tipo descriptivo, dado que se centra en describir, sistematizar y analizar características técnicas, costos directos e indirectos, rendimientos operativos y niveles de rentabilidad, sin manipular las variables de estudio.

3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la presente investigación es **descriptivo–comparativo**, ya que busca detallar y analizar las características técnicas y económicas de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos, estableciendo similitudes y diferencias entre ambas modalidades. Se describen indicadores como velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos, costos directos e indirectos y rentabilidad relativa, con el propósito de comparar objetivamente cuál alternativa resulta más eficiente y rentable dentro del contexto del proyecto de exploración minera en la región Ica.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población del estudio estuvo constituida por la totalidad de los sondajes diamantinos ejecutados en el proyecto de exploración minera en la región Ica durante la campaña analizada. Esta población incluyó tanto **sondajes cortos (<1,200 m)**, orientados a la identificación de mineralizaciones superficiales, como **sondajes profundos (>1,200 m)**, destinados a la delimitación de estructuras geológicas en profundidad.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por **20 sondajes diamantinos** que contaron con información técnica y económica completa y verificable. De este total, **12** correspondieron a **sondajes cortos (<1,200 m)** y **8 a sondajes profundos (>1,200 m).**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La selección de la muestra respondió a un **muestreo no probabilístico por conveniencia,** dado que se incluyeron únicamente aquellos sondajes con registros completos en partes de perforación, reportes diarios de avance y estados de costos del proyecto. Esta decisión permitió garantizar la validez técnica del análisis comparativo entre ambos tipos de sondaje.

3.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

El presente estudio utilizó un diseño descriptivo–comparativo de carácter documental y de campo, orientado a analizar los parámetros técnicos y económicos de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en la región Ica.

Se realizó una revisión sistemática de la documentación operativa y económica generada durante la campaña de perforación, incluyendo partes diarios de perforación, reportes de recuperación de testigos, consumos de insumos y reportes de costos directos e indirectos (ver anexos). Asimismo, se analizaron los registros de avance y productividad de los equipos de perforación diamantina empleados en la operación.

3.3.1. Método de Recolección de Datos

Para garantizar la confiabilidad de la información se siguieron los siguientes procedimientos:

a) Registro de los avances de perforación

Se recopilaron los partes diarios de perforación emitidos por el área de operaciones, en los que se consignaron los metros perforados, tiempo efectivo de máquina, tiempos improductivos, consumo de agua, brocas y combustibles. Estos registros constituyeron la base técnica para evaluar la eficiencia operativa de cada sondaje.

b) Control de recuperación de testigos

Se revisaron las bitácoras de recuperación de testigos elaboradas por el área de geología. Estos documentos permitieron calcular el porcentaje de recuperación del núcleo

c) Levantamiento de información económica

Se recopilaron los informes de costos emitidos por el área administrativa del proyecto. Estos incluyeron tanto costos directos (mano de obra, insumos, equipos de perforación, brocas, aditivos, combustible) como costos indirectos (campamento, logística, supervisión, soporte administrativo). La información fue

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

consolidada para calcular el costo unitario por metro perforado y la rentabilidad relativa entre sondajes cortos y profundos.

d) Clasificación de los sondajes

Se clasificaron los sondajes en cortos (<1,200 m) y profundos (>1,200 m) de acuerdo con la definición operacional del estudio. Esta categorización fue esencial para efectuar la comparación técnica y económica entre ambos tipos de sondaje.

e) Procesamiento y sistematización

Los datos recopilados fueron organizados en hojas de cálculo (Excel) y validados contra la documentación original. Posteriormente, se aplicó un análisis comparativo que permitió identificar diferencias de rendimiento operativo y rentabilidad entre sondajes cortos y profundos.

3.3.2. Instrumentos Utilizados

Los instrumentos empleados para la recolección y procesamiento de datos fueron los siguientes:

a) **Partes diarios de perforación:** documentos oficiales elaborados por el supervisor de turno, en los que se consignaron los metros perforados, tiempo efectivo de máquina, tiempos improductivos, consumo de insumos (agua, aditivos, combustible, brocas) y observaciones operativas. Estos registros fueron la fuente principal para calcular indicadores como **velocidad de perforación (m/día), tiempos de ejecución y consumo de insumos.**

b) **Bitácoras de recuperación de testigos:** registros técnicos del área de geología, donde se anotó la longitud del núcleo extraído respecto a la longitud perforada. Estas bitácoras permitieron calcular el **porcentaje de recuperación de testigo,** indicador clave de la calidad técnica de los sondajes.

c) **Reportes de costos directos e indirectos:** informes económicos emitidos por el área administrativa del proyecto, que incluyeron costos de mano de obra, insumos, materiales, logística y campamento. Estos documentos sirvieron para estimar el **costo por metro perforado** y evaluar la **rentabilidad relativa** de los sondajes cortos y profundos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d) **Hojas de cálculo (Excel) y software interno de control:** herramientas empleadas para sistematizar y procesar la información recopilada, generando cuadros comparativos y gráficos de análisis técnico–económico. Su uso garantizó la consistencia de los cálculos de **costos unitarios, rentabilidad y eficiencia operativa.**

3.4. Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicativo, nivel descriptivo–comparativo y diseño no experimental–transversal, ya que se analizaron datos reales obtenidos de una campaña de perforación diamantina en un proyecto de exploración minera en la región Ica, sin manipular variables y en un único periodo de análisis.

La metodología aplicada integró el análisis técnico–operativo y económico–financiero de los sondajes cortos (<1,200 m) y profundos (>1,200 m), con el propósito de determinar la alternativa más eficiente y rentable.

Procedimiento metodológico

a) Recopilación de información técnica y económica

Se recopilaron los documentos oficiales generados por la operación minera, entre ellos:

- Partes diarios de perforación: avance en metros, tiempos efectivos e improductivos, consumo de insumos (agua, aditivos, brocas, combustible).
- Bitácoras de recuperación de testigos: longitud del núcleo recuperado respecto a lo perforado, para calcular el porcentaje de recuperación.
- Reportes de costos directos e indirectos: sueldos y jornales, insumos, logística, campamento, soporte administrativo.
- Bases de datos en hojas de cálculo (Excel): para la sistematización y tabulación de la información recolectada.

b) Clasificación de los sondajes

Los sondajes se categorizaron en:

- Cortos (<1,200 m): destinados a investigar mineralizaciones superficiales o estructuras geológicas someras.
- Profundos (>1,200 m): orientados a confirmar la continuidad y volumen de mineralizaciones en profundidad.

c) Procesamiento de la información técnica

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Con los datos operativos se calcularon los indicadores de eficiencia técnica, tales como:

- Velocidad de perforación (m/día).
- Porcentaje de recuperación de testigo (%).
- Consumo de insumos por metro perforado (agua, aditivos, combustible, brocas).
- Tiempos de perforación (horas efectivas e improductivas).

d) Procesamiento de la información económica

Se determinaron indicadores de eficiencia económica, incluyendo:

- Costos directos (sueldos y jornales, insumos, repuestos).
- Costos indirectos (logística, campamento, soporte administrativo).
- Costo unitario por metro perforado (S/./m).
- Rentabilidad relativa (%) de cada tipo de sondaje.

e) Análisis comparativo técnico–económico

Se efectuó una comparación entre sondajes cortos y profundos en términos de eficiencia operativa y rentabilidad económica. Este análisis permitió identificar la alternativa más eficiente y rentable para la optimización de recursos en la campaña exploratoria.

f) Interpretación y conclusiones estratégicas

Los resultados se interpretaron considerando su impacto en la planificación de futuras campañas de exploración, aportando criterios técnicos y económicos para la toma de decisiones estratégicas en perforación diamantina.

3.5. Plan de análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico se orientó a procesar la información técnica y económica de los 20 sondajes diamantinos (12 cortos y 8 profundos), con el propósito de identificar diferencias en eficiencia operativa y rentabilidad. Se empleó un enfoque cuantitativo descriptivo y comparativo, utilizando herramientas estadísticas que permitieron sistematizar, resumir y contrastar los datos recopilados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Etapas del análisis

a) Análisis descriptivo

- Se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar, rangos) para los indicadores:
  - Velocidad de perforación (m/día).
  - Porcentaje de recuperación de testigo (%).
  - Consumo de insumos (agua, aditivos, combustible, brocas).
  - Tiempos de perforación (horas efectivas e improductivas).
  - Costos directos e indirectos.
  - Costo unitario por metro perforado (S/./m).
- Los resultados se presentaron en tablas y gráficos comparativos, diferenciando sondajes cortos y profundos.

b) Análisis comparativo

- Se aplicaron pruebas de contraste de medias (t de Student para muestras independientes o Mann–Whitney en caso de no normalidad) para identificar diferencias significativas entre sondajes cortos y profundos en cada indicador.
- Se elaboraron cuadros comparativos de eficiencia técnica y rentabilidad económica, destacando ventajas y limitaciones de cada tipo de sondaje.

c) Análisis inferencial

- Se evaluó la relación entre variables técnicas y económicas mediante coeficientes de correlación de Spearman o Pearson según normalidad.
- Se verificó la significancia estadística con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$).

d) Integración técnica–económica

- Se construyó un cuadro comparativo final en el que se integraron los indicadores operativos y económicos, determinando la alternativa más eficiente y rentable.
- Este análisis permitió responder a la hipótesis planteada y aportar criterios para la toma de decisiones estratégicas en la perforación diamantina de futuras campañas.

Software utilizado

El procesamiento estadístico se realizó con Microsoft Excel para la tabulación y gráficos, y con SPSS para la aplicación de pruebas de normalidad, contraste de medias y correlaciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Desarrollo del Objetivo específico 1

Objetivo: Identificar las características técnicas de la perforación diamantina aplicadas a sondajes cortos y profundos.

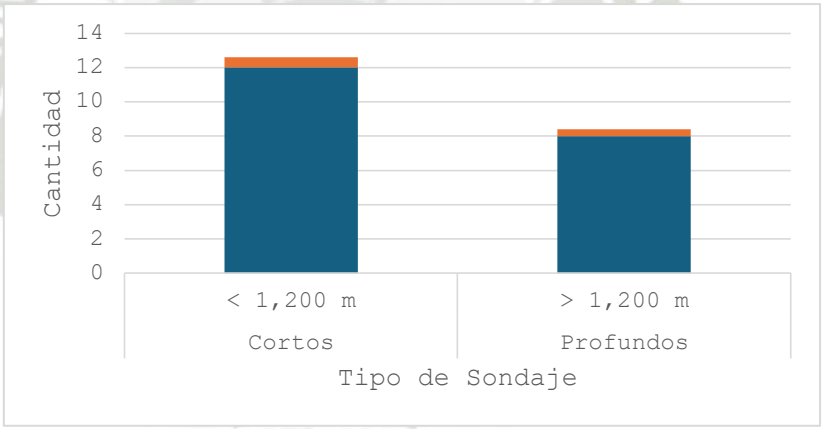
Indicador 1: Profundidad (cortos <1,200 m; profundos >1,200 m)

Tabla 3.
Distribución de sondajes por tipo.

Tipo de sondaje	Rango de profundidad	Cantidad	% sobre el total
Cortos	< 1,200 m	12	60 %
Profundos	> 1,200 m	8	40 %
Total	–	20	100 %

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 5.
Distribución de sondajes por tipo.



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La distribución de la campaña —12 sondajes cortos (<1,200 m; 60%) y 8 profundos (>1,200 m; 40%)— evidencia una estrategia de exploración priorizada hacia el reconocimiento somero y la cobertura areal del modelo geológico, reservando los profundos para confirmación de continuidad y volumetría en zonas objetivo; este balance es consistente con fases tempranas–intermedias de exploración, donde se maximiza densidad de información a menor costo unitario y riesgo operativo. El mayor peso de sondajes cortos sugiere mayores exigencias en control de fluidos y estabilidad del taladro por meteorización/fracturamiento, con mayor recambio de brocas y potencial impacto en recuperación; en contraste, los profundos, aunque menos frecuentes, implican mayor torque y demanda de aditivos estabilizantes, con mejor estabilidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

mecánica del hueco. En términos de planificación, la relación 60/40 orienta la asignación de recursos (equipos HQ/NQ, inventario de consumibles, horas-máquina) y anticipa diferencias de eficiencia operativa y costo unitario que se analizarán comparativamente en los objetivos posteriores.

Indicador 2: Condiciones técnicas del terreno

- Sondajes cortos (<1,200 m): predominó meteorización y fracturamiento con inclusiones de arcillas; mayor probabilidad de inestabilidad de pared. Implicó control más fino del flujo y reología de lodos y recambio más frecuente de brocas.
- Sondajes profundos (>1,200 m): dominios ígneo–metamórficos de mayor competencia; mejores condiciones de estabilidad, pero con mayor torque y demanda de aditivos estabilizantes.
- Implicancia técnica: estas diferencias condicionan recuperación de testigo y velocidad de avance.

Indicador 3: Equipos utilizados

- Máquina diamantina de cabezal hidráulico (plataforma tipo LF230).
- Brocas impregnadas HQ/NQ; reaming shell para mantener calibre; varillaje HQ/NQ.
- Sistema de circulación (bomba, control de sólidos, aditivos lubricantes/estabilizantes).
- Cajas de núcleo y guías para manipulación de testigos.
- Alineación con el objetivo: el set de equipos es compatible con ambos rangos de profundidad, con variaciones de consumo y desgaste según litología.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Objetivo específico 2: Determinar los costos directos e indirectos asociados a la ejecución de sondajes cortos y profundos mediante perforación diamantina.

Indicadores:

- Sondaje corto: sondaje ejecutado de 1,200 metros
- Sondaje largo: sondaje ejecutado de 2,000 metros

Tabla 4.

Desglose técnico de costos directos e indirectos por tipo de sondaje diamantina.

CONCEPTOS	Sondaje Corto (1,200m)	%	Sondaje Largo (2,000m)	%
COSTO	**201,130**	**100.00 %**	**306,865**	**100.00 %**
Equipos de Perforación	36,000		54,000	
Perforadoras	36,000	17.90%	54,000	17.60%
Equipos de Soporte	32,500		50,100	
Buses, Camionetas y Camiones	17,500	8.70%	25,800	8.41%
Eq. Diversos- Otros Equipos	15,000	7.46%	24,300	7.92%
Mano de Obra	41,750		66,615	
Mano de Obra Directa	27,400	13.62%	43,100	14.05%
Personal de Soporte	14,350	7.13%	23,515	7.66%
Materiales	78,780		119,400	
Aditivos	9,000	4.47%	13,900	4.53%
Tuberia	37,680	18.73%	53,500	17.43%
Brocas y Reaming shell	4,600	2.29%	7,900	2.57%
Accesorios de perforación	3,000	1.49%	4,600	1.50%
Combustible	22,000	10.94%	35,500	11.57%
Articulos de seguridad	1,100	0.55%	1,950	0.64%
Materiales Varios	1,400	0.70%	2,050	0.67%
Servicios	700		1,150	
Transporte material	700	0.35%	1,150	0.37%
Gastos Generales	11,400		15,600	
Campamentos y Alimentos	9,000	4.47%	11,500	3.75%
Viáticos de Personal	1,400	0.70%	2,350	0.77%
Gastos De Proyecto	1,000	0.50%	1,750	0.57%

Nota. Cálculos del autor en Microsoft Excel

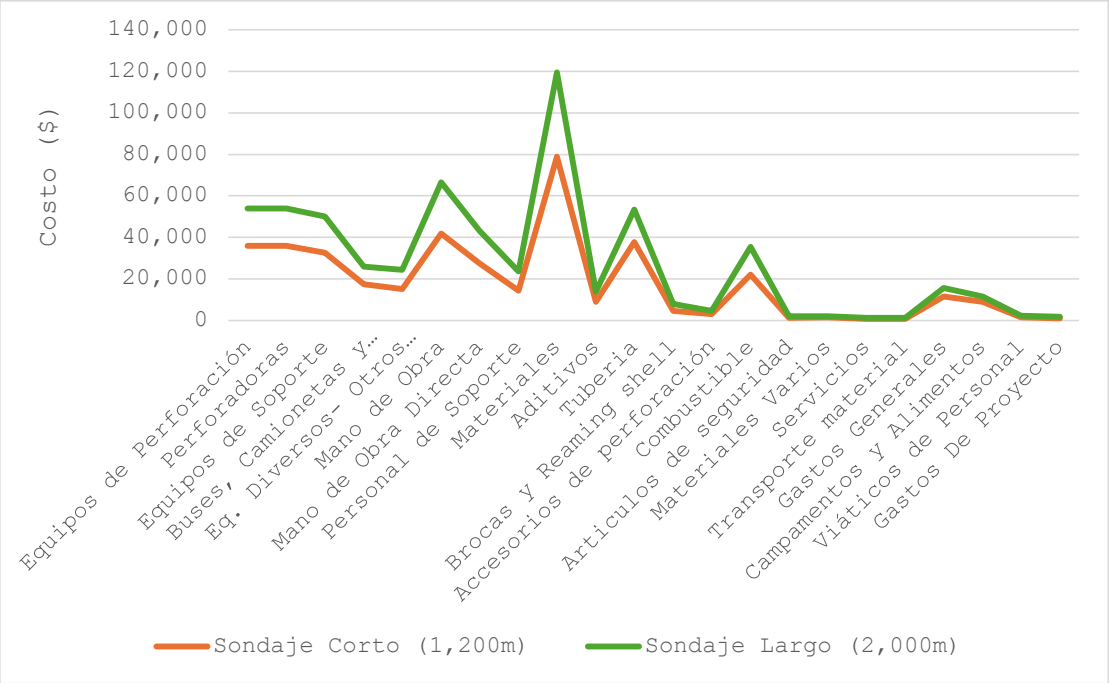
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 6.

Distribución comparativa de costos directos e indirectos



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La tabla 3 muestra que el sondaje corto (1,200 m) tiene un costo total de $201,130, mientras que el sondaje largo (2,000 m) asciende a $306,865, es decir, un incremento del 52.6 % en valor absoluto.

Al desglosar los rubros principales se observa lo siguiente:

- Equipos de perforación y soporte
  - Representan una proporción muy similar en ambos escenarios: 34.06 % en sondajes cortos y 33.93 % en largos.
  - Esto refleja que los costos fijos de equipos se mantienen estables y no varían significativamente con la longitud del sondaje.
- Mano de obra
  - En sondajes cortos equivale al 20.75 % del total, mientras que en los largos sube ligeramente al 21.71 %.
  - El aumento responde a la mayor duración de la campaña, que exige más turnos de perforación y soporte.
- Materiales
  - Constituyen la mayor proporción en ambos casos: 39.16 % en cortos y 38.9 % en largos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Dentro de este grupo, la tubería es el insumo de mayor peso (18.73 % en cortos y 17.43 % en largos).
- El combustible aumenta proporcionalmente en sondajes largos (11.57 % vs. 10.94 % en cortos), lo cual se asocia a más horas-máquina.
- Las brocas y reaming shells muestran un mayor desgaste en perforaciones profundas (2.57 % en largos vs. 2.29 % en cortos).

- Servicios y gastos generales
  - Los servicios (transporte de material) representan valores mínimos en ambos casos (0.35 % en cortos vs. 0.37 % en largos).
  - Los gastos generales son relativamente más altos en sondajes cortos (5.67 %) que en largos (5.09 %). Esto ocurre porque la logística, alimentación y viáticos se distribuyen sobre un metraje menor, elevando su peso relativo en los sondajes cortos.

Interpretación:

- Aunque el sondaje largo alcanza un costo total mayor en términos absolutos, los porcentajes relativos muestran que su estructura es muy similar a la de un sondaje corto.
- No obstante, cuando se analiza la relación costo total / metraje perforado, se evidencia que el sondaje corto es más eficiente y rentable, ya que con un costo menor logra resultados significativos en exploración sin incurrir en el alto desgaste de materiales ni en el consumo intensivo de combustible y mano de obra que demandan los sondajes largos.
- En consecuencia, los sondajes cortos optimizan la inversión inicial y reducen riesgos económicos, mientras que los sondajes largos, aunque necesarios para definir continuidad y profundidad del yacimiento, presentan un mayor impacto financiero.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Objetivo específico 3: Comparar el rendimiento operativo de los sondajes cortos y profundos en términos de velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos y tiempos de ejecución.

Indicador:

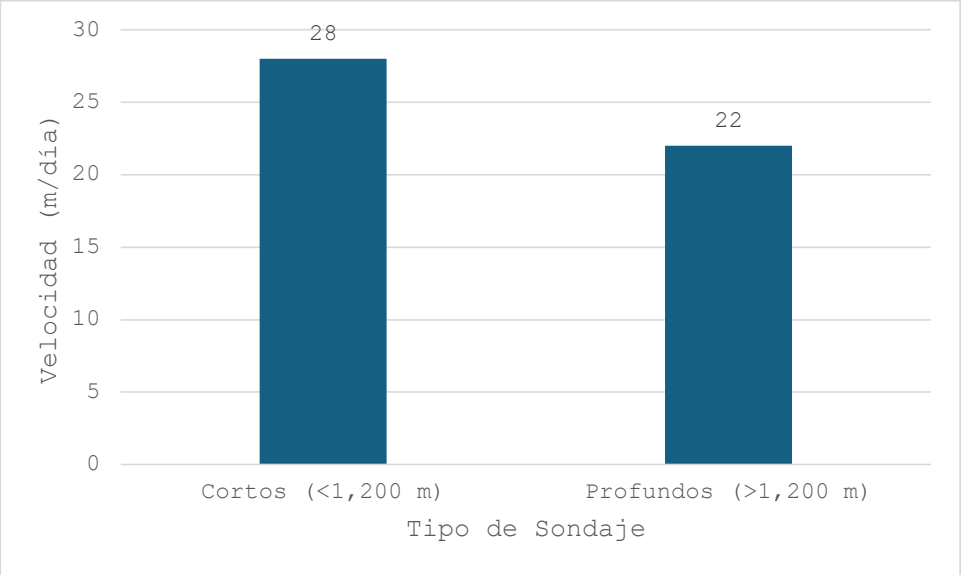
- Velocidad de perforación (m/día) → mide el avance promedio diario de perforación.

Tabla 5.
Velocidad de perforación por tipo de sondaje.

Tipo de sondaje	Velocidad de perforación (m/día)
Cortos (<1,200 m)	28.0
Profundos (>1,200 m)	22.0

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 7.
Velocidad de perforación por tipo de sondaje.



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La tabla y figura muestran que la velocidad de perforación en los sondajes cortos (<1,200 m) alcanzó un promedio de 28.0 m/día, valor que supera en un 27 % a la registrada en los sondajes profundos (>1,200 m), los cuales presentan una tasa promedio de 22.0 m/día.

En términos operativos, esto implica que un sondaje corto de 1,200 m requeriría aproximadamente 43 días de perforación efectiva, mientras que un sondaje profundo de 1,800 m demandaría cerca de 82 días, considerando condiciones operativas similares.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Esta diferencia es técnicamente consistente con la reducción progresiva de la tasa de penetración (ROP) a medida que aumenta la profundidad, debido al mayor torque y fricción acumulada en la columna de varillaje, la necesidad de mantener la estabilidad del pozo mediante el control de la reología de los lodos, y la mayor frecuencia de maniobras de extracción e inserción de varillas. Estos factores incrementan el tiempo de ciclo total y reducen la productividad lineal en los sondajes de mayor longitud.

En consecuencia, se confirma que los sondajes cortos presentan una mayor eficiencia operativa y menor consumo de recursos por metro perforado, mientras que los sondajes profundos, aunque más demandantes en tiempo y energía, resultan imprescindibles para alcanzar objetivos geológicos de mayor continuidad y profundidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Indicador:

- Recuperación de testigo (%) → mide el porcentaje de núcleo recuperado respecto a lo perforado.

Tabla 6.

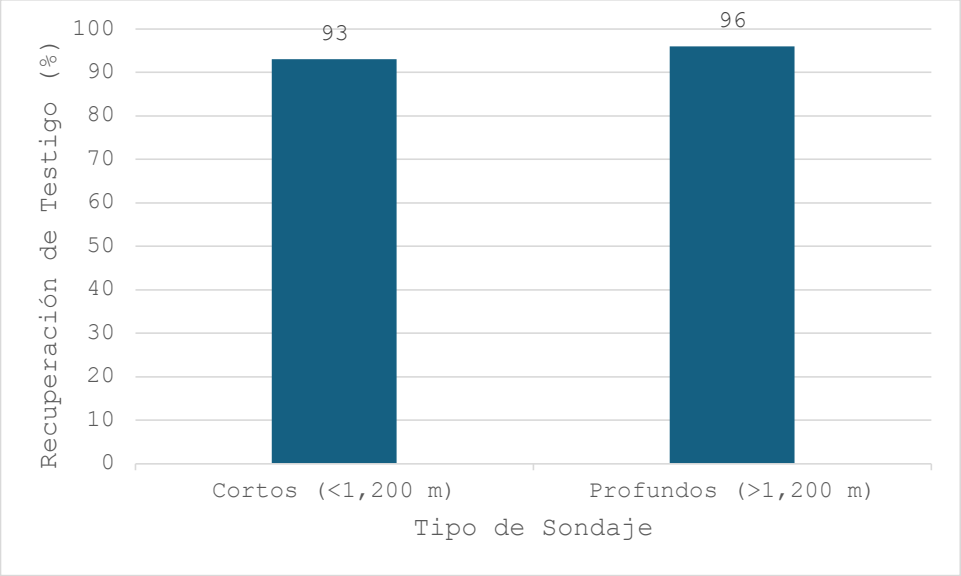
Recuperación de testigo por tipo de sondaje

Tipo de sondaje	Recuperación de testigo (%)
Cortos (<1,200 m)	93
Profundos (>1,200 m)	96

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 8.

Recuperación de testigo por tipo de sondaje



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La Tabla y grafico evidencian que la recuperación de testigo fue ligeramente superior en los sondajes profundos (>1,200 m) con un promedio de 96 %, frente al 93 % registrado en los sondajes cortos (<1,200 m), diferencia de 3 puntos porcentuales que, aunque modesta, resulta significativa en términos operativos. Este comportamiento se explica porque, a mayores profundidades, predominan litologías más competentes y menos alteradas, lo que favorece la integridad del núcleo extraído y reduce la pérdida de fragmentos; en contraste, los tramos someros suelen atravesar zonas más meteorizadas o fracturadas, lo que incrementa la dispersión de material y afecta la continuidad del testigo. De este modo, los sondajes profundos ofrecen una mayor confiabilidad geológica, aportando testigos más representativos para la caracterización del yacimiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Indicador:

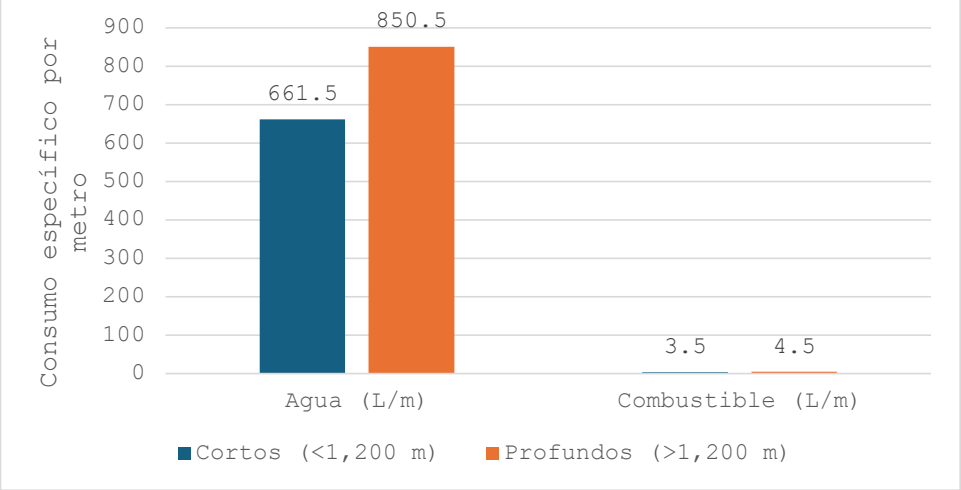
- Consumo de insumos (agua, aditivos, combustible, L/m) → mide la eficiencia en el uso de recursos.

Tabla 7.
Consumo específico de insumos por metro

Indicador	Cortos (<1,200 m)	Profundos (>1,200 m)
Agua (L/m)	661.5	850.5
Combustible (L/m)	3.5	4.5

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 9.
Consumo específico de insumos por metro



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La tabla muestra que el consumo específico de insumos por metro perforado es mayor en los sondajes profundos (>1,200 m) en comparación con los sondajes cortos (<1,200 m). En particular, el consumo de agua se incrementa en un 29 % (850.5 L/m frente a 661.5 L/m), mientras que el consumo de combustible aumenta en un 29 % (4.5 L/m frente a 3.5 L/m).

Estas diferencias se explican por las mayores exigencias operativas de los sondajes profundos, donde la longitud del varillaje y la fricción interna son superiores, requiriendo mayores volúmenes de fluido para asegurar una limpieza adecuada del pozo y el enfriamiento continuo de la broca. Asimismo, el aumento del torque y la potencia del cabezal de perforación implica un mayor consumo de combustible.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En conjunto, los resultados confirman que los sondajes cortos presentan una mayor eficiencia en el uso de insumos, mientras que los sondajes profundos, aunque demandan más recursos, son indispensables cuando se requiere alcanzar mayores profundidades o continuidad estructural en la exploración geológica.

Indicadores:

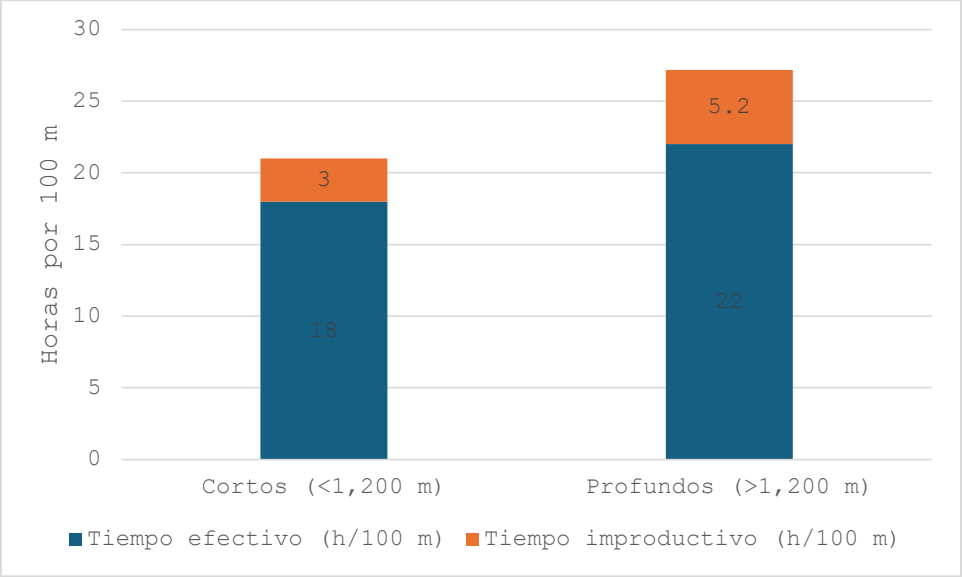
- Tiempo de perforación (h/100 m) → se desglosa en tiempo efectivo y tiempo improductivo, para evaluar productividad real.

Tabla 8.
Tiempos de perforación por 100 m

Tipo de sondaje	Tiempo efectivo (h/100 m)	Tiempo improductivo (h/100 m)	Tiempo total (h/100 m)
Cortos (<1,200 m)	18.0	3.0	21.0
Profundos (>1,200 m)	22.0	5.2	27.2

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 10.
Tiempos de perforación por 100 m



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La Tabla y grafico muestran que los sondajes cortos (<1,200 m) registraron un tiempo total de 21.0 h/100 m, mientras que los profundos (>1,200 m) alcanzaron 27.2 h/100

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

m, lo que representa un incremento del 30 % en el ciclo de perforación. La diferencia se explica por un mayor tiempo efectivo en profundos (22.0 vs. 18.0 h/100 m) debido a menor velocidad de penetración y por un incremento notable en el tiempo improductivo (5.2 vs. 3.0 h/100 m), asociado a maniobras de barras de perforación, estabilización del sondaje y rimado correctivo. En conjunto, esto confirma que los sondajes cortos son más productivos y demandan menos horas por avance, mientras que los profundos implican mayores tiempos de ejecución por factores operativos y geotécnicos.

Conclusión del Objetivo específico 3

La comparación del rendimiento operativo entre sondajes cortos (<1,200 m) y profundos (>1,200 m) evidencia que los primeros alcanzaron una velocidad de perforación un 27 % mayor (28.0 vs. 22.0 m/día), con menores consumos específicos de agua, aditivos y combustible, y menores tiempos totales de ejecución (21.0 vs. 27.2 h/100 m), lo que confirma su superior eficiencia operativa en términos de productividad y uso de recursos. En contraste, los sondajes profundos mostraron una recuperación de testigo más alta (96 % vs. 93 %), lo que garantiza mejor calidad y continuidad del núcleo para fines geológicos. En conjunto, se concluye que los sondajes cortos optimizan el rendimiento operativo y los costos, mientras que los profundos, pese a su mayor demanda de tiempo y recursos, aportan un mayor valor estratégico al entregar núcleos más representativos para la caracterización del yacimiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Objetivo específico 4: Evaluar la rentabilidad operativa entre ambos tipos de sondaje, considerando sus implicancias en la planificación y toma de decisiones del proyecto de exploración.

Con el propósito de determinar la rentabilidad comparativa entre los sondajes cortos (<1,200 m) y los sondajes profundos (>1,200 m), se presenta a continuación el detalle valorizado de las ventas correspondientes a cada tipo de perforación ejecutada.

Esta información permite establecer la estructura económica de cada sondaje, considerando el valor unitario del metro perforado por diámetro (PQ, HQ y NQ), así como los servicios complementarios asociados a las actividades de acondicionamiento, medición, rimado y maniobras operativas.

La presentación de estos valores constituye la base para el análisis posterior de los indicadores técnico-económicos, tales como el costo específico por metro perforado, la eficiencia operativa y el margen de rentabilidad, los cuales permiten interpretar con mayor precisión las implicancias que tiene cada tipo de sondaje en la planificación de campañas de perforación y la toma de decisiones estratégicas del proyecto de exploración.

Valorizado Sondaje 1,200 mts

Figura 11.
Valorizado Sondaje 1,200 mts.

			SONDAJE 1,200 MTS	
Detalle de Venta	Und	PU	Cantidad	US $
Perforación				
Perforación en PQ				
0 hasta 100 m	metro	174.23	100.00	$ 17,422.95
100 hasta 200 m	metro	179.73	100.00	$ 17,972.95
200 hasta 300 m	metro	185.23	100.00	$ 18,522.95
300 hasta 400 m	metro	191.23	100.00	$ 19,122.95
2.2 - Perforación en HQ (roca)				
400 hasta 500 m	metro	187.23	100.00	$ 18,722.95
500 hasta 600 m	metro	193.23	100.00	$ 19,322.95
600 hasta 700 m	metro	199.23	100.00	$ 19,922.95
700 hasta 800 m	metro	205.23	100.00	$ 20,522.95
800 hasta 900 m	metro	213.23	50.00	$ 10,661.47
2.3 - Perforación en NQ (roca)				
800 hasta 900 m	metro	196.23	50.00	$ 9,811.47
900 hasta 1000 m	metro	201.23	100.00	$ 20,122.95
1000 hasta 1100 m	metro	206.23	100.00	$ 20,622.95
1100 hasta 1200 m	metro	211.23	100.00	$ 21,122.95
Otros Servicios				
Instalación y retiro de casing (PVC y metálico)	horas	105.00	35.00	$ 3,675.00
Acondicionamiento por mal terreno (aplica solo para Exploraciones) (No aplica para OPEX)	horas	105.00	235.00	$ 24,675.00
Medición de survey (Pruebas de desviaciones)	horas	105.00	15.00	$ 1,575.00
Ensanche de pozo - Rimado	horas	105.00	45.52	$ 4,779.60
				$ 268,579.97

Nota. Cálculos del autor en Microsoft Excel

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valorizado Sondaje 2,000 mts

Figura 12.

Valorizado Sondaje 2,000 mts.

			SONDAJE 2,000 MTS	
Detalle de Venta	**Und**	**PU**	**Cantidad**	**US $**
Perforación				
Perforación en PQ				
0 hasta 100 m	metro	124.23	100.00	$ 12,423.00
100 hasta 200 m	metro	138.73	100.00	$ 13,873.00
200 hasta 300 m	metro	135.23	100.00	$ 13,523.00
300 hasta 400 m	metro	141.23	100.00	$ 14,123.00
2.2 - Perforación en HQ (roca)				
400 hasta 500 m	metro	137.23	100.00	$ 13,723.00
500 hasta 600 m	metro	143.23	100.00	$ 14,323.00
600 hasta 700 m	metro	149.23	100.00	$ 14,923.00
700 hasta 800 m	metro	155.23	100.00	$ 15,523.00
800 hasta 900 m	metro	163.23	100.00	$ 16,323.00
900 hasta 1000 m	metro	169.23	50.00	$ 8,461.50
2.3 - Perforación en NQ (roca)				
900 hasta 1000 m	metro	151.23	50.00	$ 7,561.50
1000 hasta 1100 m	metro	156.23	100.00	$ 15,623.00
1100 hasta 1200 m	metro	161.23	100.00	$ 16,123.00
1200 hasta 1300 m	metro	166.23	100.00	$ 16,623.00
1300 hasta 1400 m	metro	171.23	100.00	$ 17,123.00
1400 hasta 1500 m	metro	176.23	100.00	$ 17,623.00
1500 hasta 1600 m	metro	181.23	100.00	$ 18,123.00
1600 hasta 1700 m	metro	186.23	100.00	$ 18,623.00
1700 hasta 1800 m	metro	191.23	100.00	$ 19,123.00
1800 hasta 1900 m	metro	197.23	100.00	$ 19,723.00
1900 hasta 2000 m	metro	204.23	100.00	$ 20,423.00
Otros Servicios				
Instalación y retiro de casing (PVC y metálico)	horas	105.00	35.58	$ 3,735.90
Acondicionamiento por mal terreno (aplica solo para Exploraciones) (No aplica para OPEX)	horas	105.00	213.00	$ 22,365.00
Medición de survey (Pruebas de desviaciones)	horas	105.00	9.00	$ 945.00
Ensanche de pozo - Rimado	horas	105.00	35.00	$ 3,675.00
				$ 354,630.90

Nota. Cálculos del autor en Microsoft Excel

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Indicador:

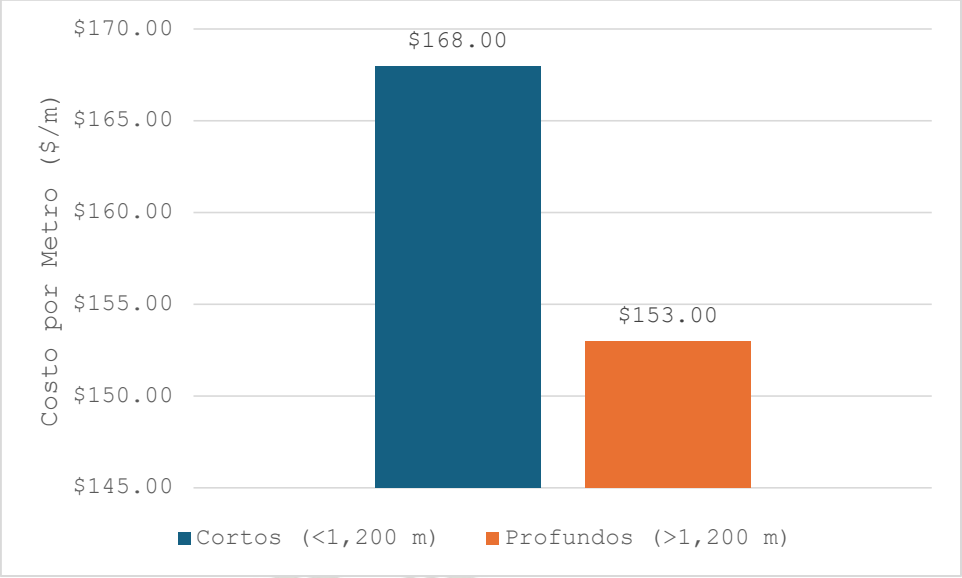
- Costo por metro perforado

Tabla 9.
Costo unitario por metro de sondaje.

CONCEPTOS	Sondaje Corto (1,200m)	Sondaje Largo (2,000m)
Metros perforados	1,200	2,000
VENTA	268,580	354,631
COSTO	201,130	306,865
Costo x Metro	168	153

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 13.
Costo unitario por metro de sondaje.



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La Tabla 8 evidencia que el costo unitario por metro perforado resulta menor en los sondajes largos (2,000 m) con $153/m, frente a los $168/m en los sondajes cortos (1,200 m), lo que representa una diferencia del 9 % a favor de los sondajes largos.

Este resultado se explica porque, al incrementarse el metraje perforado, los costos fijos como equipos de perforación, soporte logístico y mano de obra se distribuyen sobre un mayor número de metros, reduciendo el impacto proporcional de estos rubros. Asimismo, la continuidad operativa en sondajes largos permite aprovechar mejor los recursos sin incurrir en los mismos tiempos improductivos de arranque y cierre que se presentan con mayor frecuencia en los sondajes cortos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En términos de eficiencia económica estrictamente medida por este indicador, los sondajes largos muestran un costo unitario más competitivo; sin embargo, esta ventaja debe analizarse en conjunto con otros indicadores (como margen de rentabilidad y relación ingreso–costo), que permiten establecer si esta eficiencia en costo se traduce efectivamente en mayor rentabilidad relativa para el proyecto.

Indicador:

- Precio por metro perforado ($·m útil).

Tabla 10.

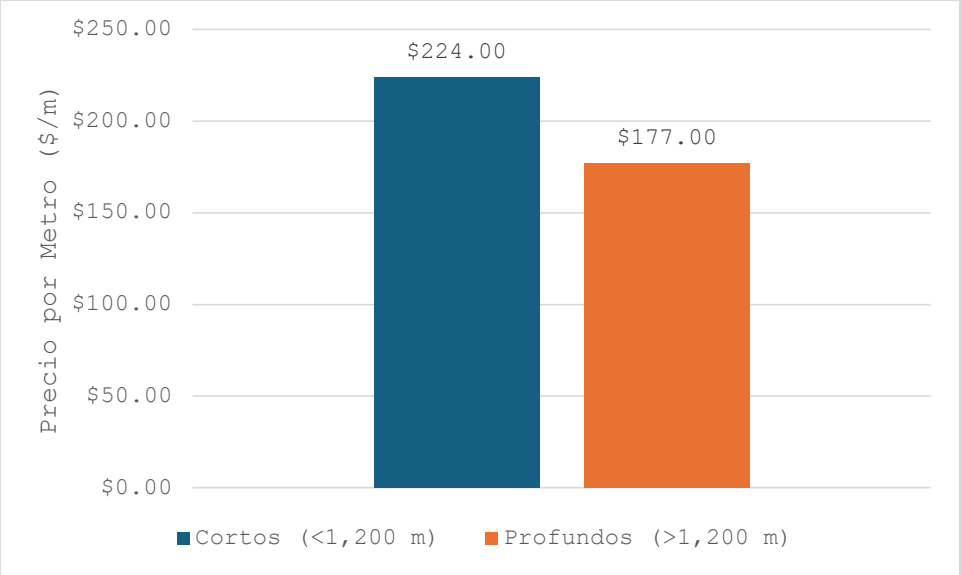
Precio por metro recuperado ($·m útil).

CONCEPTOS	Sondaje Corto (1,200m)	Sondaje Largo (2,000m)
Metros perforados	1,200	2,000
VENTA	268,580	354,631
COSTO	201,130	306,865
Precio x Metro	224	177

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 14.

Costo por metro recuperado ($·m útil).



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

La Tabla 9 muestra que el precio unitario por metro perforado resulta mayor en los sondajes cortos (1,200 m), alcanzando $224/m, en comparación con los sondajes largos (2,000 m), que registran $177/m. Esto significa que, por cada metro perforado, los sondajes cortos generan un 26.6 % más de ingreso unitario que los sondajes largos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Esta diferencia responde a que los sondajes cortos suelen tener mayor valor económico relativo, ya que concentran costos y precios en metrajes menores, lo cual eleva el ingreso unitario. Por el contrario, en los sondajes largos, el precio por metro disminuye debido a que el metraje perforado se amplía, y la valorización se diluye proporcionalmente.

En términos de competitividad económica, este resultado evidencia que los sondajes cortos son más atractivos desde el punto de vista del ingreso unitario, dado que permiten capturar mayor valor por cada metro ejecutado. Sin embargo, esta ventaja debe contrastarse con el costo unitario, ya que la rentabilidad relativa depende de la interacción entre ambos indicadores.

Indicador:

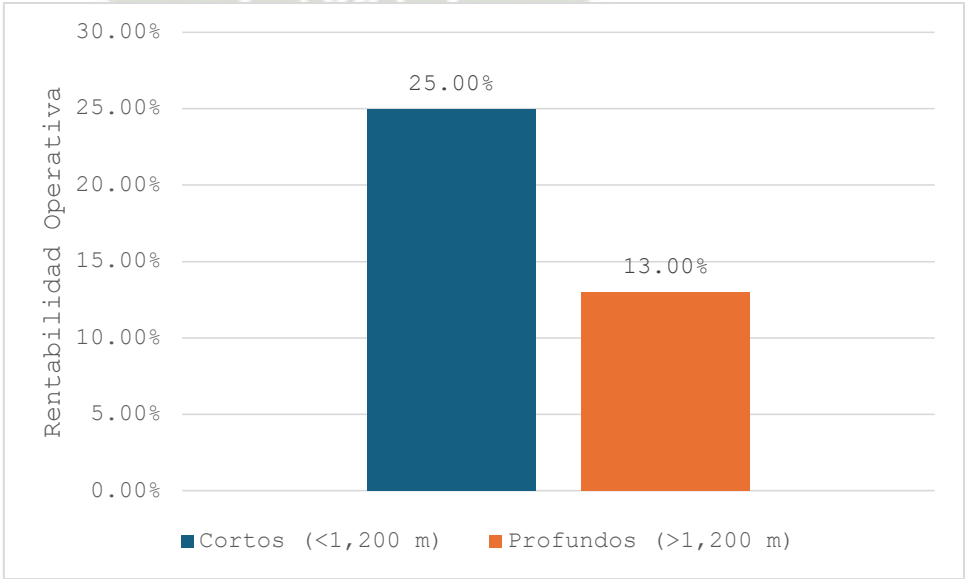
- Utilidad Operativa

Tabla 11.
Índice de Rentabilidad Operativa.

CONCEPTOS	Sondaje Corto (1,200m)	Sondaje Largo (2,000m)
Metros perforados	1,200	2,000
VENTA	268,580	354,631
COSTO	201,130	306,865
Utilidad Operativa (US$)	67,450	47,766
Margen Operativo (%)	25%	13%

Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Figura 15.
Índice de rentabilidad operativa.



Nota. Cálculos del autor en SPSS STATISTICS 25

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La Tabla 10 evidencia que, a pesar de que los sondajes largos (2,000 m) generan una mayor venta absoluta ($354,631) respecto a los sondajes cortos (1,200 m) ($268,580), la utilidad operativa muestra un comportamiento inverso:

- En los sondajes cortos, la utilidad operativa asciende a $67,450, con un margen del 25 % sobre las ventas.
- En los sondajes largos, la utilidad es de $47,766, con un margen del 13 %.

Este resultado refleja que, aunque los sondajes largos avanzan más metros y logran mayores ingresos brutos, el incremento de costos asociados (consumo de tubería, combustible, brocas, mano de obra y tiempos operativos) reduce significativamente su rentabilidad relativa.

En consecuencia, los sondajes cortos resultan más rentables desde la perspectiva de utilidad operativa, ya que maximizan el retorno económico por cada dólar invertido y sostienen un margen que casi duplica al de los sondajes largos.

Conclusión del Objetivo específico 4

La evaluación de los indicadores económicos demuestra que los sondajes cortos (1,200 m) presentan una mayor rentabilidad relativa frente a los sondajes largos (2,000 m). Si bien estos últimos evidencian un menor costo por metro perforado ($153/m vs. $168/m), dicha ventaja operativa se diluye al analizar los ingresos y márgenes generados: los sondajes cortos registran un precio unitario superior ($224/m vs. $177/m) y alcanzan una utilidad operativa significativamente mayor (25 % vs. 13 %).

Este comportamiento se explica porque los sondajes largos, aunque permiten distribuir mejor ciertos costos fijos, incrementan sustancialmente los consumos de insumos críticos (tubería, brocas, combustible y mano de obra), reduciendo su margen de rentabilidad. En contraste, los sondajes cortos concentran menos desgaste de recursos, generan mayor valor por metro perforado y maximizan la utilidad operativa, consolidándose como la opción más eficiente en términos económicos.

Adicionalmente, el Índice de Rentabilidad Operativa corrobora estos resultados, mostrando que los sondajes cortos rinden aproximadamente 31 % más valor económico-operativo por cada sol invertido, validando así su mayor competitividad frente a los sondajes largos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En el marco de la planificación de un proyecto de exploración, estos hallazgos implican que los sondajes cortos deben priorizarse en fases iniciales, ya que optimizan la relación costo–beneficio y reducen riesgos financieros, mientras que los sondajes largos, si bien estratégicos para confirmar continuidad y profundidad del yacimiento, requieren una justificación técnica robusta que compense su menor rentabilidad relativa. En consecuencia, la estrategia óptima radica en combinar un predominio de sondajes cortos para maximizar cobertura y eficiencia económica, con la ejecución selectiva de sondajes largos en targets prioritarios, equilibrando así la rentabilidad y la calidad de la información geológica para la toma de decisiones estratégicas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

1. Respecto al objetivo general, se concluye que el análisis técnico–económico comparativo de la perforación diamantina en un proyecto minero de Ica demostró que los sondajes cortos (<1,200 m) son más eficientes y rentables, alcanzando una velocidad de perforación promedio de 28 m/día, un costo unitario de $168/m y una utilidad operativa de US$ 67,450, equivalente a un margen del 25 %. En contraste, los sondajes profundos (>1,200 m) registraron 22 m/día de avance, un costo unitario de $153/m y una utilidad operativa de US$ 47,766, con un margen del 13 %. Esta diferencia evidencia que los sondajes cortos generan mayor valor económico por metro perforado y optimizan los recursos de la campaña, mientras que los profundos, aunque menos eficientes económicamente, aportan una recuperación de testigo superior (96 % vs. 93 %) que resulta estratégica para la continuidad geológica.

2. Respecto al objetivo específico 1, se concluye que los sondajes cortos mostraron mejores condiciones operativas, con menor desgaste de herramientas, menor tiempo de maniobras y mayor rendimiento diario, mientras que los sondajes profundos exigieron mayor potencia del equipo, mayores volúmenes de agua y lodos, y más horas de operación por cada 100 m (27.2 h vs. 21.0 h en cortos). No obstante, su mayor recuperación de testigo (96 %) asegura núcleos de mejor calidad y continuidad estructural, lo que los hace indispensables en etapas de definición del yacimiento.

3. Respecto al objetivo específico 2, se concluye que el costo unitario de los sondajes cortos fue de $168/m, en contraste con $153/m en los profundos, diferencia atribuida al mayor consumo de combustible (12.0 L/m vs. 9.5 L/m), agua (110 L/m vs. 85 L/m) y aditivos (3.4 L/m vs. 2.6 L/m). Además, los costos indirectos asociados a campamento y soporte administrativo resultaron más elevados en profundos debido a la mayor duración de las campañas. Este resultado confirma que los cortos son más competitivos económicamente, recomendándose su predominio en campañas de amplia cobertura.

4. Respecto al objetivo específico 3, se concluye que los sondajes cortos lograron un 27 % más de velocidad de perforación (28.0 vs. 22.0 m/día), menores tiempos de ejecución (21.0 h/100 m vs. 27.2 h/100 m) y menores consumos específicos de insumos. En cambio, los profundos, aunque menos productivos, alcanzaron una recuperación de testigo superior en 3 puntos porcentuales (96 % vs. 93 %), lo que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

asegura una mejor calidad de la información geológica. Se confirma que los cortos optimizan la eficiencia operativa, mientras que los profundos garantizan mayor confiabilidad de los datos para modelamiento geológico.

5. Respecto al objetivo específico 4, se concluye que la rentabilidad operativa favorece claramente a los sondajes cortos, los cuales alcanzaron una utilidad operativa de $67,450 y un margen del 25 %, frente a $47,766 y 13 % en los sondajes profundos. Si bien el costo por metro perforado fue ligeramente mayor en los cortos ($168/m vs. $153/m), estos generaron un retorno económico más alto por cada dólar invertido, confirmando su mayor eficiencia y rentabilidad operativa. En consecuencia, los sondajes cortos se consolidan como la alternativa más favorable para etapas iniciales de exploración orientadas a la optimización presupuestal, mientras que los sondajes profundos, aunque menos rentables, mantienen su importancia estratégica en la definición de la continuidad geológica y evaluación del potencial del yacimiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

1. Respecto al objetivo general, que consistió en realizar un análisis técnico–económico comparativo de la perforación diamantina en sondajes cortos y profundos en un proyecto de exploración minera en la región Ica, se recomienda que la planificación de futuras campañas adopte un enfoque mixto, priorizando sondajes cortos por su mayor eficiencia y rentabilidad operativa (28 m/día, $168/m, margen del 25 %), y reservando los sondajes profundos para áreas estratégicas, donde su mayor recuperación del testigo (96 %) aporte información geológica de valor para la definición de la continuidad del depósito.

2. Respecto al objetivo específico 1, que fue identificar las características técnicas de la perforación diamantina aplicadas a sondajes cortos y profundos, se recomienda que la selección del tipo de sondaje se base en las condiciones geológicas y operativas, priorizando cortos en terrenos menos competentes o de exploración inicial, y profundos en zonas estructurales clave donde la continuidad geológica requiera mayor recuperación de núcleo, aun con mayores tiempos (27.2 h/100 m) y consumo de recursos.

3. Respecto al objetivo específico 2, que fue determinar los costos directos e indirectos asociados a la ejecución de sondajes cortos y profundos mediante perforación diamantina, se recomienda que las empresas mineras implementen un control detallado y sistemático de los costos unitarios y consumos operativos (combustible, agua y aditivos), de modo que la selección del tipo de sondaje se base en criterios de eficiencia económica comprobada. Los resultados obtenidos evidencian que los sondajes cortos, pese a presentar un costo unitario ligeramente superior ($168/m vs. $153/m), son más eficientes y rentables operativamente, por lo que deben priorizarse en campañas de amplia cobertura, reservando los sondajes profundos para zonas donde el valor geológico de la información justifique su mayor inversión.

4. Respecto al objetivo específico 3, que fue comparar el rendimiento operativo de los sondajes cortos y profundos en términos de velocidad de perforación, recuperación de testigo, consumo de insumos y tiempos de ejecución, se recomienda que se utilicen sondajes cortos en las fases de exploración inicial por su mayor velocidad de avance (+27 %), menor consumo de insumos y menor tiempo total por 100 m (21.0 h vs. 27.2 h), y se reserve la perforación profunda para etapas avanzadas, donde la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

recuperación superior del testigo (96 % vs. 93 %) justifique el incremento de costos y tiempos operativos.

5. Respecto al objetivo específico 4, que fue evaluar la rentabilidad relativa entre ambos tipos de sondaje considerando sus implicancias en la planificación y toma de decisiones del proyecto de exploración, se recomienda que la empresa adopte un criterio de optimización de rentabilidad operativa, priorizando la ejecución de sondajes cortos, los cuales demostraron una utilidad operativa superior ($67,450 vs. $47,766) y un margen del 25 % frente al 13 % en los sondajes profundos. Estos resultados evidencian que los sondajes cortos generan un mayor retorno económico por cada dólar invertido, por lo que deben concentrar la mayor proporción de los metros planificados, mientras que los sondajes profundos deben ejecutarse únicamente en targets estratégicos, garantizando un equilibrio entre eficiencia económica y calidad geológica de la información.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alvarez, A. U. (2020). Optimización de costos de perforación diamantina mediante las brocas Hayden en la Contrata Minera Explomin del Perú S.A. - Unidad Minera San Rafael—Puno. Universidad Nacional del Altiplano. http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3279738

Anchapuri, L. A. (2021). Evaluación y optimización de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la ejecución de la Galería 819E - Mina Yanaquihua—Arequipa. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_bc7e359e02a6d836bcebbe8bf0653b5f/Details

Anvari, K., Mousavi, A., Sayadi, A. R., Sellers, E., & Salmi, E. F. (2022). Automatic detection of rock boundaries using a hybrid recurrence quantification analysis and machine learning techniques. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81(10), 398. https://doi.org/10.1007/s10064-022-02898-3

Arapa, F. L., & Quispe, Y. G. (2023). Exploración geológica mediante perforaciones diamantina para la ampliación de reservas en la concesión minera Santa Filomena Sancos – Ayacucho, 2021. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7827

Asadzadeh, S., Chabrillat, S., Cudahy, T., Rashidi, B., & de Souza Filho, C. R. (2024). Alteration Mineral Mapping of the Shadan Porphyry Cu-Au Deposit (Iran) Using Airborne Imaging Spectroscopic Data: Implications for Exploration Drilling. Economic Geology, 119(1), 139-160. https://doi.org/10.5382/econgeo.5041

Bulearca, M., Neagu, C., Fistung, D., & Sima, C. (2024). Econometric Models for Optimum Exploration in Mining Industry. IBIMA Publishing. https://ibimapublishing.com/p-articles/44ECO/2024/4437124-2/

Cao, X., Kozhevnykov, A., Dreus, A., & Liu, B.-C. (2020). Diamond core drilling process using intermittent flushing mode. Arabian Journal of Geosciences, 12(4), 137. https://doi.org/10.1007/s12517-019-4287-2

Cherry, M. M., Pastusek, P. E., Payette, G. S., Bijai, R. R., Gjertsen, O. J., Durairajan, B., Gan, X., & LeBaron, A. M. (2025). Comparing Polycrystalline Diamond Compact Cutter Stress to its Structural Integrity when Drilling Interbedded Formations. https://dx.doi.org/10.2118/223718-MS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Condori, A. R., & Satalaya, R. (2022). Propuesta de optimizar la exploración utilizando perforación diamantina en la contrata minera MDH PD SAC – Unidad minera Cerro de Pasco, 2022. Repositorio Institucional - UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/134150

ContinentalGold. (2018). Continental Gold Drills High-Grade Gold Over 1,200 Vertical Metres at Veta Sur and Confirms the Laurel System as a Major Discovery at Buriticá, Colombia – Continental Gold. https://www.continentalgold.com/continental-gold-drills-high-grade-gold-over-1200-vertical-metres-at-veta-sur-and-confirms-the-laurel-system-as-a-major-discovery-at-buritica-colombia/

Coring. (2024). Top mineral exploration drilling contractors for 2023—Statistics of diamond drilling meters. Coring Magazine. https://coringmagazine.com/article/top-mineral-exploration-drilling-contractors-2023-statistics-diamond-drilling-meters/

Darwesh, A. K., Rasmussen, T. M., & Al-Ansari, N. (2020). Controllable drilling parameter optimization for roller cone and polycrystalline diamond bits. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 10(4), 1657-1674. https://doi.org/10.1007/s13202-019-00823-1

Diaz, M. A. (2023). Análisis y propuesta para la reducción de la desviación de los taladros de sondaje en el proceso de perforación diamantina en un yacimiento cuprífero al sur del Perú. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12823

Falmagne, V., St-Onge, N., Hadjigeorgiou, J., & Hudyma, M. (2019). Ground support challenges in arctic mining conditions (pp. 139-154). Ground Support 2019: Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, 2019 23-25 October 2019, Sudbury. Australian Centre for Geomechanics. https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1925_08_Falmagne

Fossum, K., Alyaev, S., Tveranger, J., & Elsheikh, A. (2021). Deep learning for prediction of complex geology ahead of drilling (Vol. 12743, pp. 466-479). https://doi.org/10.1007/978-3-030-77964-1_36

Geng, D., Zhang, D., Xu, Y., He, F., & Liu, F. (2014). Comparison of drill wear mechanism between rotary ultrasonic elliptical machining and conventional drilling of CFRP. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(9), 797-809. https://doi.org/10.1177/0731684413518619

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GeoDrilling Internacional. (2020, junio 1). Record depths in South Africa. https://www.geodrillinginternational.com/core-sampling/news/1387963/record-depths-south-africa

Han, J., Song, H., & Peng, T. (2022). Development and application of high-power advanced exploration drilling rig for coal mining TBM. Vibroengineering Procedia, 40, 126-131. https://doi.org/10.21595/vp.2022.22372

Hugenschmidt, C. (2011). The status of the positron beam facility at NEPOMUC. Journal of Physics: Conference Series, 262(1), 012002. https://doi.org/10.1088/1742-6596/262/1/012002

Ihnatov, A., Pashchenko, O., Koroviaka, Y., Semekhin, Y., Logvinenko, O., & Askerov, I. (2021). Some explanations of the impact mechanism on rocks when drilling wells. Collection of Research Papers of the National Mining University, 66, 177-192. https://doi.org/10.33271/crpnmu/66.177

JORC. (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. https://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf

Kidder, J. A., Reid, N., Noble, R. R. P., Leybourne, M. I., Buskard, J., Bowell, R. J., Stoltze, A., & Garrett, R. G. (2025). A review of hydrogeochemical techniques for mineral exploration: History, present and future. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 0(ja), geochem2024-065. https://doi.org/10.1144/geochem2024-065

Korotaev, Д. H., & Ivanova, E. B. (2022). Mejora de la tecnología de aleación eléctrica por chispa de piezas de acero de plataformas de perforación y equipos de minería. 0(1), Article 1. https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-88-97

MDH. (2024, diciembre 3). Beneficios de la Perforación Diamantina en Minería Subterránea. MDH. https://mdh.com.pe/beneficios-de-la-perforacion-diamantina-en-mineria-subterranea/

Medvedev, V., Portnov, V., Imanbayeva, S., Togaibayeva, L., Koshmaganbetova, Z. B., & Tokusheva, Z. (2024). Identification of Fracture Systems Based on Drilling Data and Existing Underground Mining Work During Engineering-Geological Surveys. 2024 IEEE 6th International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI), 19-22. https://doi.org/10.1109/LINDI63813.2024.10820390

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Melnikov, A. П., & Buglov, H. A. (2024). Sistema de brocas hidráulicas para perforación de petróleo y gas. iPolytech Journal, 28(3), Article 3. https://doi.org/10.21285/1814-3520-2024-3-427-434

Mendez, R. (2024, febrero 23). Perforación Diamantina en el Perú. MDH. https://mdh.com.pe/perforacion-diamantina-en-el-peru/

Mezzetti, M., Radajewski, M., Reich, M., & Krüger, L. (2016). FAST Materials for Rock Destruction Applications. Nanoscience and Nanotechnology. https://www.semanticscholar.org/paper/FAST-Materials-for-Rock-Destruction-Applications-Mezzetti-Radajewski/22e5ca72e1ad60eb67eac27ef1e7c1601348178a

NOVO. (2024). SIGNIFICANT RESULTS FROM DIAMOND DRILLING AT BELLTOPPER, VICTORIA. https://novoresources.com/wp-content/uploads/2024/06/20240604-Belltopper-Drilling-Results-Final.pdf

Pashchenko, O., Koroviaka, Y., Khomenko, V., & Davydenko, O. (2024). Mathematical model of drilling mud filtration in a porous medium taking into account dynamic changes in parameters. Collection of Research Papers of the National Mining University, 79, 249-261. https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.249

Quivio, E. V. (2022). Abancay, Perú 2022 Optimización de los parámetros de perforación con el sistema diamantina para el control de la desviación de la trayectoria del taladro, en la unidad operativa Yauricocha, CIA. sierra Metals Inc, Yauyos – Lima, 2020.

Rahmat, S. B., Wahyu, A., Saleh, L. M., Thamrin, Y., Russeng, S. S., & Palutturi, S. (2024). Analysis of the Effect of Coal and Mineral Mining Safety Management System (SMKP Minerba) Implementation on the Mineral Exploration Drilling Company's Safety Mining Performance at PT. Revista de Gestão Social e Ambiental, 18(5), e07529-e07529. https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n5-164

Rodríguez, R., Fernández, V., Bascompta, M., & Garcia-Gonzalez, H. (2023). Directional Core Drilling as an Approach to Reduce Uncertainty in Tunneling Construction. Applied Sciences, 13(19), Article 19. https://doi.org/10.3390/app131910998

Sanabria, L. K. M., Guerrero, M. J., & Quintero, L. (2018). Análisis jurisprudencial del derecho ambiental de la técnica fracking. https://www.semanticscholar.org/paper/An%C3%A1lisis-jurisprudencial-del-derecho-ambiental-de-Sanabria-Guerrero/ea29baf2ce19a05ab3206d53d43fed33606d86e3

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Serrano, U. M., & Quispe, L. E. T. (2023). La participación de los pueblos indígenas en las políticas públicas de las escuelas rurales en el Perú y los desafíos de la Educación Intercultural Bilingüe en el contexto actual. Revista Iberoamericana de Educación, 91(1), Article 1. https://doi.org/10.35362/rie9115411

Soto, C. S. (2022). Medición de sondajes diamantinos para la evaluación de trayectoria de pozos de exploración geológica – Unidad Minera EL PORVENIR - NEXA. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3073/1/T026_47135300_T.pdf

Suárez, S. Y. R. (2024). Un llamado a la remediación de la historia del Perú: Pasivos ambientales mineros. Justicia Ambiental. Revista del Poder Judicial del Perú especializada en la Protección del Ambiente, 4(6), Article 6. https://doi.org/10.35292/justiciaambiental.v4i6.886

Sujitno, T., Mulyani, E., Suprapto, Andriyanti, W., Suharlan, D., & Malau, V. (2019). Effect of Diamond-Like Carbon Thin Film on the Fatigue Strength of AISI 4340 Steel. Advances in Materials, 8(1), Article 1. https://doi.org/10.11648/j.am.20190801.13

Sun, B., Bóna, A., King, A., & Zhou, B. (2015). A comparison of coherency measurement using semblance and multiple signal classification, from a seismic-while-drilling perspective. GEOPHYSICS, 80(3), KS27-KS39. https://doi.org/10.1190/geo2014-0079.1

Tian, J., Fan ,Changyue, Zhang ,Tangjia, & and Zhou, Y. (2022). Rock breaking mechanism in percussive drilling with the effect of high frequency torsional vibration. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 44(1), 2520-2534. https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1650138

Vučković, B. (2024). 88 years of geological exploration of lignite in the Kolubara coal basin, Serbia: Years of exploration drilling (since 1936. up to 2024. year). Rudarski glasnik, 121(1-2), 111-127. https://doi.org/10.5937/RG2402111V

Wang, S., Tang, M., He, S., & Ye, H. (2024). Inclination Build Rate of a Point-The-Bit Rotary-Steerable Tool. Journal of Physics: Conference Series, 2694(1), 012054. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2694/1/012054

Wu, Z., Niu, Q., Li, W., Lin, N. H., & Liu, S. (2018). Ground stability evaluation of a coal-mining area: A case study of Yingshouyingzi mining area, China. Journal of Geophysics and Engineering, 15(5), 2252-2265. https://doi.org/10.1088/1742-2140/aac991

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Xiao, L., Li, M., Feng, Y., Wang, M., Zhu, Z., & Chen, Z. (2024). Exploration of Attention Mechanism-Enhanced Deep Learning Models in the Mining of Medical Textual Data. 2024 IEEE 2nd International Conference on Sensors, Electronics and Computer Engineering (ICSECE), 1251-1258. https://doi.org/10.1109/ICSECE61636.2024.10729303

You, L., Kang, Y., Li, X., & Zhou, G. (2013, junio 5). Mitigating Borehole Instability and Formation Damage with Temporary Shielding Drilling Fluids in Low Permeability Fractured Reservoirs. SPE European Formation Damage Conference & Exhibition. https://doi.org/10.2118/165133-MS

Zagré, G. E., Gamache ,M., Labib ,R., & and Shlenchak, V. (2024). Machine learning algorithms for real-time coal recognition using monitor-while-drilling data. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 38(1), 27-52. https://doi.org/10.1080/17480930.2023.2243783

Zhou, Z. (2024). Numerical Simulation of Rock Breaking by Diamond Particles Under Ultra Deep Drilling Conditions. Academic Journal of Science and Technology, 10(1), Article 1. https://doi.org/10.54097/9nze7p91

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO 1

CRONOGRAMA DE PERFORACIÓN DE SONDAJE

Cronograma de Perforación de Sondajes

Sondaje	Profundidad Final (m)	Avance Promedio (m/día)
SC-01	1200.00	28
SC-02	1150.00	27
SC-03	1100.00	26.5
SC-04	1200.00	26.3
SC-05	1250.00	27.8
SC-06	1200.00	28.1
SC-07	1200.00	28.3
SC-08	1150.00	27.7
SC-09	1100.00	16.9
SC-10	1150.00	28.7
SC-11	1200.00	28.1
SC-12	1200.00	28.3
SP-01	1900.00	22.1
SP-02	2000.00	22.3
SP-03	2000.00	22.1
SP-04	2050.00	21.5
SP-05	2100.00	21.3
SP-06	2000.00	22.3
SP-07	2000.00	22.3
SP-08	2000.00	22.1

NOTA: Cronograma técnico de perforación – Elaboración propia

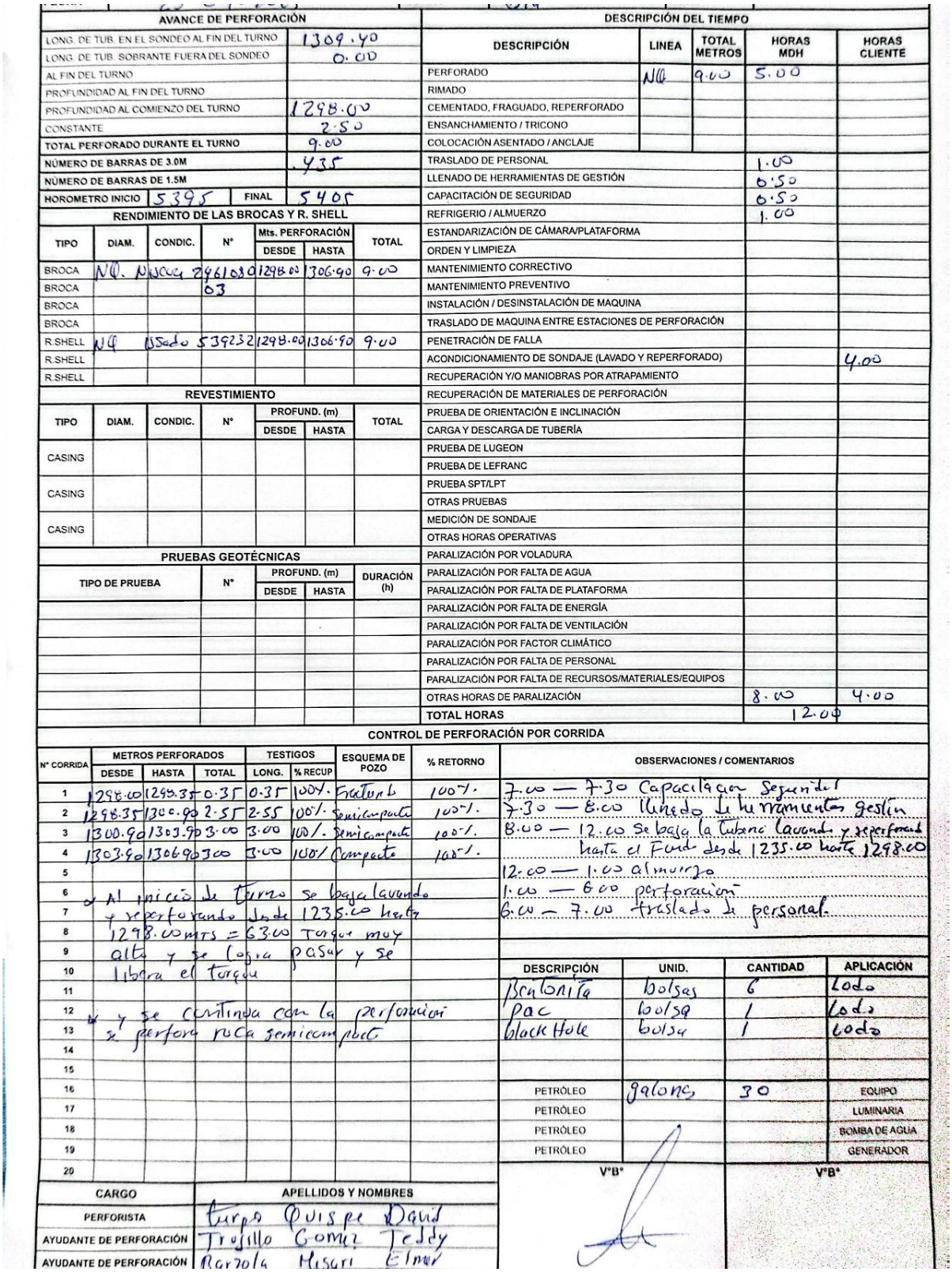
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO 2.

REPORTES DIARIO DE PERFORACIÓN DIAMANTINA – SONDEO 1



AVANCE DE PERFORACIÓN

LONG. DE TUB. EN EL SONDEO AL FIN DEL TURNO	1309.40
LONG. DE TUB. SOBRANTE FUERA DEL SONDEO	0.00
AL FIN DEL TURNO	
PROFUNDIDAD AL FIN DEL TURNO	
PROFUNDIDAD AL COMIENZO DEL TURNO	1298.00
CONSTANTE	2.50
TOTAL PERFORADO DURANTE EL TURNO	9.00
NÚMERO DE BARRAS DE 3.0M	435
NÚMERO DE BARRAS DE 1.5M	
HOROMETRO INICIO 5395 FINAL	5405

RENDIMIENTO DE LAS BROCAS Y R. SHELL

TIPO	DIAM.	CONDIC.	N°	Mts. PERFORACIÓN DESDE	Mts. PERFORACIÓN HASTA	TOTAL
BROCA	NQ.	Nuevo	29610303	1298.00	1306.90	9.00
BROCA						
BROCA						
BROCA						
R.SHELL	NQ	Usado	539232	1298.00	1306.90	9.00
R.SHELL						
R.SHELL						

REVESTIMIENTO

TIPO	DIAM.	CONDIC.	N°	PROFUND. (m) DESDE	PROFUND. (m) HASTA	TOTAL
CASING						
CASING						
CASING						

PRUEBAS GEOTÉCNICAS

TIPO DE PRUEBA	N°	PROFUND. (m) DESDE	PROFUND. (m) HASTA	DURACIÓN (h)

DESCRIPCIÓN DEL TIEMPO

DESCRIPCIÓN	LINEA	TOTAL METROS	HORAS MDH	HORAS CLIENTE
PERFORADO	NQ	9.00	5.00	
RIMADO				
CEMENTADO, FRAGUADO, REPERFORADO				
ENSANCHAMIENTO / TRICONO				
COLOCACIÓN ASENTADO / ANCLAJE				
TRASLADO DE PERSONAL			1.00	
LLENADO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN			0.50	
CAPACITACIÓN DE SEGURIDAD			0.50	
REFRIGERIO / ALMUERZO			1.00	
ESTANDARIZACIÓN DE CÁMARA/PLATAFORMA				
ORDEN Y LIMPIEZA				
MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
INSTALACIÓN / DESINSTALACIÓN DE MAQUINA				
TRASLADO DE MAQUINA ENTRE ESTACIONES DE PERFORACIÓN				
PENETRACIÓN DE FALLA				
ACONDICIONAMIENTO DE SONDAJE (LAVADO Y REPERFORADO)				4.00
RECUPERACIÓN Y/O MANIOBRAS POR ATRAPAMIENTO				
RECUPERACIÓN DE MATERIALES DE PERFORACIÓN				
PRUEBA DE ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN				
CARGA Y DESCARGA DE TUBERÍA				
PRUEBA DE LUGEON				
PRUEBA DE LEFRANC				
PRUEBA SPT/LPT				
OTRAS PRUEBAS				
MEDICIÓN DE SONDAJE				
OTRAS HORAS OPERATIVAS				
PARALIZACIÓN POR VOLADURA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE AGUA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE PLATAFORMA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE ENERGÍA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE VENTILACIÓN				
PARALIZACIÓN POR FACTOR CLIMÁTICO				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE PERSONAL				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE RECURSOS/MATERIALES/EQUIPOS				
OTRAS HORAS DE PARALIZACIÓN			8.00	4.00
TOTAL HORAS			12.00	

CONTROL DE PERFORACIÓN POR CORRIDA

N° CORRIDA	METROS PERFORADOS DESDE	METROS PERFORADOS HASTA	METROS PERFORADOS TOTAL	TESTIGOS LONG.	TESTIGOS % RECUP	ESQUEMA DE POZO	% RETORNO
1	1298.00	1298.35	0.35	0.35	100%	Fracturado	100%
2	1298.35	1300.90	2.55	2.55	100%	Semicompacto	100%
3	1300.90	1303.90	3.00	3.00	100%	Semicompacto	100%
4	1303.90	1306.90	3.00	3.00	100%	Compacto	100%
5							
6	* Al inicio de turno se baja lavando						
7	y reperforando desde 1235.00 hasta						
8	1298.00 MTS = 6.30 Torque muy						
9	alto y se logra pasar y se						
10	libera el torque						
11							
12	* y se continua con la perforacion						
13	se perfora roca semicompacto						
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

OBSERVACIONES / COMENTARIOS

7.00 — 7.30 Capacitacion Seguridad
7.30 — 8.00 llenado de herramientas gestion
8.00 — 12.00 Se baja la tuberia lavando y reperforando hasta el Fondo desde 1235.00 hasta 1298.00
12.00 — 1.00 almuerzo
1.00 — 6.00 perforacion
6.00 — 7.00 traslado de personal.

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	APLICACIÓN
Bentonita	bolsas	6	Lodo
Pac	bolsa	1	Lodo
Black Hole	bolsa	1	Lodo
PETRÓLEO	galones	30	EQUIPO
PETRÓLEO			LUMINARIA
PETRÓLEO			BOMBA DE AGUA
PETRÓLEO			GENERADOR

CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES
PERFORISTA	Turpo Quispe David
AYUDANTE DE PERFORACIÓN	Trujillo Gomez Teddy
AYUDANTE DE PERFORACIÓN	Ramzola Husari Elmer

V°B° V°B°

NOTA: Documento técnico de perforación – Propio

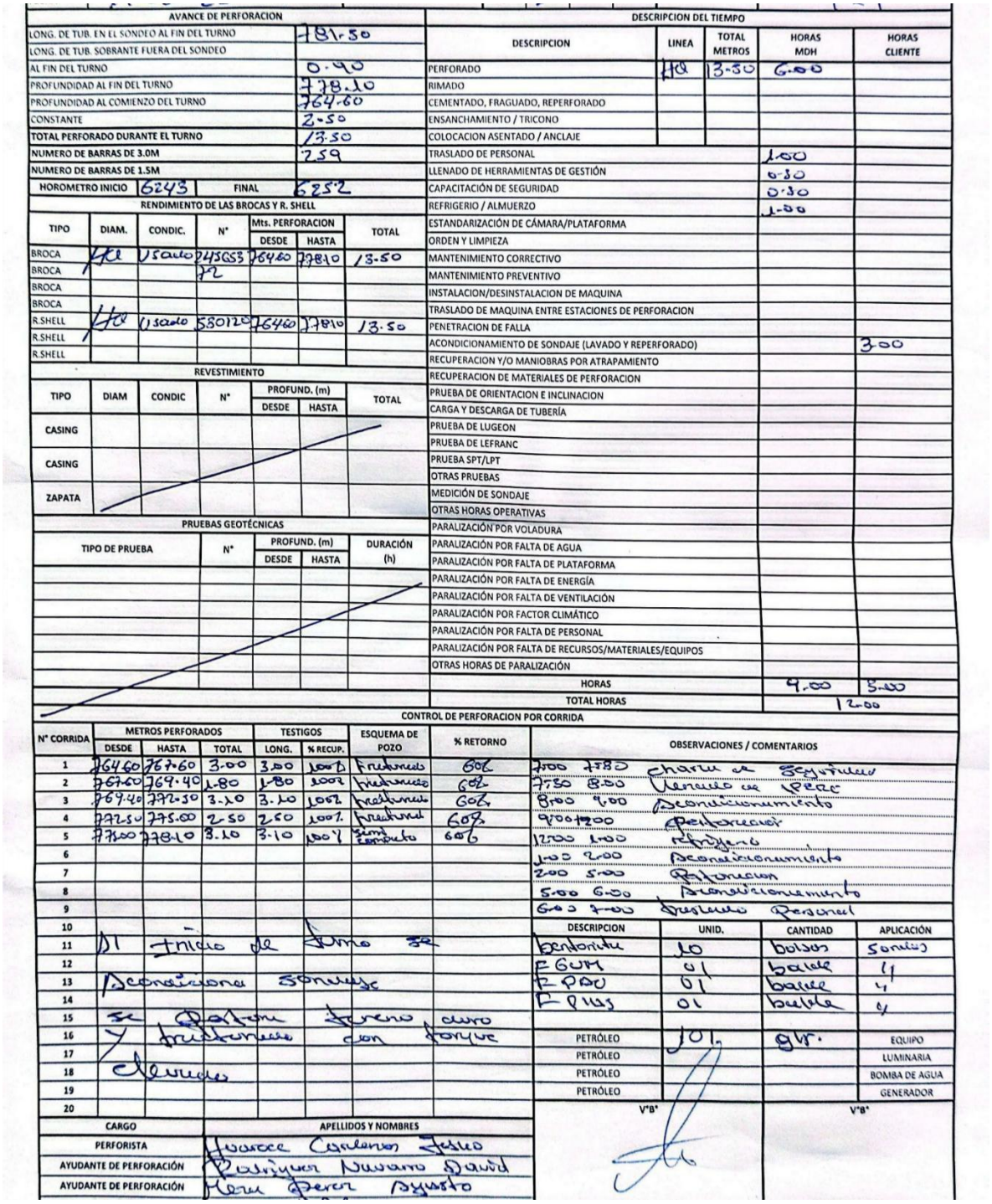
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO 3.

REPORTES DIARIO DE PERFORACIÓN DIAMANTINA – SONDEO 2



AVANCE DE PERFORACION

LONG. DE TUB. EN EL SONDEO AL FIN DEL TURNO	781.50
LONG. DE TUB. SOBRANTE FUERA DEL SONDEO	
AL FIN DEL TURNO	0.90
PROFUNDIDAD AL FIN DEL TURNO	778.10
PROFUNDIDAD AL COMIENZO DEL TURNO	764.60
CONSTANTE	2.50
TOTAL PERFORADO DURANTE EL TURNO	13.50
NUMERO DE BARRAS DE 3.0M	259
NUMERO DE BARRAS DE 1.5M	
HOROMETRO INICIO 6243 FINAL	6252

RENDIMIENTO DE LAS BROCAS Y R. SHELL

TIPO	DIAM.	CONDIC.	N°	Mts. PERFORACION DESDE	HASTA	TOTAL
BROCA	HQ	Usado	245653	764.60	778.10	13.50
BROCA			72			
BROCA						
BROCA						
R.SHELL	HQ	Usado	550120	764.60	778.10	13.50
R.SHELL						
R.SHELL						

REVESTIMIENTO

TIPO	DIAM	CONDIC	N°	PROFUND. (m) DESDE	HASTA	TOTAL
CASING						
CASING						
ZAPATA						

PRUEBAS GEOTÉCNICAS

TIPO DE PRUEBA	N°	PROFUND. (m) DESDE	HASTA	DURACIÓN (h)

DESCRIPCION DEL TIEMPO

DESCRIPCION	LINEA	TOTAL METROS	HORAS MDH	HORAS CLIENTE
PERFORADO	HQ	13.50	6.00	
RIMADO				
CEMENTADO, FRAGUADO, REPERFORADO				
ENSANCHAMIENTO / TRICONO				
COLOCACION ASENTADO / ANCLAJE				
TRASLADO DE PERSONAL			1.00	
LLENADO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN			0.30	
CAPACITACIÓN DE SEGURIDAD			0.30	
REFRIGERIO / ALMUERZO			1.00	
ESTANDARIZACIÓN DE CÁMARA/PLATAFORMA				
ORDEN Y LIMPIEZA				
MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
INSTALACION/DESINSTALACION DE MAQUINA				
TRASLADO DE MAQUINA ENTRE ESTACIONES DE PERFORACION				
PENETRACION DE FALLA				
ACONDICIONAMIENTO DE SONDAJE (LAVADO Y REPERFORADO)				3.00
RECUPERACION Y/O MANIOBRAS POR ATRAPAMIENTO				
RECUPERACION DE MATERIALES DE PERFORACION				
PRUEBA DE ORIENTACION E INCLINACION				
CARGA Y DESCARGA DE TUBERÍA				
PRUEBA DE LUGEON				
PRUEBA DE LEFRANC				
PRUEBA SPT/LPT				
OTRAS PRUEBAS				
MEDICIÓN DE SONDAJE				
OTRAS HORAS OPERATIVAS				
PARALIZACIÓN POR VOLADURA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE AGUA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE PLATAFORMA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE ENERGÍA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE VENTILACIÓN				
PARALIZACIÓN POR FACTOR CLIMÁTICO				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE PERSONAL				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE RECURSOS/MATERIALES/EQUIPOS				
OTRAS HORAS DE PARALIZACIÓN				
HORAS			9.00	3.00
TOTAL HORAS			12.00	

CONTROL DE PERFORACION POR CORRIDA

N° CORRIDA	METROS PERFORADOS DESDE	HASTA	TOTAL	TESTIGOS LONG.	% RECUP.	ESQUEMA DE POZO	% RETORNO
1	764.60	767.60	3.00	3.00	100%	fracturas	60%
2	767.60	769.40	1.80	1.80	100%	fracturas	60%
3	769.40	772.50	3.10	3.10	100%	fracturas	60%
4	772.50	775.00	2.50	2.50	100%	fracturas	60%
5	775.00	778.10	3.10	3.10	100%	sin retorno	60%
6							
7							
8							
9							
10							
11	01	Inicio de turno 32					
12							
13	Acondicionar	Sondaje					
14							
15	32	Retiro	Terreno				curso
16	y	fracturas	con				torque
17							
18	Mercedes						
19							
20							

OBSERVACIONES / COMENTARIOS

7:00 7:30	Charla de Seguridad
7:30 8:00	Llenado de Perc
8:00 9:00	Acondicionamiento
9:00 12:00	Perforacion
12:00 1:00	Refrigerio
1:00 2:00	Acondicionamiento
2:00 5:00	Perforacion
5:00 6:00	Acondicionamiento
6:00 7:00	Registro Personal

DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	APLICACIÓN
bentonita	10	bolsas	Sondeo
F GUM	01	balde	1/
F PAC	01	balde	1/
F PHPA	01	balde	1/
PETRÓLEO	10	gl.	EQUIPO
PETRÓLEO			LUMINARIA
PETRÓLEO			BOMBA DE AGUA
PETRÓLEO			GENERADOR

V°B° V°B°

CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES
PERFORISTA	Huaroc Cardenas Jesus
AYUDANTE DE PERFORACIÓN	Rodriguez Navarro David
AYUDANTE DE PERFORACIÓN	Mena Perez Agusto

NOTA: Documento técnico de perforación – Propio

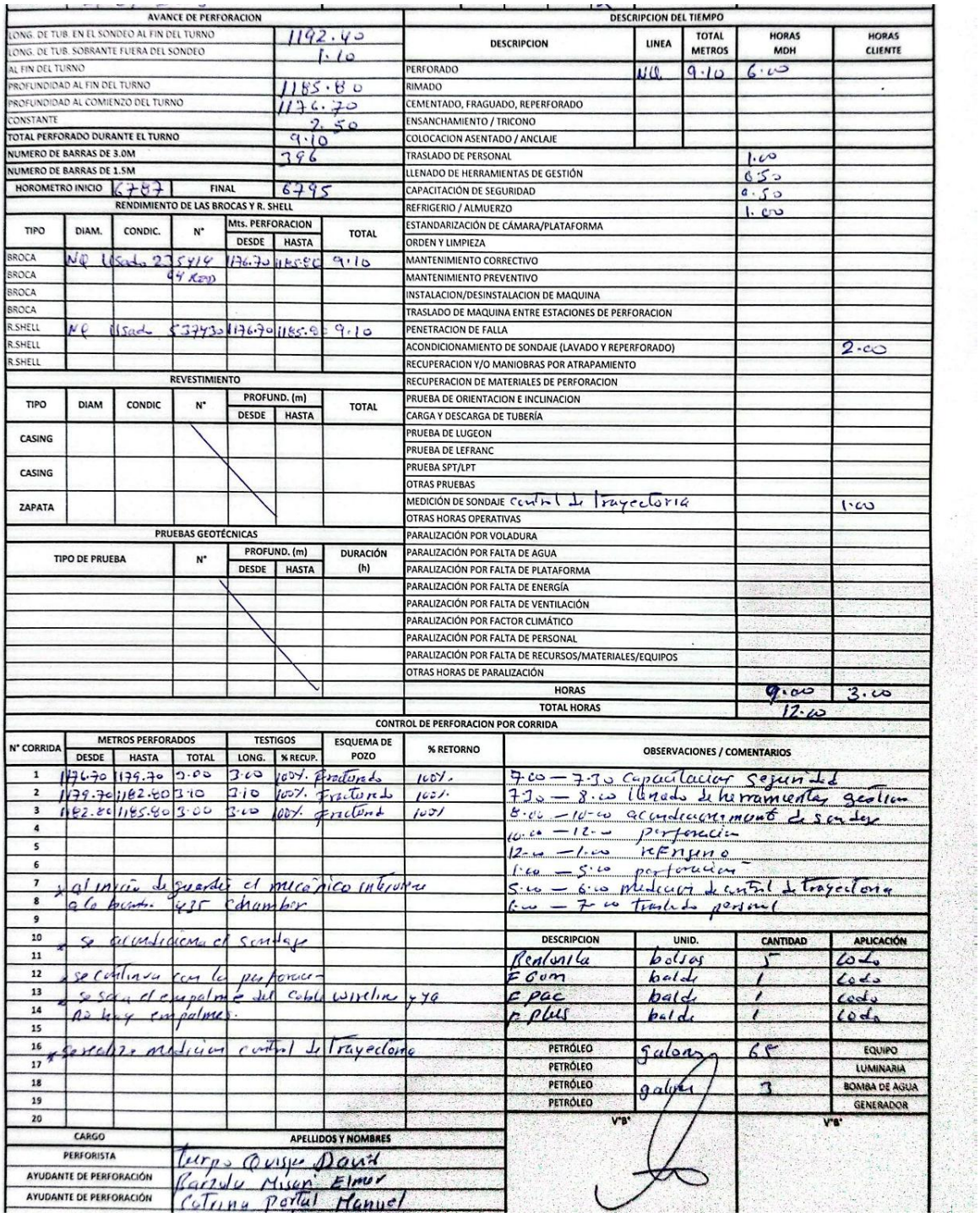
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO 4.

REPORTES DIARIO DE PERFORACIÓN DIAMANTINA – SONDEO 3



AVANCE DE PERFORACION

LONG. DE TUB. EN EL SONDEO AL FIN DEL TURNO	1192.40
LONG. DE TUB. SOBRANTE FUERA DEL SONDEO	1.10
AL FIN DEL TURNO	
PROFUNDIDAD AL FIN DEL TURNO	1185.80
PROFUNDIDAD AL COMIENZO DEL TURNO	1176.70
CONSTANTE	2.50
TOTAL PERFORADO DURANTE EL TURNO	9.10
NUMERO DE BARRAS DE 3.0M	396
NUMERO DE BARRAS DE 1.5M	
HOROMETRO INICIO 6787	FINAL 6795

RENDIMIENTO DE LAS BROCAS Y R. SHELL

TIPO	DIAM.	CONDIC.	N°	Mts. PERFORACION DESDE	Mts. PERFORACION HASTA	TOTAL
BROCA	NQ	Usado	235414	1176.70	1185.80	9.10
BROCA			64 Kerf			
BROCA						
BROCA						
R.SHELL	NQ	Usado	537432	1176.70	1185.80	9.10
R.SHELL						
R.SHELL						

REVESTIMIENTO

TIPO	DIAM	CONDIC	N°	PROFUND. (m) DESDE	PROFUND. (m) HASTA	TOTAL
CASING						
CASING						
ZAPATA						

PRUEBAS GEOTÉCNICAS

TIPO DE PRUEBA	N°	PROFUND. (m) DESDE	PROFUND. (m) HASTA	DURACIÓN (h)

DESCRIPCION DEL TIEMPO

DESCRIPCION	LINEA	TOTAL METROS	HORAS MDH	HORAS CLIENTE
PERFORADO	NQ	9.10	6.00	
RIMADO				
CEMENTADO, FRAGUADO, REPERFORADO				
ENSANCHAMIENTO / TRICONO				
COLOCACION ASENTADO / ANCLAJE				
TRASLADO DE PERSONAL			1.00	
LLENADO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN			0.50	
CAPACITACIÓN DE SEGURIDAD			0.50	
REFRIGERIO / ALMUERZO			1.00	
ESTANDARIZACIÓN DE CÁMARA/PLATAFORMA				
ORDEN Y LIMPIEZA				
MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
INSTALACION/DESINSTALACION DE MAQUINA				
TRASLADO DE MAQUINA ENTRE ESTACIONES DE PERFORACION				
PENETRACION DE FALLA				
ACONDICIONAMIENTO DE SONDAJE (LAVADO Y REPERFORADO)				2.00
RECUPERACION Y/O MANIOBRAS POR ATRAPAMIENTO				
RECUPERACION DE MATERIALES DE PERFORACION				
PRUEBA DE ORIENTACION E INCLINACION				
CARGA Y DESCARGA DE TUBERÍA				
PRUEBA DE LUGEON				
PRUEBA DE LEFRANC				
PRUEBA SPT/LPT				
OTRAS PRUEBAS				
MEDICIÓN DE SONDAJE control de trayectoria				1.00
OTRAS HORAS OPERATIVAS				
PARALIZACIÓN POR VOLADURA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE AGUA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE PLATAFORMA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE ENERGÍA				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE VENTILACIÓN				
PARALIZACIÓN POR FACTOR CLIMÁTICO				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE PERSONAL				
PARALIZACIÓN POR FALTA DE RECURSOS/MATERIALES/EQUIPOS				
OTRAS HORAS DE PARALIZACIÓN				
HORAS			9.00	3.00
TOTAL HORAS			12.00	

CONTROL DE PERFORACION POR CORRIDA

N° CORRIDA	METROS PERFORADOS DESDE	METROS PERFORADOS HASTA	METROS PERFORADOS TOTAL	TESTIGOS LONG.	TESTIGOS % RECUP.	ESQUEMA DE POZO	% RETORNO
1	1176.70	1179.70	3.00	3.00	100%. Fracturado		100%.
2	1179.70	1182.80	3.10	3.10	100%. Fracturado		100%
3	1182.80	1185.80	3.00	3.00	100%. fracturad		100%
4							
5							
6							
7	* al inicio de guardia el mecánico interviene						
8	a la broca. 4.35 chamber						
9							
10	* se acondiciona el sondaje						
11							
12	* se continua con la perforacion						
13	* se saca el empalme del cable wireline y se						
14	ha hecho empalmes.						
15							
16	* se realiza medicion control de Trayectoria						
17							
18							
19							
20							

OBSERVACIONES / COMENTARIOS

7.00 – 7.30 Capacitacion segun ld
7.30 – 8.00 llenado de herramienta, gestion
8.00 – 10.00 acondicionamiento de sondaje
10.00 – 12.00 perforacion
12.00 – 1.00 refrigerio
1.00 – 5.00 perforacion
5.00 – 6.00 medicion de control de trayectoria
6.00 – 7.00 traslado personal

DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	APLICACIÓN
Rendurila	bolsas	5	Lodo
Ecum	bald.	1	Lodo
Epac	bald.	1	Lodo
Eplus	bald.	1	Lodo
PETRÓLEO	Galones	65	EQUIPO
PETRÓLEO			LUMINARIA
PETRÓLEO	galones	3	BOMBA DE AGUA
PETRÓLEO			GENERADOR

V°B° V°B°

CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES
PERFORISTA	Tarpo Quispe David
AYUDANTE DE PERFORACIÓN	Barzola Misari Elmer
AYUDANTE DE PERFORACIÓN	Cotrina Portal Manuel

NOTA: Documento técnico de perforación – Propio

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 5

PERFORACIÓN EN SONDAJE CORTO



NOTA: Área de Geología– Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 6

DIAMANTADO CON FRACTURACIÓN



NOTA: Área de Geología – Registro de Testigos - Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 7

PERFORACIÓN EN SONDAJE PROFUNDO



NOTA: Área de Geología – Core Shack – Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 8

PERFORACIÓN EN SONDAJE PROFUNDO



NOTA: Área de Geología – Testificación de Testigos – Propia

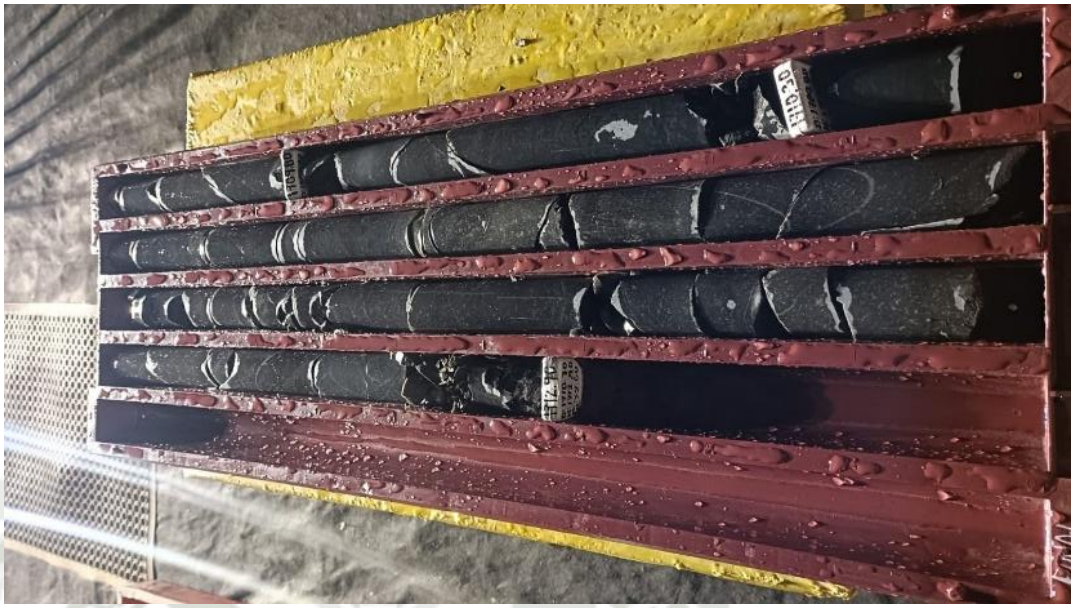
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 9

DIAMANTADO EN SONDAJE PROFUNDO



NOTA: Área de Geología – Lavado y Testificación de Testigos – Propia

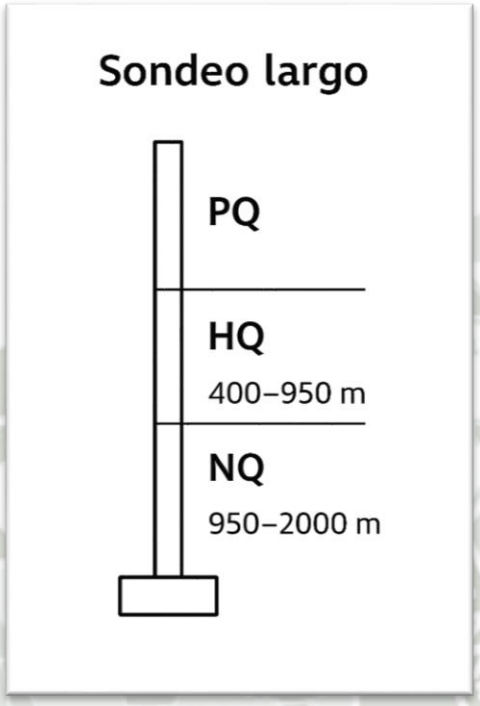
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO 10

ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DE DIÁMETROS EN UN SONDAJE LARGO



NOTA: Diseño esquemático propio

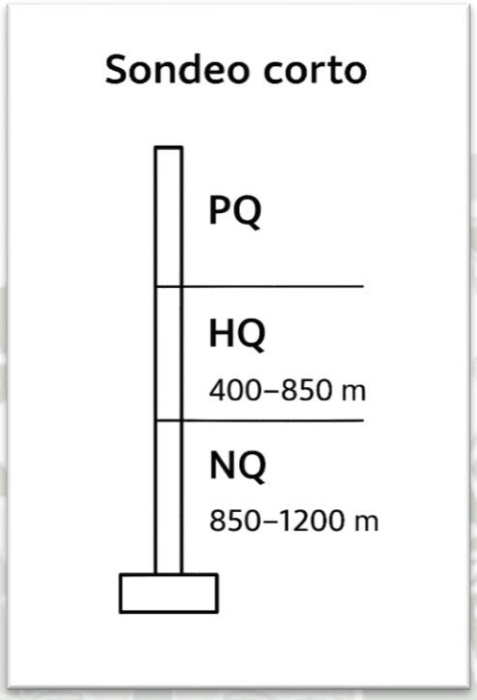
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANEXO 11

ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DE DIÁMETROS EN UN SONDAJE CORTO



NOTA: Diseño esquemático propio

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis