UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

TESIS

"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS CON LA HERRAMIENTA GYROMASTER PARA MEJORAR EL CONTROL DE DESVIACIÓN DE TRAYECTORIA EN PERFORACIÓN MINERA EN UNA MINA DE MOQUEGUA"

PRESENTADO POR:

Bach. Diego Angel Huayhua Llanllaya

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 052

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución N°013-2025-CF-FACIA-UNAM

Fecha: 25-06-2025

III. El Jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

"IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS CON LA HERRAMIENTA GYROMASTER PARA MEJORAR EL CONTROL DE DESVIACIÓN DE TRAYECTORIA EN PERFORACIÓN MINERA EN UNA MINA DE MOQUEGUA"

Bachiller: Diego Angel HUAYHUA LLANLLAYA

Asesor Principal: Mgr. Juan Elias ROJAS CONDORI

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: aprobado por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:50 horas, del 25 de junio del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Dr. Arquímedes León VARGAS LUQUE
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Dr. Christ Jesus BARRIGA PARIA
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MSc. Agapito FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Diego Angel HUAYHUA LLANLLAYA
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres, quienes, a lo largo de este proceso educativo, han sido un apoyo fundamental para lograr los objetivos planteados.

A mis hermanos y amigos, por su apoyo incondicional y por su soporte emocional.

AGRADECIMIENTO

A la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Moquegua, por los conocimientos compartidos durante mi formación profesional.

A mi asesor, Mgr. Ing. Juan Elías Rojas Condori, por su acompañamiento, guía y apoyo en el desarrollo de la investigación.

Al jurado dictaminador, Dr. Christ Barriga Paria, Dr. Arquímedes León Vargas Luque y MSc. Agapito Flores, por su tiempo, comprensión y valiosas contribuciones durante este proceso. Su amplia experiencia y crítica constructiva fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

A mi familia y amigos, por ser mi pilar y motivación en cada etapa.

RESUMEN

En el presente trabajo denominado “Implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua”. Este trabajo busca optimizar la calidad de los sondajes de perforación diamantina en desviación de trayectoria. La implementación del control requiere incorporar un equipo de medición de alta precisión; se optó por el equipo GyroMaster de la marca SPT (Stockholm Precision Tools) por sus altas capacidades, versatilidad y soporte técnico.

Para verificar la eficiencia del sistema, primero se realizó la medición a dos sondajes culminados que realizaron su perforación sin un control de parámetros. Los sondajes AQDGT-24008 y AQDGT-24001 presentaron desviaciones de 9.65° y 7.72° en azimut. La aplicación del sistema de medición consiste en un control constante de mediciones durante el avance de la perforación; con la información recogida, se ajustan parámetros, se cambian accesorios y se ajusta la dosificación de fluidos de perforación. Los sondajes sometidos al estudio son AQDGT-25011 y AQDGT-25013 de la campaña geotécnica 2025. Se desarrolló el control en conjunto con el equipo de perforación (perforista y ayudantes) y el equipo de fluidos de perforación. Se encontraron condiciones litológicas que exigen optimizar al máximo las decisiones operativas aplicadas.

Las mediciones aplicadas en el sondaje AQDGT-25011, en una profundidad final de 350 metros, mostraron una desviación de 1.64° en azimut y 1.74° en inclinación; los valores óptimos respaldan la hipótesis de la investigación. Asimismo, el sondaje AQDGT-25013, a pesar de las condiciones desfavorables, culminó su programa de 500 metros con una desviación de 4.29° en azimut, estando dentro del máximo permisible.

Palabras clave: Azimut, inclinación, desviación, medición, parámetros litológicos.

ABSTRACT

In this work, titled "Implementation of a Diamond Drilling Measurement System with the GyroMaster Tool to Improve Trajectory Deviation Control in Mining Drilling at a Mine in Moquegua", we aim to optimize the quality of diamond drill holes in terms of trajectory deviation. The implementation of this control system requires high-precision measurement equipment; we chose the GyroMaster equipment from SPT (Stockholm Precision Tools) for its high capacity, versatility, and technical support.

To verify the system's efficiency, we first measured two completed drill holes that were drilled without parameter control. Drill holes AQDGT-24008 and AQDGT-24001 showed deviations of 9.65° and 7.72° in azimuth, respectively. The application of the measurement system involves constant measurement control during drilling progress; with the collected information, parameters are adjusted, accessories are changed, and drilling fluid dosage is adjusted.

The drill holes under study are AQDGT-25011 and AQDGT-25013 from the 2025 geotechnical campaign. We developed the control system in conjunction with the drilling team (driller and assistants) and the drilling fluids team. We encountered lithological conditions that required maximum optimization of operational decisions.

The measurements applied to drill hole AQDGT-25011, at a final depth of 350 meters, showed a deviation of 1.64° in azimuth and 1.74° in inclination; these optimal values support the research hypothesis. Similarly, drill hole AQDGT-25013, despite unfavorable conditions, completed its 500-meter program with a deviation of 4.29° in azimuth, which is within the maximum allowable limit.

Key words: Azimuth, inclination, deviation, measurement, lithological parameters.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Descripción de la realidad problemática 1

1.2. Formulación del problema de investigación 2

1.2.1. Interrogante general 2

1.2.2. Interrogantes específicas 3

1.3. Justificación 3

1.3.1. Justificación teórica 3

1.3.2. Justificación práctica 3

1.3.3. Justificación metodológica 4

1.4. Objetivos 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 4

1.5. Hipótesis de la investigación 5

1.5.1. Hipótesis general 5

1.5.2. Hipótesis específicas 5

1.6. Variables 5

1.6.1. Variable dependiente 5

1.6.2. Variable independiente 5

II. MARCO TEÓRICO 6

2.1. Antecedentes 6

2.1.1. Locales 6

2.1.2. Nacionales 10

2.1.3. Internacionales 16

2.2. Bases teóricas 19

2.2.1. Perforación 19

2.2.2. Perforación Diamantina 20

2.2.3. Equipos de perforación 20

2.2.3.1. Máquina de perforación diamantina 20

2.2.3.2. Perforación diamantina en minería subterránea 22

2.2.4. Componentes de perforación diamantina 23

2.2.4.1. Barras de perforación 23

2.2.4.2. Sarta de perforación 23

2.2.4.3. Brocas o coronas diamantadas 25

2.2.4.4. Revestimiento de barras (Casing) 26

2.2.4.5. Escariador 27

2.2.4.6. Fluido de perforación 27

2.2.5. Desviación de sondajes 29

2.2.6. Medición de sondajes 29

2.2.7. Herramientas de medición de trayectoria 30

2.2.7.1. Beneficios de la implementación de herramientas de alta precisión 31

2.2.8. Propiedades geotécnicas y geológicas 31

2.2.8.1. Sistemas de clasificación geomecánica 32

2.2.8.1.1. Índice de calidad de la roca (RQD) 32

2.2.8.1.2. Rock Mass Rating (RMR) 33

2.2.8.1.3. Clasificación de rocas 33

2.2.8.2. Estructuras geológicas 34

2.3. Recuperación de datos y emisión de informes 34

III. METODOLOGÍA 35

3.1. Tipo y nivel de investigación 35

3.1.1. Diseño de investigación 35

3.2. Ámbito temporal y espacial 35

3.2.1. Ámbito temporal 35

3.2.2. Ámbito espacial 35

3.3. Población y muestra 37

3.3.1. Población 37

3.3.2. Muestra 37

3.4. Instrumentos para la recolección de datos 38

3.4.1. Técnicas 38

3.4.2. Toma de datos 39

3.4.3. Planificación de sistema de medición 39

3.4.4. Condición del punto del pozo para toma de datos 40

3.4.5. Instrumentos de investigación 40

3.4.5.1. Reportes de perforación diamantina 41

3.4.5.2. Cuaderno de campo 41

3.4.5.3. Datos de equipo de medición 41

3.4.6. Validación de instrumentos de investigación 42

3.5. Procedimientos 43

3.6. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos 44

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45

4.1. Procedimiento de medición con equipo GyroMaster 45

4.1.1. Identificación del equipo GyroMaster y componentes: 45

4.1.2. Características de operación 46

4.1.2.1. Tipos de registro de datos 46

4.1.2.2. Tipo de GyroCompass 47

4.1.2.3. Tiempo de paradas para GyroCompass 48

4.1.3. Ensamblaje de GyroMaster 48

4.1.4. Secuencia de Programación GyroCompas en modo Continuo. 49

4.1.5. Secuencia de Survey (Medición) GyroCompass en Continuo 50

4.1.6. Inspección de datos 51

4.1.7. Cálculo de factor de seguridad en función de la profundidad 51

4.2. Medición de sondajes sin control de desviación..... 52

4.2.1. Sondaje AQDGT-24008 52

4.2.1.1. Medición del sondaje AQDGT-24008 53

4.2.2. Sondaje AQDGT-24001 57

4.2.2.1. Medición del sondaje AQDGT-24001 57

4.3. Medición de sondajes aplicando control de desviación..... 61

4.3.1. Sondaje AQDGT-25011 61

4.3.1.1. Primera medición a los 140 metros 62

4.3.1.1.1. Aplicación de parámetros de perforación 62

4.3.1.1.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación 63

4.3.1.2. Segunda medición a los 230 metros..... 64

4.3.1.2.1. Aplicación de parámetros de perforación 64

4.3.1.2.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación 64

4.3.1.3. Tercera medición a los 340 metros..... 65

4.3.2. Sondaje AQDGT-25013 68

4.3.2.1. Primera medición a los 90 metros 68

4.3.2.1.1. Aplicación de parámetros de perforación 69

4.3.2.1.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación 69

4.3.2.2. Segunda medición a los 200 metros..... 70

4.3.2.2.1. Aplicación de parámetros de perforación 70

4.3.2.2.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación 71

4.3.2.3. Tercera medición a los 350 metros 72

4.3.2.3.1. Aplicación de parámetros de perforación 72

4.3.2.3.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación 73

4.3.2.4. Cuarta medición a los 490 metros 73

4.4. Resultados comparativos de eficiencia 76

4.4.1. Sondaje AQDGT-24008 77

4.4.2. Sondaje AQDGT-24001 78

4.4.3. Sondaje AQDGT-25011 78

4.4.4. Sondaje AQDGT-25013 79

4.5. Discusión de resultados 80

V. CONCLUSIONES 82

VI. RECOMENDACIONES 85

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

VIII. ANEXOS 93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diámetros estándar de perforación en minería 25

Tabla 2 Rock quality designation index..... 33

Tabla 3 Clasificación del macizo rocoso 34

Tabla 4 Ubicación unidad minera Quellaveco..... 37

Tabla 5 Sondajes geotécnicos diamantina DDH..... 38

Tabla 6 Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25011 a los 140 metros..... 63

Tabla 7 Parámetros de fluidos de perforación del Sondaje AQDGT-25011 a los 140 metros 63

Tabla 8 Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25011 a los 230 metros..... 64

Tabla 9 Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 90 metros..... 69

Tabla 10 Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 90 metros..... 70

Tabla 11 Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 200 metros..... 71

Tabla 12 Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 200 metros... 71

Tabla 13 Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 350 metros..... 72

Tabla 14 Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 350 metros... 73

Tabla 15 Análisis de desviación del sondaje AQDGT-24008 77

Tabla 16 Análisis de desviación del sondaje AQDGT-24001 78

Tabla 17 Análisis de desviación del sondaje AQDGT-25011 79

Tabla 18 Análisis de desviación del sondaje AQDGT-25013 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Perforadora Diamec Smart 4 roto-percutiva..... 19

Figura 2 Perforadora diamantina Sandvik DE710..... 21

Figura 3 Máquina de perforación diamantina subterránea XRD-80U..... 22

Figura 4 Sarta de perforación diamantina..... 24

Figura 5 Diagrama de selección de brocas..... 26

Figura 6 Escariadores de perforación diamantina..... 27

Figura 7 Aditivo de perforación bentonita sódica TOTAL GEL..... 28

Figura 8 Herramienta de alta precisión GyroMaster..... 30

Figura 9 Caja de muestras de perforación diamantina geotécnica HQ..... 32

Figura 10 Ubicación unidad minera Quellaveco..... 36

Figura 11 Collar de perforación con Piezómetro..... 40

Figura 12 Control QA/QC GyroMaster 2.1.1..... 43

Figura 13 Componentes del equipo GyroMaster..... 45

Figura 14 Contador de profundidad DE05..... 46

Figura 15 Tipos de medición con equipo GyroMaster..... 47

Figura 16 Velocidades para el GyroCompas..... 47

Figura 17 Tiempo de paradas para GyroCompas..... 48

Figura 18 Equipo GyroMaster ensamblado..... 49

Figura 19 Secuencia de Programación GyroMaster..... 49

Figura 20 Secuencia de medición en máquina de perforación DDH..... 51

Figura 21 Orden de trabajo perforación DDH..... 53

Figura 22 Sección vertical vs elevación AQDGT-24008..... 54

Figura 23 Distancia de cierre vs dirección de cierre AQDGT-24008 55

Figura 24 Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-24008..... 56

Figura 25 Orden de trabajo del sondaje AQDGT-24001..... 57

Figura 26 Sección vertical vs elevación del sondaje AQDGT-24001 58

Figura 27 Distancia de cierre vs dirección de cierre del sondaje AQDGT-24001 59

Figura 28 Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-24001..... 60

Figura 29 Orden de trabajo del sondaje AQDGT-25011..... 62

Figura 30 Sección vertical vs elevación del sondaje AQDGT-25011 65

Figura 31 Distancia de cierre vs dirección de cierre del sondaje AQDGT-25011 66

Figura 32 Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-25011..... 67

Figura 33 Orden de trabajo del sondaje AQDGT-25013..... 68

Figura 34 Sección vertical vs elevación del sondaje AQDGT-25013 74

Figura 35 Distancia de cierre vs dirección de cierre del sondaje AQDGT-25013 75

Figura 36 Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-25013..... 76

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

UTM : Proyección Transversa Universal de Mercator

INRUN : Medición de entrada

OUTRUN : Medición de salida

PDA : Dispositivo móvil Android

Gpm : Galones por minuto

Rpm : Revoluciones por minuto

Pulg/min : Pulgadas por minuto

m/min : Metros por minuto

Lb : Libras

Psi : Libras por pulgada cuadrada

Az : Azimut

Md : Profundidad (Measured Depth)

Elev : Elevación de cota

+e/-w : Este geográfico (East/West)

+N/-S : Norte geográfico (North/South)

HQ : Heavy Quick Diámetro 95.76 mm

NQ : Narrow Quick 75.44 mm

G : Gravedad

T : Temperatura

CO : Monóxido de carbono

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La presente investigación se enfoca en el estudio de las variables "medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster" y "control de desviación de trayectoria en sondajes diamantinos de perforación".

A escala internacional, la perforación diamantina es una operación utilizada ampliamente en la actividad minera, en etapas como exploración y evaluación durante la exploración, y obtención de información durante la explotación.

La actividad se concentra en la perforación del subsuelo con un sistema complejo compuesto de varios componentes, entre ellos los más importantes, la máquina de perforación, tina de lodos, tubería de perforación, accesorios de perforación, entre otros, que como producto proporcionan una muestra sólida de roca (core o testigo).

La perforación viene acompañada de problemas operativos que pueden alterar la fiabilidad de los resultados de las muestras; principalmente, la desviación de sondajes es el problema que en general se puede ver influenciado por parámetros operativos y factores litológicos.

En la antigüedad, la perforación se realizaba sin contar con una herramienta para calcular la desviación del sondaje a partir del parámetro inicial establecido; por lo tanto, se perforaba sin saber si se estaba llegando al objetivo programado. Estas desviaciones, casi siempre pronunciadas, proporcionando información errónea sobre la ubicación de yacimientos, estructuras geológicas, etc.

El Perú, al ser un país históricamente minero, ha sido una zona de alta exploración, donde la problemática de la desviación de sondajes no ha sido ajena. Por lo tanto, las diversas empresas buscan la implementación de un sistema de medición que se altamente preciso, que permita realizar

registros eficientes y que proporcionen datos claros e interpretables. La desviación de una perforación puede ocurrir por factores operativos y condiciones de terreno, que pueden ser variables de acuerdo a la zona donde se perfora, los accesorios utilizados, entre otros factores.

El impacto de esta desviación tiene un efecto directo sobre la seguridad, estimación de recursos y planeamiento de mina. La información geotécnica inexacta provoca una planificación deficiente y ejecución ineficiente de los proyectos, generando retrasos en los cronogramas de producción y alterando los objetivos de la mina. En este contexto, la necesidad de contar con herramientas de alta precisión para minimizar la desviación de los sondajes es crucial para optimizar la extracción de minerales, reducir costos operativos y garantizar la seguridad y estabilidad en las operaciones mineras.

Además, los equipos de medición giroscópica utilizados para controlar la desviación de los sondajes, aunque avanzados tecnológicamente, no están exentos de errores. Estos errores en la medición pueden amplificar la inexactitud en la perforación, llevando a perforaciones en ubicaciones incorrectas, lo que no solo resulta en la pérdida de valiosos recursos minerales, sino que también incrementa los costos operativos al requerir perforaciones adicionales para corregir los errores iniciales. Ante la necesidad de una herramienta confiable, se ha decidido realizar una investigación que permita identificar las mejoras de la implementación del control de desviación, mediante la medición de sondajes usando el equipo GyroMaster.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Interrogante general

¿Cómo implementar un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua?

1.2.2. Interrogantes específicas

¿Por qué la herramienta GyroMaster es ideal para realizar la medición de sondajes diamantinos en una mina de Moquegua?

¿Cómo mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación en una mina de Moquegua?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

Esta investigación busca entender el impacto positivo del control de desviación de trayectoria de sondajes, no solo en la etapa de exploración, sino también en la vida operativa de un proyecto minero (control y estabilidad de taludes, procesos de perforación y voladura más eficientes, etc.).

Hoy en día existen muchas empresas especializadas en el desarrollo y optimización de la tecnología en buscadores norte y equipos de medición referenciados, que investigan la manera de obtener herramientas con mayor precisión y capacidades de operación en condiciones adversas. La revisión de esta información garantizará que la operación práctica de los equipos se ajuste a los parámetros de fabricación.

1.3.2. Justificación práctica

En esta investigación se verificará el impacto real de una perforación sin control de desviación de sondajes. La aplicación práctica del equipo de medición en perforación diamantina en minería superficial permitirá garantizar eficiencia. La toma de decisiones operativas asertivas garantiza la recuperación correcta de muestras y la calidad del sondaje.

El control de desviación de sondajes diamantinos es crucial, ya que cualquier inexactitud en la perforación puede distorsionar la caracterización geotécnica, afectando la estabilidad estructural de las minas y comprometiendo la seguridad de las operaciones. La falta de precisión

no solo reduce la productividad y aumenta los costos operativos, sino que también puede generar riesgos geotécnicos comprometiendo la seguridad de los proyectos mineros.

Para enfrentar estos desafíos, Stockholm Precision Tools ha desarrollado herramientas de alta precisión que garantizan mayor exactitud en perforación, proporcionando información más confiable y mejorando la seguridad. Este estudio justifica la necesidad de evaluar y analizar la implementación de un sistema de control de desviación en sondajes en exploración y explotación. Los beneficios de contar con información exacta en las operaciones mineras, impactan en seguridad, costos operativos, y la fiabilidad.

1.3.3. Justificación metodológica

Esta investigación ofrece principalmente un aporte importante: la implementación de un sistema de control de desviación basado en una herramienta de alta precisión que permitirá determinar el estado real de la perforación en profundidades mayores a 2,000 metros. Este sistema de medición servirá como modelo aplicable en otros proyectos de perforación en general.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el impacto positivo de la implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua.

1.4.2. Objetivos específicos

Delimitar los factores estudiados por los que la herramienta GyroMaster es ideal para realizar la medición de sondajes diamantinos en una mina de Moquegua.

Implementar un sistema de medición para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster logrará un control óptimo y de alta confiabilidad de la desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua.

1.5.2. Hipótesis específicas

La herramienta GyoMaster es el equipo adecuado para realizar la medición de sondajes diamantinos y el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua.

Con la implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster, se tendrá un óptimo y confiable control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua.

1.6. Variables

La operacionalización de variables puede observarse de manera detallada en el Anexo 2.

1.6.1. Variable dependiente

Mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación.

1.6.2. Variable independiente

Sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Locales

Diaz (2023) en su investigación "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", analizó los factores que influyen en la desviación. Para esto, se evaluaron perforaciones y se concluyó que se identificaron doce principales causas de desviación, tres de carácter geológico y de otros factores. También que el control de desviación se pudo realizar gracias a la herramienta DeviGyro RG40, la cual permite realizar un control de cada metro perforado. Con la herramienta y un control constante del avance de la perforación, se pueden generar recomendaciones al equipo operativo para los ajustes de parámetros de perforación.

Miranda (2022) en su trabajo de investigación "Propuesta de gestión de riesgos para la prevención de accidentes en perforación diamantina Los Calatos-Moquegua" identificó primero la litología y características del yacimiento minerólogico del pórfido de Cu-Mo. El proceso de perforación diamantina que se desarrolló en una campaña preliminar con sondajes de más de 400 metros, identificando los peligros y riesgos en el desarrollo de los procedimientos desarrollados en la actividad. Concluyó que en las plataformas de perforación se identifican peligros y riesgos tanto para la persona como para el medio ambiente, y sugirió homogeneizar los criterios de identificación y evaluación de las técnicas para el levantamiento de información. A partir de ello, propuso optimizar el control de peligros, riesgos y sus respectivos controles, identificados en el Matriz IPERC.

Kana & Ochoa (2019) en su investigación "Estudio geológico y geotécnico para la estabilidad de asentamientos de las estructuras de la faja transportadora CV.201 (desde el cruce 2

hasta la salida del túnel)- Minera Cuajone – Moquegua" se realiza en base a un problema de estabilidad geotécnica. La faja transportadora CV.201 (tiene 7 km de longitud) entre la chancadora primaria y la planta general de transferencia, está asentada tanto en relleno detrítico con pilares de concreto y atraviesa un túnel donde se ha identificado asentamientos y desplazamientos horizontales en las durmientes de concreto secundario. A fin de analizar el fenómeno y tomar medidas se realizó un estudio geotécnico de la zona y un análisis retrospectivo. Se realizó un estudio geotécnico con perforaciones diamantinas, calicatas y ensayos (SPT, Lefranc, CPT, etc.). Los resultados mostraron que la base está constituida por estratos de relleno nuevo con una capa de 0 a 20 metros y antiguo con una capa de 20 a 63 metros. También, que estos tienen una resistencia a la penetración y carga admisible muy bajas. Se propuso estabilizar la zona con inyección de mortero y cemento en zonas críticas, también la construcción de un muro de contención con anclajes en la zona de cruce 02.

Ancalle (2020) en su tesis titulada "Logueo geológico, muestreo y Qa-Qc en perforación diamantina, proyecto Puite-Colorada en el departamento Moquegua de la compañía minera Zahena S.A.C.", busca explicar el procedimiento adecuado para la recuperación de muestras orientadas geotécnicas, realizar el logueo geológico, geotécnico, el muestreo y el control de QA/QC del muestreo, gravedad especifica en la campaña de perforación. Concluyó que la campaña ejecutada por la empresa Geodrill y supervisada por la compañía minera Zahena fue un éxito, logrando obtener 6,182.00 metros perforados en un total de 10 sondajes, en cuanto al muestreo no se tomó en cuenta los materiales cuaternarios, y la recuperación de información en roca intrusiva fue de 2,235.00 metros, obteniendo valores de gravedad específica de 2.68 a 2.75g/cm^3.

Andrade (2024) en su tesis titulada "Evaluación geológica del proyecto de exploraciones Colquemayo Target Amata Este y Coripuquio - Moquegua – Perú" busca demostrar técnicas

óptimas aplicadas a la exploración, la obtención de resultados viables para la correcta identificación y estimación de recursos del yacimiento, la etapa de exploración va desde la elaboración de calicatas para muestreo, y la exploración directa o avanzada, perforación diamantina. Se concluye que la compañía Cía. De Minas Buenaventura tomó la decisión de realizar un estudio avanzado en un espacio de 28 hectarias, en las comunidades campesinas de Palcamayo y Amata, ante los resultados positivos del Target Coripuquio (Au), Target Cerro Amata Ag-Cu+-Au), Amata Este (Au-Cu) y Target Yanarico (Au–Ag). Se proyectó una campaña de perforación de 103,050 metros Infill.

Cuno (2018) en su trabajo de investigación titulad0 "Implementación de un sistema de gestión de seguridad basada en el comportamiento y evaluación de costos en perforación diamantina de Explo Drilling Perú S.A.C. en la unidad operativa Chucapaca, Moquegua", plantea evaluar la optimización de los comportamientos para mejorar la seguridad en perforación diamantina, identificando las áreas críticas y realizando un diagnóstico final. Los resultados indican que, al ser una actividad de alto riesgo, la Seguridad Basada en el Comportamiento (SBC) es clave para prevenir accidentes. Las ganancias operativas por la reducción de paradas de seguridad por incidentes fueron positivas, demostrando que la SBC es fundamental para el desarrollo seguro de la operación de perforación.

Alarcón (2013) en su tesis titulada "Impermeabilización del eje de la represa Chirimayuni-Moquegua, mediante inyecciones de lechada de cemento", busca lograr la impermeabilización del basamento rocoso del eje de la represa Chirimayuni. Esta operación requiere un gran control de calidad con base en un diseño de inyección con lechada de cemento, un control de calidad con ensayo geotécnico Lugeón. Se concluye que se realizaron siete perforaciones diamantinas, de donde se obtiene información de la litología, con roca muy alterada, moderadamente resistente y

extremo fracturamiento. En el sondaje P-3 se registra un primer ensayo en el tramo 15-20 m, donde se obtiene una permeabilidad de 20,53 UL, y en el sondaje P-7 en el tramo de 35-40 m, una permeabilidad de 4.07 UL. Estos resultados, con alta permeabilidad, requieren un tratamiento especial en perforación e inyección.

Ochoa (2017), en su investigación "Ampliación de reservas de mineral en zonas de echaderos y morrenas en la unidad minera Tucari Aruntani SAC -Moquegua", plantea evaluar la posible ampliación de reservas en las zonas de echaderos y morrenas, mediante perforación diamantina, evaluar el comportamiento geológico del yacimiento, describir los tipos de alteración hidrotermal de alta sulfuración, y el cálculo de reservas. Se concluyó que hay una gran presencia de matriz arcillo – arenosa, con presencia de impregnación de óxidos de fierro con presencia de mineralización de Au diseminada. En la zona de echaderos, se encuentra reservas considerando la ley de corete dinámica, se estima un tonelaje de 250,000 t con una ley de 0.14 g/t en morrena y 0.30 g/t en echaderos.

Fuentes (2017) en su trabajo de tesis titulado "Reconocimiento de mineralización profunda de carácter polimetálico mediante métodos de exploración Gamma Ray y polarización inducida en el proyecto Ichuña – Moquegua", busca mediante el ensayo Gamma Ray, localizar presencia de cuerpos intrusivos con mineralización polimetálica, identificación de pórfidos y delimitar las limitaciones de la estructura hidrotermal. Estos ensayos se realizan a partir de estudios geotécnicos de perforación diamantina y logueo, donde se recupera información relevante. El resultado de la investigación indica que la campaña IP/RES a identificado un cuerpo con alta mineralización; debido a su alta resistividad, se identifica un yacimiento tipo pórfido de constitución diorítica, que tiene un afloramiento por una brecha con un modelo gossan, con zona lixiviada y de oxidación y principalmente una zona con mineralización de sulfuros.

2.1.2. Nacionales

Tenorio (2015) en su investigación titulada "Tratamiento de lodos de perforación mediante el sistema de tubos de geotextil tejido (polipropileno) en el proyecto de exploración minera Hilarión, distrito de Huallanca, región Áncash, 2015", tuvo como objetivo implementar el análisis de los lodos de perforación diamantina mediante la implementación de tubos de geotextil tejido, para optimizar el proceso de recuperación del lodo de perforación resultante de la perforación diamantina y evaluar la influencia del lodo de perforación recirculado en una perforación óptima, evitando problemas operativos como atrapamiento de tubería, arenamiento y desviaciones de sondaje. Llegó a la conclusión de que la instalación del sistema es eficiente y asegura la recuperación de agua sin sólidos, además de tener la capacidad de encapsular y disminuir valores de metales como plomo, cobre, mercurio, cadmio, arsénico y zinc.

Ducep & Vera (2020) presentaron un informe con resultados de su investigación, en el que se propone realizar un control de desviación para optimizar la fragmentación de la roca en la Unidad Minera Pallasca. El problema encontrado fue el deficiente control de la desviación de taladros de perforación. Por ello, se trabajó con el frente a perforar ubicado en el área de perforación NIVEL 1 de la unidad de producción Pallasca. Los instrumentos empleados para la recolección de información fueron guías de análisis documental y guías de observación; además, se utilizó un inclinómetro magnético. Finalmente, el resultado obtenido fue una desviación máxima de 17.5 % y una desviación promedio de los tres primeros frentes fue de 11 %. Sin embargo, después del control se tomaron datos en los 3 frentes y hubo una disminución, siendo la nueva desviación de 8.75 % siendo esta la máxima y la nueva desviación promedio fue de 5 %.

Mantilla (2019) realizó una investigación sobre el control de la trayectoria de taladros variando el tipo de broca y los parámetros de perforación con sistema diamantino. En este estudio

se buscó evaluar el impacto del tipo de broca en la trayectoria de un sondaje, así como los parámetros de perforación influyen en la inclinación y azimut del sondaje. La metodología incluyó la medición de sondajes en dos perforaciones diamantinas del proyecto minero Yoni, en Cajamarca, considerando parámetros como profundidad del taladro, calidad y caudal del fluido, pulldown, velocidad de rotación y empuje. Los resultados mostraron que existe una influencia directa entre estos parámetros de la desviación de trayectoria del sondaje en perforación diamantina, evidenciada en los reportes de perforación. En conclusión, la variable dependiente (trayectoria del taladro) tiene una contribución significativa de las variables independientes (tipo de broca y parámetros de perforación), con un p-value menor a 0.05.

Cupi & Pari (2021) realizaron una investigación con el objetivo de optimizar la utilidad de la empresa especializada Geodrill S.A.C. La metodología aplicada tuvo un enfoque cuantitativo y un método de investigación exploratorio, con un diseño experimental, basado en una hipótesis que estudia los taladros perforados en 2019 para reducir la pronunciada desviación y generar mayor utilidad. Se implementaron equipos de alta precisión para la instalación de la máquina, un trípode diseñado para soportar el peso de la tubería BQ al inicio de la perforación y se capacitó al personal en la identificación de parámetros de perforación DTH. Como resultado, la utilidad percibida de los taladros mejoró, aumentando del 25% al 43% en los meses de noviembre a diciembre. Las pérdidas en cuatro taladros fueron de $80,604.00, debido a descuentos por penalidades, y la reducción de desviación de taladros generó un 18% de aumento en utilidades, generando la rentabilidad de 28.05$/m.

Rabanal (2021) realizó una revisión sistemática de literatura científica especializada con el objetivo de determinar la influencia directa de la desviación de taladros en la fragmentación durante las operaciones de perforación y voladura. Para ello, se seleccionaron las bases teóricas

que proporcionaron el conocimiento para entender el tema. Los resultados muestran que, de un total de 325 artículos encontrados, se incluyeron 39 con información acerca de la influencia de la desviación de taladros de perforación y la calidad de voladura. Se concluyó que la falta de control conlleva una desviación de taladros de perforación, y a su vez, una mala fragmentación del material volado.

Altamirano & Coba (2021) en su investigación "Influencia de los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso para disminuir costos por desviación de sondajes en un proyecto minero de Cajabamba 2020" analiza la influencia de parámetros en perforación tanto de aire reverso (RC) como diamantina (DDH). Su objetivo fue medir la desviación de trayectoria de los sondajes y calcular las pérdidas generadas por desviación. Estos parámetros como revoluciones por minuto (rpm), presión de la corona y empuje, determinan qué tanto se puede desviar un sondaje con respecto a su trayectoria planeada. Se usó la herramienta Gyro Reflex para poder realizar las mediciones de la perforación. Se concluyó que, con el control de los parámetros técnicos de perforación, se logra controlar las desviaciones en un 36 %. En el sondaje SHA-D20-290M de 130 metros, con un ángulo inicial de 54.92° de inclinación y un azimut de 360°, se registró una desviación de 0.22 %, alejándose del objetivo planteado en 0.28 metros. Es importante realizar un control de desviación con el fin de evitar penalidades.

Altamirano & Martinez (2020) presentaron una revisión sistemática sobre factores que influyen en la desviación de trayectoria de sondajes. El tipo de broca y los parámetros de perforación son los que determinan esta variación. Por regla general, siempre se puede identificar una desviación en un taladro, sin embargo, es importante enfocarse en los factores que influyen. La investigación se enfoca en los factores más relevantes y de mayor impacto en la desviación como la serie y tipo de broca, y algunos parámetros como la rotación y el empuje. La información

se obtuvo de fuentes de alta confiabilidad, como la Biblioteca virtual UPN, EBSCOHost, Microsoft Academic, Google Académico y SciELO. Inicialmente se preseleccionaron 33 artículos, de los cuales 5 fueron descartados por no cumplir con el criterio de antigüedad y 1 por no tener relación con las variables de estudio, resultando en 27 artículos utilizados para el estudio. La conclusión fue que los parámetros de perforación y el tipo de broca tienen una gran importancia en la perforación; desconocerlos puede resultar en una amplia desviación, mientras que su correcta aplicación reduce la desviación a niveles normales.

Alvarez (2023) determinó qué tan óptimos fueron los controles y evaluación de taladros largos para el tajeo de la Compañía Minera Volcán - UP San Cristóbal. La metodología empleada fue de tipo aplicada, donde la muestra seleccionada incluyó tajeos: Tj SP6 2E, Tj 79 E5, Tj 67-5/4, Tj 313, Tj 80-1 1/0, y Tj 80-2 2/1. Los resultados de la investigación (el control se llevó a cabo con la herramienta DEVISHOT en los tajos) muestran que se perforaron 25 taladros con equipo Simba, los cuales mostraron una desviación promedio de 9.67%, por encima del promedio permisible de 5% como máximo. Esta desviación se debió a aspectos operativos como no respetar el ángulo proporcionado por el plano de perforación.

Vargas (2022) desarrolló una investigación con el objetivo de optimizar los parámetros de perforación que influyen en la perforación diamantina para controlar la desviación de la trayectoria de los taladros o sondajes diamantinos (DDH) en la Unidad Operativa Yauricocha de la Compañía Sierra Metals Inc. Se observó que, en esta unidad operativa, algunas perforaciones presentaban desviaciones que superaban 1° en un avance de 5 metros de profundidad. Los resultados demostraron que la optimización de los parámetros de perforación influye directamente en el control de la desviación de la trayectoria del sondaje (azimut e inclinación). Se concluyó que los parámetros óptimos para minimizar la desviación en la inclinación incluyen: Presiones de avance

y torque de 2,500 psi, velocidades de rotación entre 200 y 250 pulsaciones por minuto, y presiones sobre la corona de 2,050 psi o combinaciones similares. Para reducir la desviación en el azimut, se encontraron parámetros óptimos con: 2,600 psi de presión de avance y torque, velocidad de rotación entre 200 y 250 pulsaciones por minuto, y 1,900 psi de presión sobre la corona.

Muñasqui (2022) en su investigación de tesis titulada "Aplicación del aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en la campaña de perforación diamantina 2018, Mina Toromocho" detalla que el objetivo de la campaña de perforación INFILL 2018 es la actualización del modelo geológico y de reservas que se realizó en 2015. Se concluyó que los resultados fueron óptimos y se aseguró el control de calidad en los resultados obtenidos en la campaña. Se usó un buscador norte giroscópico para realizar el control de desviación en sondajes que acumularon 27,538 metros en 147 perforaciones realizadas en el área tajo Toromocho.

Soto (2022) analizó la importancia de las mediciones de sondajes diamantinos en la etapa de exploración en la Unidad Minera El Porvenir - Nexa, utilizando un equipo de medición con tecnología giroscópica no magnética, no afectado por minerales ferrosos. Los resultados demostraron una desviación considerable que se puede observar al analizar los datos. El sondaje PEEPD01053 muestra resultados que pueden estar dentro de los rangos permitidos, mientras que sondajes como PEEPD01028 indican una desviación de 5.472° y 7.518° (máximo permitido: 4°). Se determinó el impacto del uso de una herramienta giroscópica no magnética para la evaluación de un sondaje geológico, la importancia de los datos topográficos en el collar al momento de la instalación de la máquina de perforación, y de los parámetros aplicados durante la perforación.

Arana (2014) realizó una investigación en la Minera Yanacocha, en Cajamarca, donde se realizaron 16 mediciones en un sondaje de 900 metros. Estas mediciones son progresivas y van detectando un rango de variación de 0.14% (menor que la tolerancia del equipo de +-2%). Se usó

la herramienta Gyroreflex para realizar el control de sondajes. La investigación concluyó que la desviación está dentro de los parámetros establecidos, a pesar de que el sondaje del punto 1 cuyo objetivo fue de 900 metros solo llego a 838.96 metros, por lo que no logró cumplir con su objetivo inicial. También se señala la importancia de realizar un control de desviación en un sondaje geológico, ya que permite saber la posición exacta donde se encuentra la perforación y de donde se están recuperando los testigos, esta información de la ubicación precisa proporciona datos más confiables.

Celis (2016) en su investigación titulada "Reducción de la desviación de taladros largos implementando menores longitudes de perforación de taladros para bancos de producción de 20 metros de altura en Sublevel Stoping con Simbas H1254, en el cuerpo Casapalca 4 en el nivel 11 -11A, Mina Casapalca", analiza cómo los taladros se desvían en la perforación de taladros largos. En el estudio se destacan un taladro positivo de 12 metros, con una desviación de 0.45 m y un taladro negativo de 8 metros con una desviación de 0.26 m. Las desviaciones son de 6.6 % en taladros de 20 m, 3.21 % en 8 m, y 3.71 % en taladros de 12 m. La conclusión a la que se llegó es que la longitud más óptima es de 12 metros para taladros positivos y 8 metros para taladros negativos, lo que optimiza la voladura y reduce la producción de bancos.

Bravo (2020) en su tesis "Recuperación de tuberías atascadas en taladros de perforación diamantina (DDH) y su implicancia económica para la empresa REMICSA DRILLING, unidad minera Raura S.A. 2018", analiza uno de los problemas más complejos de la perforación, el atrapamiento de tubería. En el sondaje LM75-23, en el nivel 200, se requirió el procedimiento de corte de tubería con la herramienta cortadora Edemes y la presencia de ocho personas capacitadas. Este procedimiento implica el abandono de todos los componentes que son parte del barrel. Se concluyó que se logró recuperar S/.11,000.00 soles, que compensan la total de S/.30,226.50, el

costo total de recuperación de tubería fue de S/.13,880.90, incluyendo los gastos indirectos por un valor de S/.3,962.00 y la valorización del material perdido (broca diamantada HQ, Shell, Barel, etc) por un valor de S/.8,697.10 y una penalidad de S/.32,016.30. Este proceso de recuperación requiere el uso de tubería de menor diámetro, pero permite la óptima recuperación de la mayor cantidad posible de tuberías atrapadas, lográndose recuperar 110 tubos de línea NQ.

Arapa & Quispe (2021) en su tesis titulada "Exploración geológica mediante perforaciones diamantinas para la ampliación de reservas en la concesión minera Santa Filomena Sancos-Ayacucho, 2021", realizaron una campaña de perforación exploratoria con el fin de conocer las reservas de este yacimiento, identificando la veta Filomena, Veta Santa Rosa, Veta Ramal Santa Rosa piso. También se identificó que el 80 % de reservas se encuentran en la veta Filomena; sin embargo, estas requieren un nuevo estudio para poder alargar la vida útil de la unidad minera. En la investigación se concluye que, con prospección electromagnética, gravimétrica y sísmica, se puede tener una visión detallada de la estructura. Asimismo, se debe tener un control óptimo de las desviaciones de la perforación a fin de conocer con exactitud la ubicación de las reservas.

2.1.3. Internacionales

Salas (2016) realizó una investigación sobre la mejora del proceso de perforación diamantina en interior mina. Esta investigación se realizó ante la problemática de incumplimiento del cronograma por los problemas encontrados, se plantea la solución de implementar la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar). La conclusión a la que se llegó indica que, con base en dos variables (tiempo y producción), y la causa raíz como: instalación de máquina y movimiento de herramientas: cambio de broca, atrapamiento de tubería, acondicionamiento de pozo con lodo de perforación y estandarización de plataforma, son actividades que muestran una variabilidad de control de tiempo. Ante esto, la implementación de

la metodología que se puede ejecutar a corto plazo muestra mejoras en el tiempo teórico de la producción, pasando de 7,063.00 a 9,814.00 metros perforados.

Silva (2008) habla sobre el equipo GyroMaster que utiliza giroscopios MENS y su importancia en las mediciones de trayectoria de sondajes geológicos, así como de la compañía Stockholm Precision Tools AB y su equipo de medición con aplicaciones tanto en minería, petróleo como gas natural. En el informe se concluye que los tipos de medición como multi-shot y sigle-shot, así como la diferencia entre los equipos magnéticos y aquellos no afectados por esas condiciones geológicas, destacan la gran importancia de la medición de pozos para la ubicación de muestras. También se mencionan las nuevas tecnologías que se están implementando para realizar las operaciones de manera más rápida y segura con el objetivo de reducir costos y tiempo de operación.

Castilla & Herrera (2012) en su paper titulado "El proceso de exploración minera mediante sondeos", hablan sobre las técnicas de perforación utilizadas en la primera etapa de un proyecto minero. Menciona técnicas de perforación donde se varían parámetros como la rotación y tipo de broca utilizados en los diferentes tipos de perforación en exploración (martillo de cabeza, rotación con recuperación de testigo, etc.). También habla sobre la perforación con martillo de cabeza y su uso para perforación direccionada. Concluye sobre las tendencias de perforación, señalando uno de los mayores problemas en la exploración con taladros diamantinos es la desviación, la cual puede generarse por factores como condiciones hidrológicas y litológicas, fallas en los equipos de perforación, malas maniobras en parámetros, entre otras, puede generar curvas que alejen la perforación del objetivo planeado.

Espítia, Espitia, & Galvis (2016) en su tesis titulada "Propuesta de elaboración de guía segura para el proceso de perforación diamantina basada en los métodos seguros para el

procedimiento aplicada en la exploración minera", analizan la complejidad de la actividad minera, los peligros y riesgos que implica en todas sus etapas. Concluyen que la actividad de perforación diamantina, al ser de alto riesgo, involucra una interacción entre la máquina, el ser humano y el medio ambiente. Para ello, se elaboró una guía de perforación diamantina como herramienta de gestión de seguridad que permitirá crear una campaña de perforación segura desde su etapa inicial, evitando lesiones y accidentes de acuerdo con la normativa vigente.

Stockholm Precision Tools (2021) en su artículo titulado "¡Trece de una sola vez! Un estudio de alta precisión grabado por GyroMaster" analiza el caso exitoso de perforación de un sondaje en "S" a una profundidad de 848 metros con la tecnología International Drilling & Mining Germany GmbH (IDMG). Las condiciones de operación son extremas, con presencia de arena, arcilla y lechos acuíferos hasta una profundidad de 815 metros. Esta tecnología busca reducir la temperatura a -38°C para crear una pared de congelación mejorando la estabilidad de la roca durante la operación de hundimiento del pozo. La herramienta GyroMaster utiliza su precisión para la instalación de un motor de fondo para realizar la desviación del sondaje perforado con un diámetro de 216.00 mm. Esta herramienta está diseñada para operar en condiciones extremas, proporcionando precisión en sus resultados. Como resultado, se obtuvo una desviación radial de 60 cm, resultados óptimos en condiciones geológicas e hidrológicas adversas y un estudio direccional de alta precisión con el equipo de SPT.

Reflex Intelligence on Deamon (2021) en su artículo "Mediciones con REFLEX GYRO SPRINT-IQ™: 10 veces más rápidas y con mayor exactitud que los métodos tradicionales", muestra el caso de estudio del proyecto minero El Toqui, operado por Laguna Gold en Chile. Este yacimiento presenta una litología complicada y presencia de minerales magnéticos, se realizan controles constantes de desviación de sondaje para aplicar un riguroso control QA/QC a los

resultados. Se requiere el uso de una herramienta precisa, de alta velocidad y que no se vea afectada por interferencia magnética del yacimiento. Como resultado, se obtuvo una velocidad de hasta 10 veces mayor en las mediciones en comparación con las herramientas tradicionales. La herramienta usada no se ve alterada por agentes magnéticos, por lo que proporciona un resultado fiable. Además, el riesgo de colapso del sondaje disminuyó significativamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Perforación

La acción de generar una abertura en roca mediante rotación y en algunos casos percusión, se utilizan brocas con insertos que tienen una alta dureza y mediante fuerza mecánica generan un taladro o pozo que puede ser utilizado con fines de voladura en caso de producción, pozos de agua o sondajes diamantinos en caso de exploración. En la Figura 1 se puede observar una perforadora Diamec Smart 4 eléctrica perforando en una pendiente de -70°.

Figura 1

Perforadora Diamec Smart 4 roto-percutiva



Nota: Elaboración propia.

La perforación tiene diferentes aplicaciones; se utiliza en obras civiles, mineras entre otras. El principio es similar; sin embargo, existen equipos que están diseñados para las necesidades específicas de cada operación. Hoy en día, algunas perforadoras de producción en minería ya se han automatizado con el objetivo de optimizar al máximo su operatividad. La optimización de esta actividad busca reducir tiempos y asegurar calidad. La minería subterránea no es la excepción, equipos altamente sofisticados aseguran una producción eficiente y rotura uniforme del material volado.

2.2.2. Perforación Diamantina

La perforación diamantina es un proceso en el cual a través de una máquina de perforación que puede funcionar de manera hidráulica o eléctrica, se transfiere rotación y empuje a través de tuberías unidas una tras otra a una broca con insertos diamantados. Los insertos pueden tener diferentes niveles de dureza que se usan de acuerdo a las condiciones abrasivas y de dureza del terreno. La broca corta el macizo rocoso y, a través de un complejo sistema de operación obtiene como producto final una muestra de roca conocida como core o testigo. Este testigo es almacenado en cajas especiales de muestras llamadas Coreshack (Becerra, 2021).

2.2.3. Equipos de perforación

2.2.3.1. Máquina de perforación diamantina

Una máquina de perforación diamantina es un sistema integrado de componentes, los principales son un sistema de transmisión de rotación que transfiere energía a una unidad de rotación o Chuck. Este sistema tiene como fin proporcionar rotación y empuje a la tubería de perforación, y en su extremo, una broca con insertos diamantados, que varían de acuerdo con la dureza requerida a las condiciones litológicas, el ángulo de perforación, las condiciones operativas en cuanto a la manipulación de la máquina, entre otras.

La máquina de perforación funciona mediante un sistema hidráulico propulsado por una bomba chamber y un motor diésel (un sistema de poder eléctrico en caso de máquinas de perforación en interior mina), los cuales suministran energía a todo el sistema. Estas máquinas, en operaciones superficiales son capaces de perforar hasta 2,000 metros debido a su gran alcance y la capacidad de cambiar de línea de perforación (PQ, HQ, NQ y BQ), según las condiciones del terreno. La operación se realiza a través de un panel de control, y la experiencia del operador influye mucho en el éxito de la perforación (Soto, 2022).

En la Figura 2 se observa una máquina de perforación Sandvik DE710, puede perforar en líneas desde PQ hasta NQ en ángulos menores a -45° hasta los -90° con respecto a la horizontal, y con un alcance de hasta 600 metros en línea HQ y 800 en línea NQ.

Figura 2

Perforadora diamantina Sandvik DE710



Nota: Elaboración propia.

Además, un equipo de perforación diamantina tiene la capacidad de perforar tanto taladros positivos como negativos. Dependiendo de las condiciones de perforación, existen algunas variaciones en el procedimiento de instalación de máquina, armado y recuperación de tubo interior.

También se tienen equipos pequeños de bajo metraje, por lo general trabajan en ángulos horizontales (-20° a 20°) y operan en línea BQ, de acuerdo con las capacidades de la unidad de rotación, la capacidad de alcance de la máquina, las condiciones litológicas y otros factores, se puede optar por el equipo de perforación más adecuado a las necesidades.

2.2.3.2. Perforación diamantina en minería subterránea

La Figura 3 muestra la máquina XRD-80U de la empresa RockDrill perforando un sondaje horizontal de "ore control" en un tajo.

Figura 3

Máquina de perforación diamantina subterránea XRD-80U



Nota: Elaboración propia.

Los equipos de perforación diamantina en minería subterránea tienen un funcionamiento similar a los de superficie, con la variación de que todo el sistema es alimentado por una unidad de poder que suministra energía eléctrica a las bombas hidráulicas. La energía eléctrica asegura que no haya emisión de gases nocivos para el ser humano como el CO (monóxido de carbono). La perforación se realiza en cámaras habilitadas con una dimensión mínima de 15 x 15 metros, que cuenten con sostenimiento permanente de acuerdo a la escala GSI de clasificación geomecánica.

2.2.4. Componentes de perforación diamantina

2.2.4.1. Barras de perforación

Las barras de perforación son tubos hechos de aceros especiales que están diseñados para embonarse en los extremos a través de roscas. Estas barras tienen un diámetro inferior a la corona y al escariador, cumplen la función de transferir el torque de la unidad de rotación de la máquina hacia la corona. También a través de su cavidad se inyecta lodo de perforación y sirve como línea de distribución para el tubo interior. (Enriquez, 2021).

2.2.4.2. Sarta de perforación

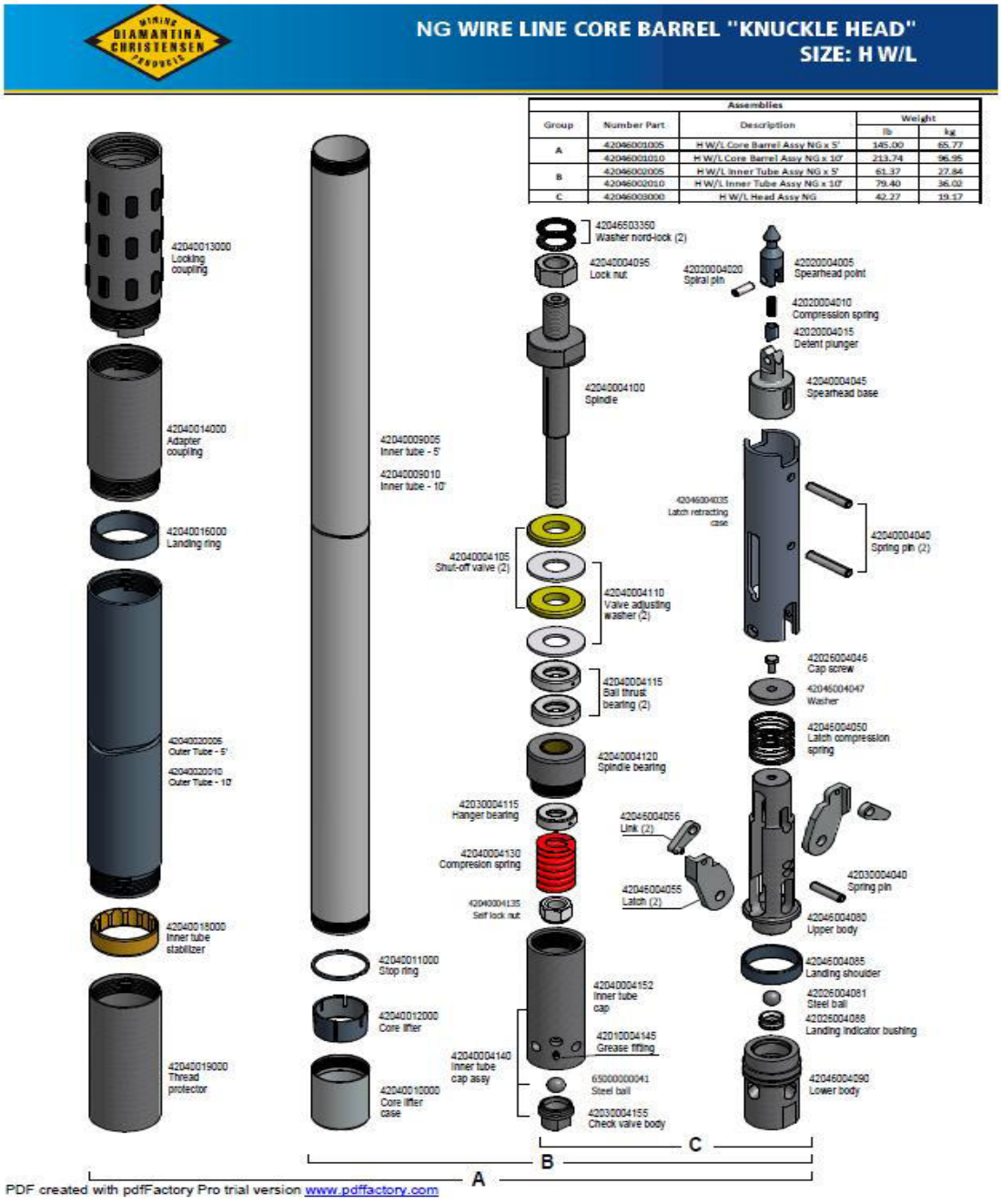
La sarta de perforación es una serie de componentes que pueden clasificarse en dos partes. La primera, el tubo exterior, compuesta por componentes que se pueden observar en la Figura 4: la broca diamantada, reaming Shell, Inner tuve stabilizer, barel o tubo exterior, landing Ring, adapter coupilng y el locking coupling.

Estos componentes son la parte exterior que están en contacto con el macizo rocoso y soportan las fuerzas de rotación y empuje, ya que están unidas a la tubería de perforación. La segunda parte conocida como tubo interior, va dentro del tubo exterior y está compuesta por: (core lifter case) o zapata, resorte (core lifter broached), seguro (stop ring), tubo interior (inner tube) y cabezal o culatín (head assembly), en caso de tratarse de sondajes geotécnicos se instalan un sensor

de orientación de testigos en el cabezal con el fin de trazar una línea en la muestra recuperada. (Vargas, 2022).

Figura 4

Sarta de perforación diamantina



Nota: Estructura de sarta de perforación estándar. (Diamantina, 2022).

2.2.4.3. Brocas o coronas diamantadas

Las brocas diamantadas son herramientas cortantes especiales utilizadas generalmente en exploración minera, pero también tienen su aplicación en la obtención de información geotécnica. Esta perforación permite la obtención de fragmentos de roca en un estado intacto y de forma cilíndrica conocido como testigo. Estas muestras obtenidas pueden someterse a una serie de pruebas para obtener datos geotécnicos como el RQD, identificación de estructuras geológicas y pueden aplicárseles análisis geológicos para la obtención de información de reservas con fines de planeamiento. Los insertos de las brocas están elaboradas a base de una matriz de diamantes naturales o sintéticos impregnados en una aleación de tungsteno. Esta estructura permite cortar la roca y recuperar un testigo en forma cilíndrica. Las brocas pueden encontrarse en diferentes diámetros de acuerdo a las condiciones y necesidades. (Mantilla, 2019). Los diámetros comerciales se pueden observar en la Tabla 1, con sus diámetros característicos tanto interior (donde va el tubo interior) como externos.

Tabla 1

Diámetros estándar de perforación en minería

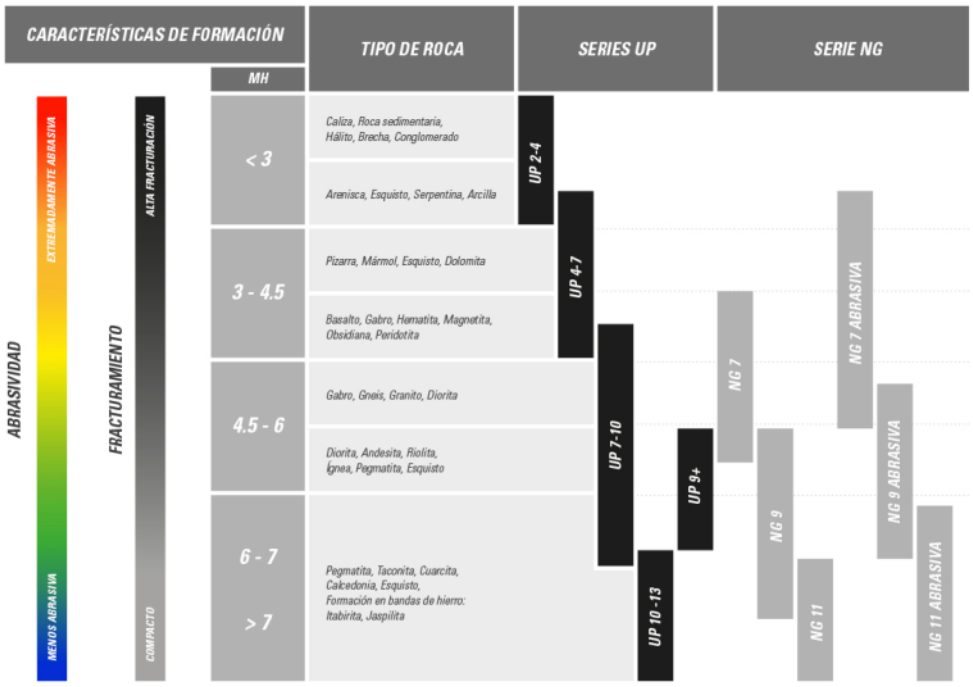
Denominación	Diámetro de testigo (mm)	Diámetro externo de pozo (mm)
AQ	27.00	48.00
BQ	36.40	60.00
NQ	47.60	75.70
HQ	63.50	96.00
PQ	84.00	122.60
BQ3	33.50	60.00
NQ3	45.10	75.70
HQ3	61.10	96.00

Nota: Los diámetros usados en la perforación diamantina. *(Mantilla, 2019)*.

De igual manera, estos tienen una clasificación conocida como “series”, que permite determinar su uso de acuerdo a las condiciones de dureza y abrasión del terreno. Se crea esta clasificación con el fin de optimizar el proceso y reducir los gastos operativos en el consumo de brocas. La clasificación se puede observar en la Figura 5.

Figura 5

Diagrama de selección de brocas



Nota: Diagrama de selección de brocas según agresividad y fracturamiento. (Bros Boyles, 2020).

2.2.4.4. Revestimiento de barras (Casing)

El revestimiento es un sistema de protección para la barra de perforación contra condiciones como derrumbes, también cumple la función de liberar el torque, este revestimiento tiene un diámetro superior a la barra de perforación y lleva una broca llamada zapata, que permite el paso de la corona (Enriquez, 2021).

2.2.4.5. Escariador

Este elemento va conectado a la broca o corona de perforación. Puede tener uno o varios anillos compuestos por carburo de tungsteno y diamantes. Su función es mantener el diámetro específico del pozo, incluso cuando la corona sufre desgaste por el uso, y evite problemas al bajar una corona nueva.

También cumple función de estabilizador. (Acuña, 2022). En la Figura 6 se puede observar escariadores de uno y dos anillos, que se usan de acuerdo a las necesidades del sondaje.

Figura 6

Escariadores de perforación diamantina



Nota: Escariadores con insertos de diamante para la perforación. (Acuña, 2022).

2.2.4.6. Fluido de perforación

El fluido de perforación es fundamental para una buena perforación. Es necesario que, antes de usar aditivos, se trate el agua (eliminando de minerales como el magnesio, calcio, zinc, etc.). La bentonita es un aditivo que cumple la función de crear un revestimiento en el pozo y permite la eliminación de detritos del sondaje.

Existen aditivos adicionales como viscosificantes u otros, que permiten trabajar en zonas donde existe presencia de arcillas que absorben el agua y tienden a hincharse, y zonas de arenamiento que pueden afectar el torque de la tubería de perforación. (Boyles, 2020).

En caso de que un sondaje presente características donde, por la presencia de fracturas de gran tamaño el retorno de presión de agua se pierda totalmente, se optara por el uso de aditivos que permitan obturar las fracturas, si esta medida no es efectiva, se optara como última opción por el kit de retención instalado en el cabezal de perforación.

Los fluidos de perforación son variados, existen productos diseñados para todo tipo de terreno; la Figura 7 muestra el producto Total Gel, tiene la característica de estabilizar sondajes con presencia de arena y arcillas. Además, permite la limpieza del sondaje y retiro de detritos evitando el colapso y atrapamiento de tubería de perforación. Es indispensable que el fluido vaya acompañado de la base de bentonita en su mezcla.

Figura 7

Aditivo de perforación bentonita sódica TOTAL GEL



Nota: Bentonita usada en la elaboración de fluido de perforación. (Fullcore Colombia, s.f.).

2.2.5. Desviación de sondajes

La perforación presenta una serie de problemas; uno de los más importantes es la desviación de sondajes. Esta se da principalmente porque este sistema funciona por rotación: la unidad de rotación genera un movimiento rotacional hacia la derecha, así como otros factores como la dureza del material, problemas mecánicos del equipo de perforación, y errores en la alineación inicial.

Una máquina de perforación de acuerdo a un plan establecido debe ser instalada apuntando a un azimut e inclinación determinados; sin embargo, a medida que la perforación avanza, estos valores iniciales irán cambiando. (Soto, 2022). La desviación tiene varios factores, los cambios en parámetros de perforación (rotación, empuje, avance fino, etc.), las condiciones geológicas, malas prácticas operativas, entre otros.

2.2.6. Medición de sondajes

Es, hoy en día, una operación fundamental en la perforación diamantina. Su fin es medir la trayectoria del sondaje desde el "collar" hasta el final, indicando las desviaciones que se presentan en el pozo perforado. Existen dos variables que se evalúan en esta medición: la primera, el azimut, un valor que determina la posición de la máquina de perforación con respecto al norte geográfico; y la segunda variable, la inclinación, que indica la posición del sondaje con respecto a la horizontal, pudiendo ser positiva o negativa. (Silva, 2008).

La información proporcionada por un sondaje de perforación diamantina geotécnica es de vital importancia; esta debe respetar los estándares de desviación máximos establecidos por el área de geología. De esta información depende el planeamiento de minado, de acuerdo con las características geotécnicas del terreno, la estabilidad de taludes y otros factores. Los testigos

obtenidos pasarán un proceso de logueo geotécnico y geológico, por lo que se debe saber la ubicación exacta de esta información.

2.2.7. Herramientas de medición de trayectoria

Las herramientas de medición son equipos especializados cuya función es realizar un registro de las desviaciones del azimut e inclinación de un sondaje realizado por una perforación diamantina. Existen diferentes marcas en el mercado, su funcionamiento es similar, pero su precisión y exactitud varían entre ellas. En la Figura 8 se puede ver el equipo GyroMaster de la marca Stockholm Precision Tools.

La empresa Stockholm Precision Tools (SPT) indica la importancia de saber la precisión del equipo y recomienda que esta sea de azimut en 3 sigma (σ) o 3 desviaciones estándar. Por lo general, otros fabricantes solo cuentan con 1 sigma; sin embargo, no lo reportan. En un caso hipotético de un pozo de mil metros, con una inclinación de -60 grados la variación se puede observar en la tabla emitida en el reporte. (Precision, 2024).

Se puede observar que el equipo GyroMaster frente a la competencia ofrece mejor precisión, dando datos altamente confiables alejándose solo 1.4 y 4.4 metros del dato real.

Figura 8

Herramienta de alta precisión GyroMaster



Nota: Herramienta GyroMaster y dispositivo PDA de programación. (Precision, 2024).

2.2.7.1. Beneficios de la implementación de herramientas de alta precisión

Según Mantilla (2019), la implementación de herramientas de alta precisión en la perforación geotécnica-diamantina ofrece múltiples beneficios, entre ellos:

- Mejora en la calidad de los datos: La obtención de muestras más precisas y representativas.
- Reducción de riesgos: Menor probabilidad de desviaciones que puedan afectar la estabilidad del terreno y la seguridad de las operaciones.
- Eficiencia operativa: Ahorro de tiempo y costos al minimizar la necesidad de correcciones posteriores y de trabajo.
- Toma de decisiones informada: Datos precisos que permiten una mejor planificación y ejecución de los proyectos mineros.

2.2.8. Propiedades geotécnicas y geológicas

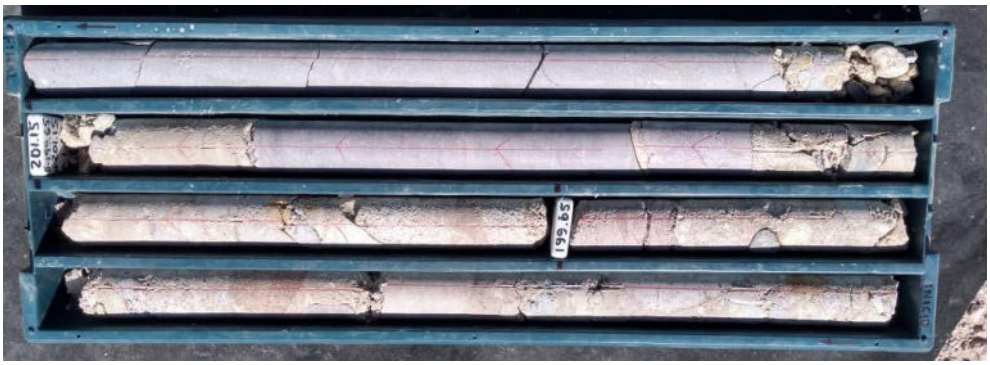
El concepto de propiedades geotécnicas define las características de suelos y rocas que determinan su comportamiento ante la estabilidad y las cargas. Estas propiedades son de gran importancia al momento de diseñar y ejecutar estructuras en los diversos campos de la ingeniería.

La geotecnia se enfoca en analizar, mediante una investigación, el subsuelo, se pueden identificar características físicas y mecánicas del mismo, a partir de las cuales se puede determinar si el desarrollo de un proyecto es viable. (Alvarez P. , 2017).

Los estudios geotécnicos, hidrogeológicos y geológicos en minería se realizan principalmente en perforaciones de tipo diamantina, aire reverso, entre otros donde a pesar de su alto costo proporcionan información de alta calidad con muestras intactas de la litología. Permiten la instalación de sensores hidrogeológicos y, ensayos en campo (Lugeon, Lefranc, Televiewer, etc.). Estos ensayos están basados en procedimientos y rigurosas normas que aseguran su veracidad. La Figura 9 muestra una caja de muestras con testigos de un tramo de 198.30 a 202.15 metros con fracturamiento.

Figura 9

Caja de muestras de perforación diamantina geotécnica HQ.



Nota: Testigos de perforación diamantina con línea de orientación. Elaboración propia.

2.2.8.1. Sistemas de clasificación geomecánica

Una forma de obtener información detallada sobre el macizo rocoso es el sistema de clasificación geomecánica, a partir de este sistema se puede construir una imagen de la composición y características mecánicas de las rocas para proporcionar estimaciones iniciales de las necesidades de apoyo.

2.2.8.1.1. Índice de calidad de la roca (RQD)

El índice de designación o rock quality designation index es usada para indicar el grado de fracturamiento del macizo rocoso y muestra la frecuencia lineal de las discontinuidades. La clasificación asigna un porcentaje al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición suelo). La forma de poder realizar la clasificación es mediante el logueo geotécnico realizado en campo, donde el geomecánico identifica las fracturas directamente en la muestra recuperada en la perforación. En perforación la forma correcta de realizar el muestreo es con un sistema HQ3 o de triple tubo, donde las lainas permitirá que la muestra no sufra movimientos bruscos antes de su clasificación. En la Tabla 2 se observa los rangos del valor de RQD.

Tabla 2

Rock quality designation index

Descripción del índice de Calidad de Roca	Valor del RQD
Muy pobre	0 – 25
Pobre	25 – 50
Regular	50 – 75
Buena	75 – 90
Excelente	90 – 100

Nota: Rangos de valor de RQD según el fracturamiento. (Roncal, 2022)

2.2.8.1.2. Rock Mass Rating (RMR)

Con este método se puede asignar una valoración a cada parámetro del macizo rocoso, tiene un valor de ajuste que depende de la orientación de las discontinuidades y tiene valores distintos para túneles, cimentaciones o taludes. Se consideran 5 parámetros a los que se le asigna un valor individual, retándole el factor de ajuste, esta es la clasificación final RMR89 Bieniawski y asigna un valor de 0 a 100.

Los parámetros a considerar son: Resistencia uniaxial de la matriz rocosa, grado de fracturación en términos del RQD, espaciado de las discontinuidades, condición de las discontinuidades (longitud de las discontinuidades, abertura, rugosidad, relleno, alteración), condiciones del agua subterránea y orientación de las discontinuidades.

Esta clasificación permite identificar el tipo de roca de acuerdo a sus características, y en caso de túneles influye de gran manera la orientación de las discontinuidades en el túnel.

2.2.8.1.3. Clasificación de rocas

La clasificación de rocas es el valor asignado al macizo rocoso luego de la evaluación, se consideran 5 tipos de roca y de acuerdo a las necesidades se asignará un tipo de sostenimiento especifico, en la Tabla 3 podemos observar la clasificación.

Tabla 3

Clasificación del macizo rocoso

Tipo de roca	RMR	Condición
Clase I	81 – 100	Roca muy buena
Clase II	61 – 80	Roca buena
Clase III	41 – 60	Roca media
Clase IV	21 – 40	Roca mala
Clase V	0 – 20	Roca muy mala

Nota: Tipos de roca según su clasificación RMR. (Roncal, 2022)

2.2.8.2. Estructuras geológicas

Las formaciones geológicas pueden analizarse en diversos rangos de magnitud, abarcando desde dimensiones continentales hasta microgrietas en la matriz rocosa. En el contexto de la geomecánica aplicada a túneles, estas estructuras se clasifican en dos categorías: las *estructuras mayores*, que comprenden zonas de cizalla y fallas de alcance regional (correspondientes a la escala minera), y las *estructuras menores*, de menor extensión, como familias de discontinuidades, estratos, entre otras (relacionadas con la escala local de un sector minero).

2.3. Recuperación de datos y emisión de informes

Una vez que se han realizado las mediciones y controles, la recuperación de datos y la emisión de informes son etapas cruciales para documentar el proceso de perforación (Alvarez M. B., 2023). Estos informes proporcionan una visión detallada de la calidad de la perforación, las desviaciones ocurridas y las acciones correctivas tomadas en la Unidad Minera Quellaveco durante la campaña de perforación geotécnica. La documentación precisa y oportuna es esencial para el análisis posterior y para la toma de decisiones en proyectos futuros, así como para ajustar la trayectoria del taladro durante el proceso de perforación, minimizando las desviaciones (Cupi & Pari, 2021).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicativo ya que se centra en la aplicación práctica de herramientas de precisión en un entorno real en una mina superficial, específicamente en la campaña de perforación. También es de tipo descriptivo y explicativo, puesto que el estudio describe las desviaciones observadas y explica cómo la implementación de la herramienta GyroMaster y el control de parámetros influyen en la desviación. (Baena, 2017).

3.1.1. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasiexperimental, ya que se compararán perforaciones realizadas con y sin el uso de herramientas de alta precisión para evaluar la efectividad de estas herramientas (Arias, 2012).

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

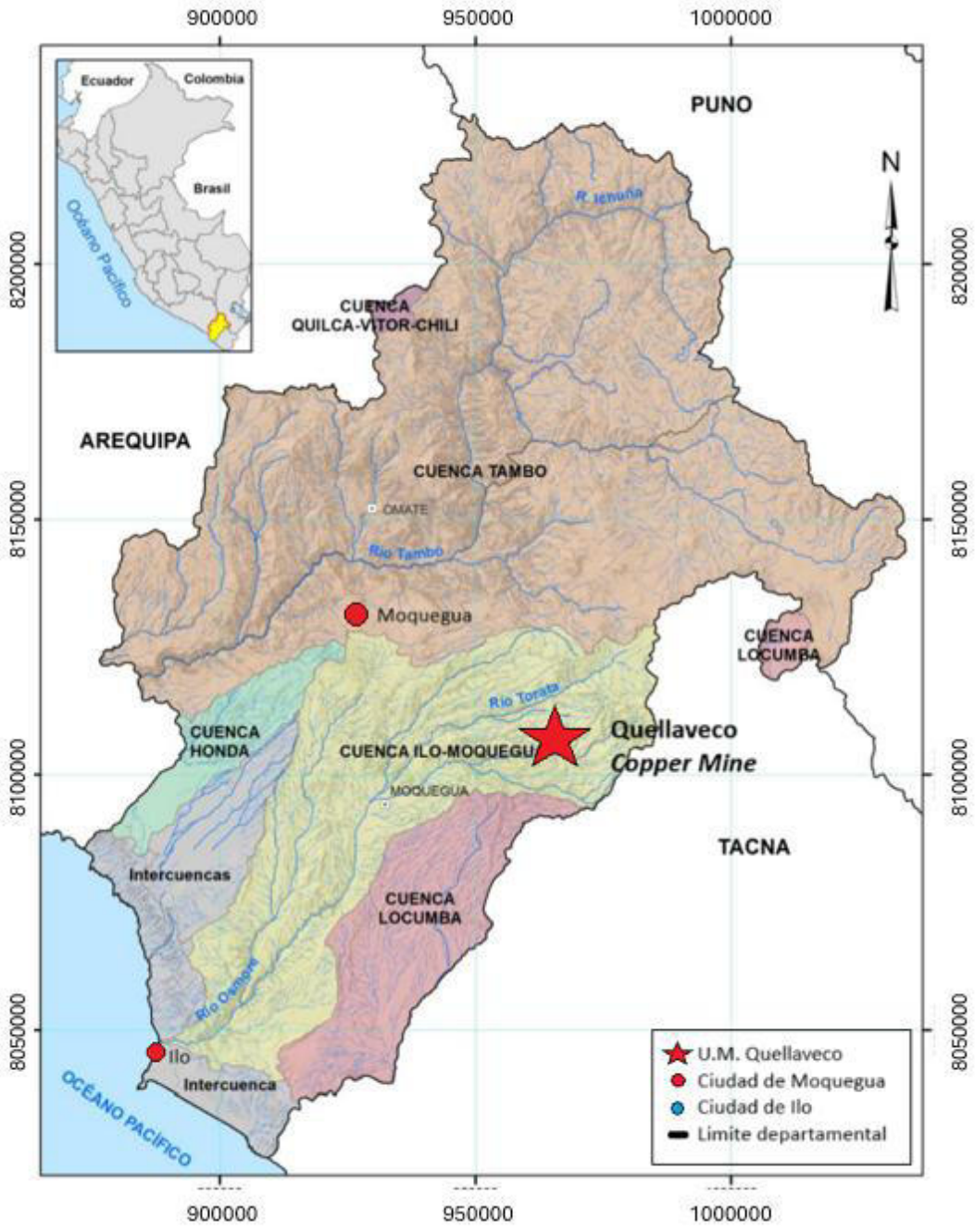
El estudio se refiere a la implementación de un sistema de medición en una campaña de perforación diamantina geotécnica con un equipo de alta precisión de la empresa SPT en un período que comprende desde diciembre del 2024 hasta marzo del 2025. Esta investigación se realizará siguiendo la secuencia de perforación de cada uno de los sondajes estudiados.

3.2.2. Ámbito espacial

El área de estudio es el tajo de la Unidad Minera Quellaveco perteneciente a Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA), ubicado en la región Moquegua, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, ubicada a 37 km de la ciudad de Moquegua, yacimiento tipo pórfido de Cobre y Molibdeno (Cu-Mo). En la Figura 10 se puede observar la ubicación de la unidad minera en el extremo este del distrito de Torata.

Figura 10

Ubicación unidad minera Quellaveco



Nota: Adaptado de Luque (2014). Sistema de coordenadas geográficas.

La Tabla 4 muestra cuatro vértices de las coordenadas gráficas en base al sistema UTM WGS84, información proporcionada por el GEOCATMIN.

Tabla 4

Ubicación unidad minera Quellaveco

Vértice	Norte	Este
1	8,108,312.57	327,466.78
2	8,108,405.32	326,471.69
3	8,108,803.36	326,508.79
4	8,108,710.61	327,503.89

Nota: Coordenadas del proyecto Quellaveco. (Geocatmin, s.f.).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población son la campaña de perforación diamantina realizadas en la Unidad Minera Quellaveco durante el periodo 2024 y 2025. La campaña consta de 80 perforaciones diamantina con una longitud de entre 100 a 600 metros de profundidad (Bernal, 2010).

3.3.2. Muestra

El cálculo de la muestra se realiza en base a la población, en la ecuación se puede observar la Ecuación 1 usada en su cálculo.

Donde:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N-1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

Para la ecuación tenemos los siguientes valores asignados:

N (Tamaño de la población) = 25
Z (Nivel de confianza) = 1.28
p (probabilidad de que ocurra el evento estudiado) = 0.5
q (Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado) =0.5
e (error de estimación máximo aceptado) = 0.30

obtenemos un resultado que asigna una muestra:

$$n = 3.99$$

El valor encontrado se redondea al próximo entero, por lo tanto, la muestra es de 4 sondajes seleccionados de los 25 en la población.

La Tabla 5 muestra los cuatro sondajes de perforación diamantina seleccionados para ser evaluados con la herramienta GyroMaster en base a datos de azimut, inclinación o Dip (Romero et al., 2021). Los sondajes fueron elegidos aleatoriamente, de acuerdo a la programación en la que se ejecutaron.

Tabla 5

Sondajes geotécnicos diamantina DDH

N°	Código	Profundidad (m)
1	AQDGT-24008	480.00 m
2	AQDGT-24001	690.00 m
3	AQDGT-25011	350.00 m
4	AQDGT-25013	500.00 m

Nota: Elaboración propia.

La selección de la muestra tomó en cuenta perforaciones en diferentes tipos de terreno y condiciones operativas; se tomarán sondajes con profundidad de entre 350 y 700 metros, esto permitirá que los registros sean dinámicos y con resultados óptimos. Se evaluaron sondajes con condiciones litológicas críticas, con terreno cambiante y presencia de fallas geológicas propias de la mineralización.

3.4. Instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Las técnicas y herramientas que se utilizaron en la recopilación de datos que son fundamentales para el desarrollo de esta investigación son:

3.4.2. Toma de datos

Los datos se obtuvieron de los reportes de avance de perforación en los sondajes geotécnicos que se realizan durante la ejecución de la perforación, observando características operativas como condiciones de la litología. Se recupera información de parámetros utilizados como: profundidad del sondaje (m), rotación (RPM), caudal de fluido (gal/min), azimut e inclinación (Dip) en el collar. Estas características definieron la desviación del sondaje siendo las más importantes la rotación y el empuje.

La medición de desviación de trayectoria de sondaje se realizó de forma progresiva de acuerdo al avance de la perforación, estimando tramos específicos de 100 metros de avance por medición de control, y una medición final cuando finalice el sondaje.

La herramienta que se utilizo es la herramienta GyroMaster para realizar las mediciones de trayectoria de sondajes, por la precisión y confiabilidad de sus resultados.

3.4.3. Planificación de sistema de medición

La planificación del monitoreo del sondaje se realizó una vez iniciada la perforación. La evaluación será constante y progresiva, obteniendo en cada medición datos en diferentes formatos (.csv, .xslx, .pdf), los que serán analizados y evaluados por el área operativa de la empresa de perforación y permitirá la toma de decisiones in situ para ajustar los parámetros. De igual manera la medición final será evaluada por el área de Geología Mina para su validación.

La herramienta encargada de realizar el procesamiento de la data cruda es el software GyroMaster V.2.7 instalado en el equipo PDA, que nos ayuda a visualizar datos, control de calidad de parámetros de medición y gráficos del sondaje medido. El software permite ver visualmente mediante gráficos la trayectoria del sondaje evaluado, las trayectorias desviadas para poder evaluar y tomar medidas de corrección.

3.4.4. Condición del punto del pozo para toma de datos

El punto o collar de perforación debe ser identificado, se deben tomar los datos de su ubicación exacta con coordenadas en el sistema UTM.

Al finalizar la perforación, se puede optar por la instalación de sensores hidrogeológicos y sísmicos en el sondaje. En la Figura 11 se observa un piezómetro instalado en un sondaje geotécnico de 560 metros, la información que ira proporcionando este sensor servirá para controlar la estabilidad de taludes durante la vida útil de la mina.

Figura 11

Collar de perforación con Piezómetro



Nota: Piezómetro PROP-03. Elaboración propia.

3.4.5. Instrumentos de investigación

Para realizar un control efectivo de desviación se debe contar primero con una movilidad para el traslado del personal calificado y el equipo de medición a la plataforma de perforación, se debe contar con las herramientas de gestión necesarias para realizar la operación (PETS, IPERC Continuo, Orden de trabajo), el equipo de medición GyroMaster debe contar con todos sus componentes (centralizadores, absorbedor de impacto, Depth Counter, PDA, etc.), al igual que con

sus herramientas debidamente inspeccionadas, el sensor debe contar con su Certificado de Calibración vigente.

Se debe respetar los procedimientos de medición para poder ejecutar una operación exitosa, así como el procedimiento establecido y los parámetros indicados por el fabricante del equipo de medición Stockholm Precision Tools.

El instrumento guía de observación de la medición y el control de desviación será el reporte de medición de medición de ingreso (INRUN) y de salida (OUTRUN) emitido por el software del equipo de medición GyroMaster 2.1.1. La información obtenida se analizará mediante el método de Bland – Almant. De igual manera, los reportes de campo diarios realizados por el equipo de perforación (perforista, ayudante tipo 1, ayudante tipo 2) especificarán los parámetros utilizados, aditivos, tipo de broca, entre otros.

3.4.5.1. Reportes de perforación diamantina

Reportes diarios realizados por el equipo de perforación en campo al culminar la guardia. Este documento es detallado y proporciona información sobre el desarrollo de las operaciones durante ese período de tiempo; datos relevantes como la recuperación de muestra por tubo perforado, control de tubería, control de casing, control de litología de perforación, sobrante de tubería, metraje de tacos, entre otros, son datos relevantes que se deben incluir.

3.4.5.2. Cuaderno de campo

Cuaderno que permanece en la máquina de perforación, donde se detalla el avance del sondaje metro a metro, características de roca, parámetros de perforación, entre otros.

3.4.5.3. Datos de equipo de medición

Datos obtenidos durante las mediciones realizadas en el control de desviación de sondajes, estos datos proporcionan información detallada de la trayectoria del sondaje diamantino. Se

obtiene una vez terminado el proceso de medición a través de la tecnología Bluetooth. Se descarga un archivo cifrado que se sube a una nube de datos. Adicionalmente, el software permite descargar los datos en varios formatos (.pdf, .xlsx, .csv), también el post-check o verificación de control de parámetros de calidad.

3.4.6. Validación de instrumentos de investigación

Todos los instrumentos mencionados son validados por el área operativa de la empresa de perforación, compuesta por residencia y supervisores de campo, de igual manera, por el jefe de Geología Mina.

De igual manera en la Figura 12 se observa el control de calidad QA/QC emitido por el software Gyromaster 2.1.1. Los checks verde indican que la medición se realizó respetando los parámetros y que se pasaron todos los controles de calidad, caso contrario indicaría una cruz roja. El parámetro más importante es el de diferencia de intervalo que no debe superar el 0.40%.

El control de calidad QA/QC puede considerar la medición errónea por varios factores, como los parámetros establecidos por el fabricante para una buena operación según las características del sondaje, así como las buenas condiciones del equipo de medición y sus accesorios. Se requiere un control constante de las buenas condiciones de los centralizadores para evitar movimientos dentro de la columna de perforación durante la medición.

Es importante identificar los accesorios adecuados para cada condición de sondaje, en ángulos de ±30° a ±70°, es recomendable usar centralizadores sólidos de baquelita o metálicos, la gravedad y los ángulos dentro de este rango mejoran la eficiencia, sin embargo; de ±70° a ±90° se sugiere utilizar centralizadores regulables que permitan que los flejes se ajusten al diámetro de la tubería y no permitan una oscilación que perjudique la toma de datos, también se debe controlar la velocidad a un máximo de 30 m/min durante la medición.

Figura 12

Control QA/QC GyroMaster 2.1.1.



Nota: Control de calidad GyroMaster. Elaboración propia.

3.5. Procedimientos

La información será obtenida de manera cuantitativa, a través de reportes de medición obtenidos de cada sondaje con el equipo GyroMaster y su software de tratamiento de datos.

El análisis se realizará por medio de un análisis progresivo de avance, cambio y control de parámetros de perforación, parámetros de dosificación de aditivos de perforación, comparación de datos, y análisis de desviación.

3.6. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

Esta investigación recolectará datos cuantitativos, obteniendo datos numéricos de la desviación de sondajes con la herramienta GyroMaster v.2.7. Se emplea la estadística descriptiva como herramienta de presentación de la información obtenida en reportes de medición, adicionalmente se utilizan tablas que detallan datos importantes, gráficas detalladas, imágenes tridimensionales de la trayectoria de los sondajes según sea conveniente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Procedimiento de medición con equipo GyroMaster

Equipo GyroMaster (giroscopio orientado al norte geográfico) registra datos cada centímetro de forma continua, con valores independientes y únicos, a lo largo de la trayectoria del sondaje. Su precisión es la siguiente: Inclinación: ± 0.05° y azimut: ± 0.5°.

A diferencia de un equipo magnético, este sistema no recibe interferencias por parte del terreno. Tampoco genera incertidumbre en los datos registrados, como sí ocurre con un equipo de azimut referenciado.

4.1.1. Identificación del equipo GyroMaster y componentes:

En la Figura 13 se observan los componentes del equipo GyroMaster, que viene dentro de una maleta de transporte. En la maleta se incluyen tanto el sensor buscador norte como la batería, además de sus aditamentos, llaves, cargadores, equipo PDA y repuestos.

Figura 13

Componentes del equipo GyroMaster



Nota: Elaboración propia.

En la Figura 14 se observa el contador de profundidad (Depth Counter en inglés) del modelo DE05, que por sus características es un equipo robusto. Cuenta con un encoder contador

de pulsos y una caja de conexión Bluetooth para su conexión al equipo PDA. Se instala directamente en la tubería y tiene una alta precisión.

Figura 14

Contador de profundidad DE05



Nota: Contador de alta precisión inalámbrico. Elaboración propia.

4.1.2. Características de operación

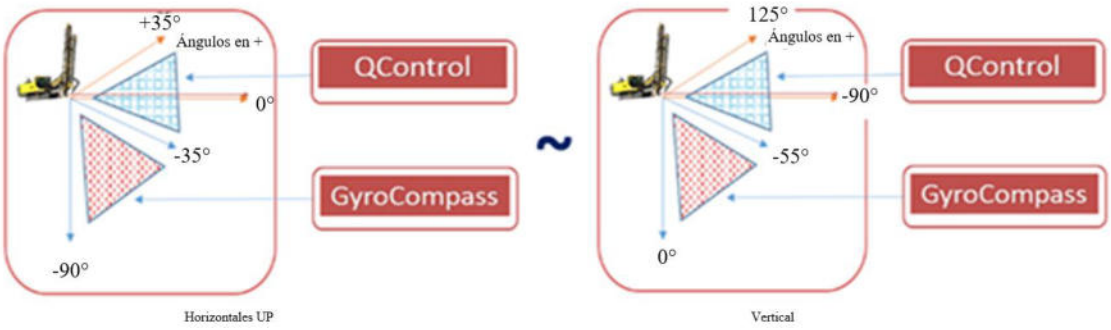
4.1.2.1. Tipos de registro de datos

Ángulos de referencia de operación para modalidad QControl (referenciado) y GyroCompass (buscador norte) de acuerdo al ángulo de perforación, como se observa en la Figura 15. La diferencia entre los dos tipos de operación radica en las condiciones del sondaje: la opción *buscador norte*, se desarrolla en sondajes con un ángulo de -90° hasta -35° con respecto a la horizontal, permitiendo que el equipo, mediante sus acelerómetros, pueda calcular el norte geográfico.

El modo Qcontrol está diseñado para sondajes horizontales con un ángulo de operación de -35° a +35°. Estos requieren que el operador introduzca el dato de azimut directamente al equipo y, a partir de este, se pueda calcular la desviación. Por lo general, se usan en perforación de interior mina.

Figura 15

Tipos de medición con equipo GyroMaster



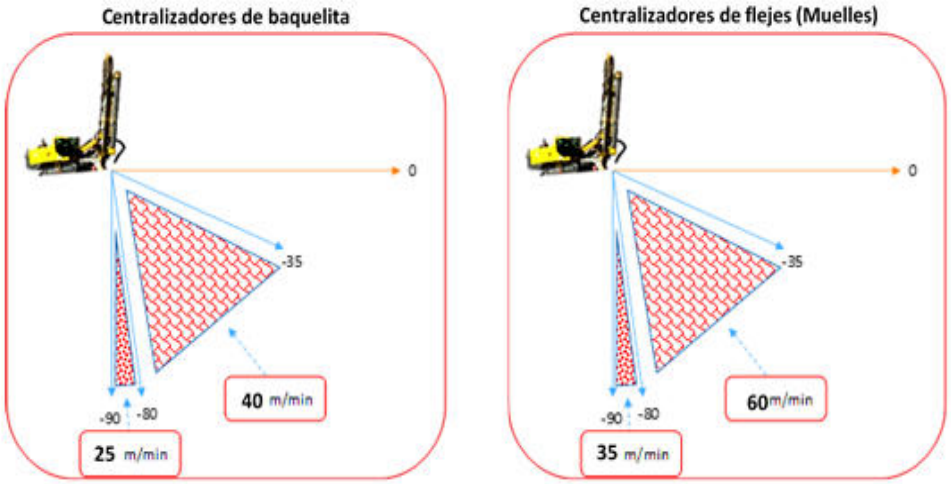
Nota: Elaboración propia.

4.1.2.2. Tipo de GyroCompass

La herramienta operada en la función GyroCompass (de ±35° a -90°) debe respetar parámetros de operación. Entre los más importantes está la velocidad antes de realizar un GyroCompass, como se observa las recomendaciones en la Figura 16.

Figura 16

Velocidades para el GyroCompas



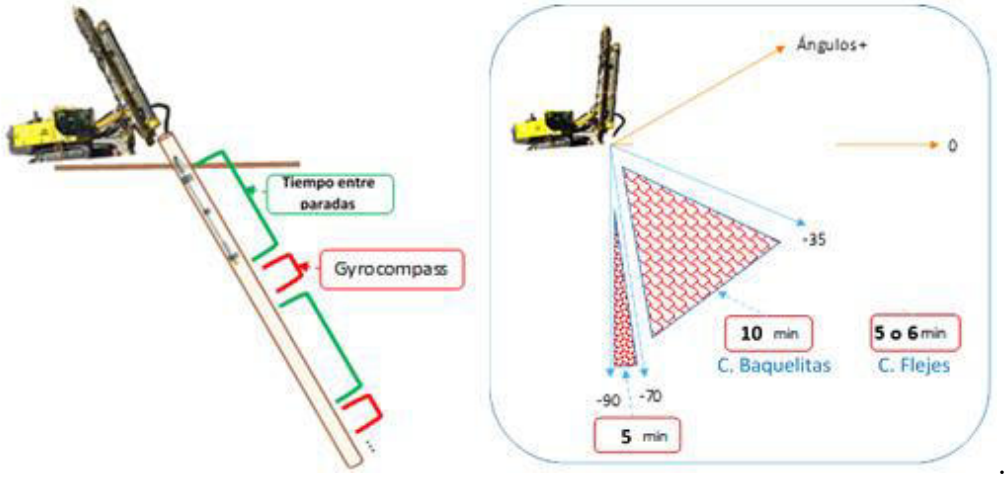
Nota: Velocidades para operación según los ángulos de equipo GyroMaster. Elaboración propia.

4.1.2.3. Tiempo de paradas para GyroCompass

El tiempo de parada para realizar el GyroCompass es variable y depende del accesorio que se esté usando como centralizador, también del ángulo de operación, condiciones operativas del cable Wireline de la máquina de perforación, entre otros. En la Figura 17 se observan parámetros recomendados por el fabricante.

Figura 17

Tiempo de paradas para GyroCompas



Nota: Tiempos recomendados para realizar el GyroCompass. Elaboración propia.

4.1.3. Ensamblaje de GyroMaster

El ensamblaje del equipo GyroMaster como se visualiza en la Figura 18 consiste primero en acoplar el sensor con la batería de litio en posición vertical, también se deben acoplar los centralizadores y barra de peso (si es requerida) en la parte inferior, seguida del absorbedor de impacto. El ajuste se debe realizar en una superficie horizontal, preferentemente sobre el caballete porta tubo interior.

Es importante que se realice un ajuste óptimo y la inspección de los O-rings para evitar la filtración de agua a los componentes electrónicos.

Figura 18

Equipo GyroMaster ensamblado



Nota: Elaboración propia.

4.1.4. Secuencia de Programación GyroCompas en modo Continuo.

La programación del equipo GyroMaster se realiza en un Dispositivo Android (PDA) vía Bluetooth. La aplicación "GyroMaster" tiene una interfaz fácil de programar; la secuencia se puede observar en la Figura 19.

Figura 19

Secuencia de Programación GyroMaster



Nota: Elaboración propia.

Cuando se realiza una primera configuración, es importante ingresar el factor del encoder del contador de profundidad (0.001248160) para mayor precisión. Otra recomendación es mantener tanto el sensor como la caja Bluetooth con al menos 50 % de carga.

La configuración cuando el equipo se configura en buscador de norte no requiere el ingreso de azimut, pero sí las coordenadas del sistema geográfico UTM, una vez programado el equipo, se da un tiempo prudente para poder instalar el sensor en la tubería.

Cuando se realice el GyroCompass (momento de búsqueda de norte), el sensor no debe sufrir perturbaciones; por lo tanto, no realizar movimientos bruscos ni vibraciones. Se requiere controlar al mínimo este aspecto; de esto depende el éxito de la medición.

En caso de equipos de perforación que tienen problemas con el freno de cable wireline, se debe optar por el uso de un alicate de presión. Este se coloca en la tubería asegurando que se anule el movimiento del cable, de igual manera en las paradas de 5 minutos.

4.1.5. Secuencia de Survey (Medición) GyroCompass en Continuo

Para evitar algún evento que pueda culminar en la pérdida del equipo de medición, se recomienda realizar la prueba con un tubo interior armado en el barrel. El equipo de medición realizará dos mediciones: una de entrada y otra de salida. Realizará su descenso conectado al Overshot (pescante) de la máquina de perforación, y el contador de profundidad anclado a la tubería del collar.

El descenso y ascenso del equipo debe realizarse con velocidad constante, respetando las paradas de cinco minutos para que se realice el GyroCompass (orientación). Una vez que el equipo termina su recorrido de medición, se debe descargar los datos por medio de Bluetooth. Con los datos obtenidos la aplicación determina si la medición se encuentra dentro del rango permitido, caso contrario se debe repetir el proceso.

4.1.6. Inspección de datos

Los datos descargados en la aplicación GyroMaster deben pasar los controles de calidad (QA/QC) para validar la información como confiable.

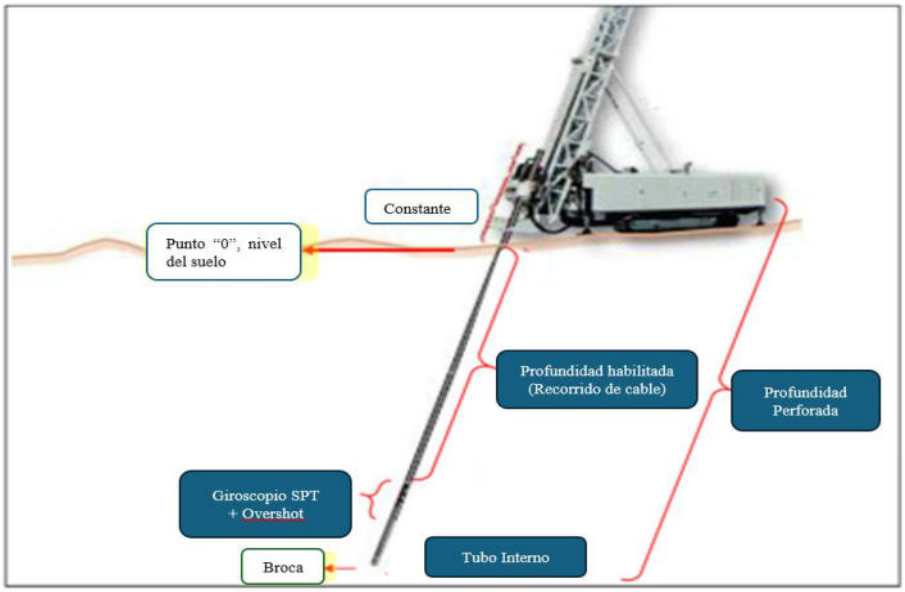
La aplicación nos permite visualizar los datos de cabecera, medición, gráficos y revisar los controles de calidad. En la pestaña de medición, pueden verse tanto la de entrada como la de salida, datos de la variación del azimut e inclinación en la trayectoria, entre otros. Los datos pueden ser descargados en diferentes formatos (.csv, .xlsx, .pdf, etc.) para su tratamiento en un software.

4.1.7. Cálculo de factor de seguridad en función de la profundidad

En la instalación del equipo GyroMaster se debe considerar su longitud de tres metros, sumarle la longitud del pescador (1.5m) donde se sujeta el giroscopio. La suma total sería 4.5 metros, que se debe descontar de la profundidad perforada. La distribución correcta se puede observar en la Figura 20.

Figura 20

Secuencia de medición en máquina de perforación DDH



Nota: Elaboración propia.

Se debe añadir la longitud del tubo interior, que por lo general mide tres metros, pero puede ser de menor longitud. La Ecuación 2 muestra el cálculo que se debe realizar.

$$Profundidad\ habilitada\ =\ Profundidad\ Perforada\ -$$
$$(Constante\ +\ Giroscopio\ +\ Pescador\ +\ Tubo\ interno) \quad (2)$$

En la práctica, debe tenerse en cuenta que, en lo posible, se debe evitar el impacto de la herramienta con el tubo interior. Por lo tanto, este factor se debe respetar con el fin de salvaguardar el equipo.

4.2. Medición de sondajes sin control de desviación

Se realizó la medición preliminar en sondajes que fueron perforados sin un control constante durante el avance. Los sondajes indicados en la Tabla 5, contemplan dos perforaciones iniciales: la AQDGT-42008 y AQDGT-24001. Los sondajes indicados, se perforaron en su totalidad sin un control de parámetros y con un avance acelerado, luego de que se culminaron los sondajes, se usó la herramienta de medición para realizar el control final de desviación, encontrando valores fuera del rango máximo permitido por el área de geología.

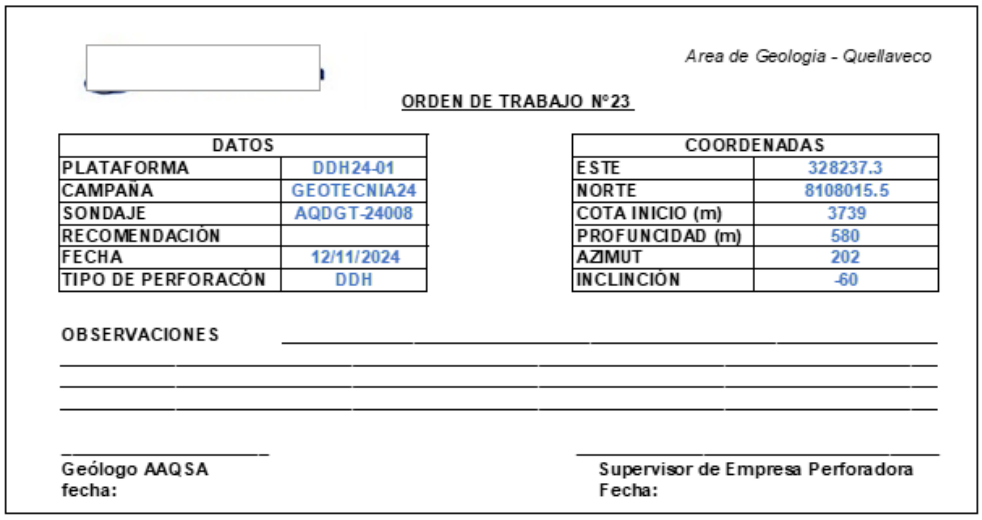
Se implementó el control de desviación con el fin de comprobar los resultados positivos en los próximos sondajes y verificar si es posible tener un control completo de la desviación.

4.2.1. Sondaje AQDGT-24008

El sondaje forma parte de una campaña de perforación geotécnica programada en el año 2024. Preliminarmente, se realiza una orden de trabajo emitida por el área responsable, en la cual se detallan las coordenadas de collar, características del sondaje, entre otros datos, como se puede observar en la Figura 21. Adicionalmente, se indicó que se perfora la totalidad del sondaje en línea HQ, se usó un barrel estándar de 10 pies con una broca serie 4 para terreno abrasivo, y se perfora sin control de desviación.

Figura 21

Orden de trabajo perforación DDH



Area de Geologia - Quellaveco

ORDEN DE TRABAJO N°23

DATOS	
PLATAFORMA	DDH24-01
CAMPAÑA	GEOTECNIA24
SONDAJE	AQDGT-24008
RECOMENDACIÓN	
FECHA	12/11/2024
TIPO DE PERFORACÓN	DDH

COORDENADAS	
ESTE	328237.3
NORTE	8108015.5
COTA INICIO (m)	3739
PROFUNCIDAD (m)	580
AZIMUT	202
INCLINCIÓN	-60

OBSERVACIONES

Geólogo AAQSA
fecha:

Supervisor de Empresa Perforadora
Fecha:

Nota: Elaboración Propia.

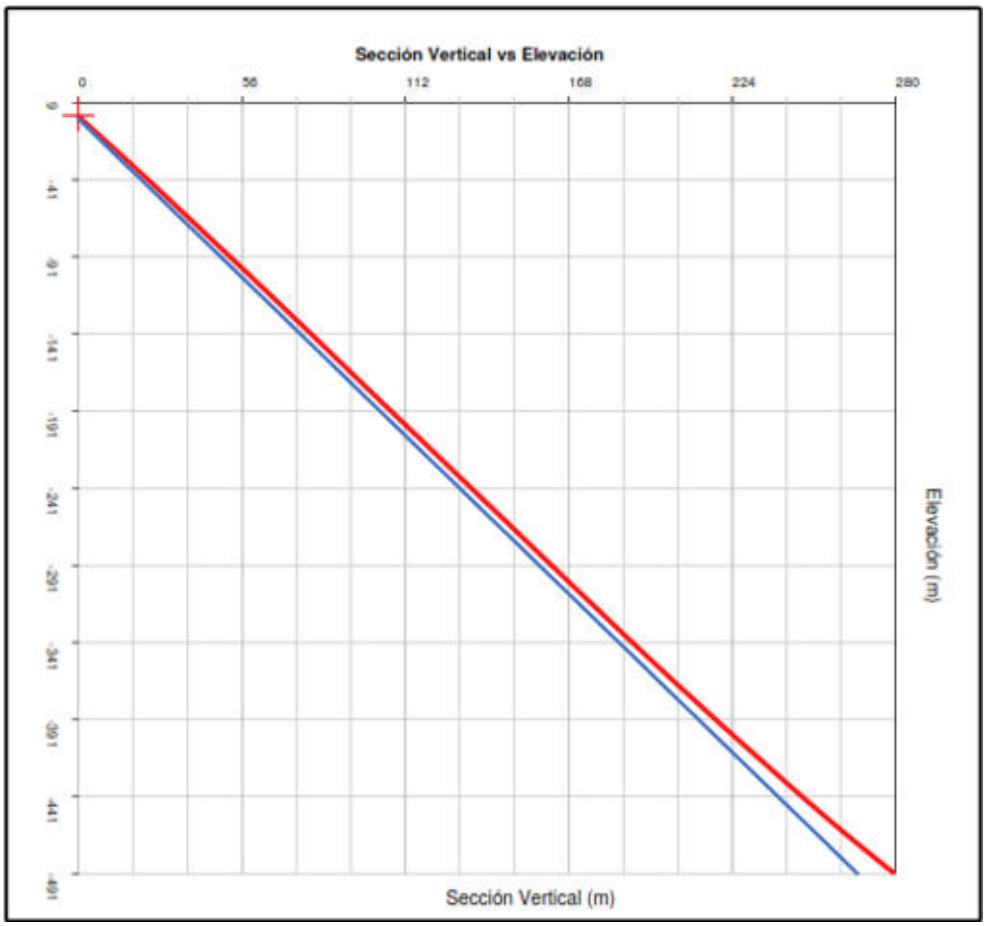
4.2.1.1. Medición del sondaje AQDGT-24008

Una vez culminado el sondaje se realiza la medición final con el equipo Gyro, se emite un reporte de medición por el software del GyroMaster, el que visualizamos la trayectoria de la medición. La medición se realizó tanto en descenso como en ascenso. En este caso podemos observar en la Anexo 3 los datos recopilados por el equipo GyroMaster en un reporte: se observó una desviación de 3.67° de inclinación hacia la horizontal y 9.65° en azimut hacia la derecha con respecto al programa. Si bien la inclinación está dentro del límite máximo permitido (1° cada 100 metros), el azimut excede por mucho este límite. Se evidenció una perforación muy deficiente donde no se aplican parámetros para la corrección de la desviación, y en consecuencia, se tendrán penalidades en la valorización.

La Figura 22 muestra la comparación entre la sección vertical y la elevación. Se observa la desviación de la inclinación en la trayectoria del sondaje (línea roja), con una tendencia de irse hacia la horizontal, en comparación con lo planeado, que se puede visualizar en la línea azul.

Figura 22

Sección vertical vs elevación AQDGT-24008



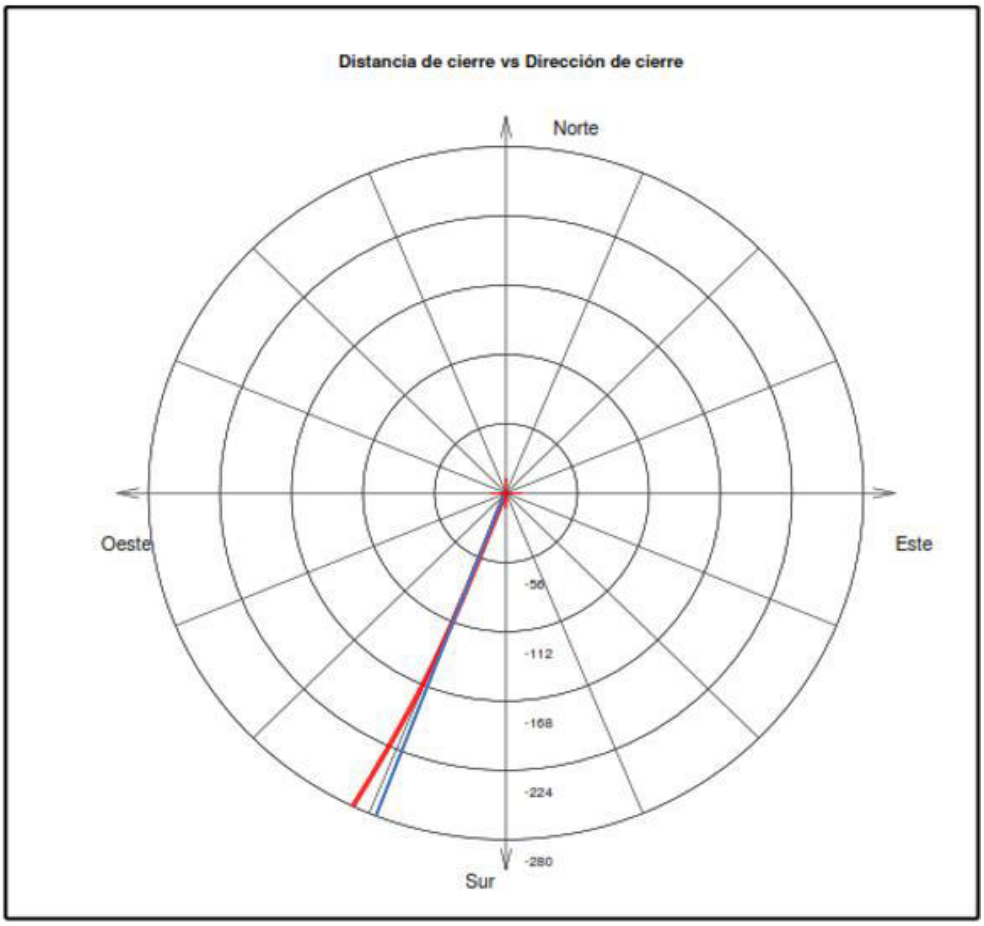
Nota: Elaboración propia.

En la Figura 23 se observa la distancia de cierre versus dirección de cierre, donde, en el plano de 360°, el azimut planeado (azul) y el medido (rojo) muestran una curvatura que se prolonga en el espacio, evidenciando una alta desviación de sondaje.

El azimut planeado en el collar fue 202°, sin embargo, según el reporte de medición a los 565 metros, tenemos un azimut final de 211.65°, teniendo una desviación total de 9.65°, y también podemos ver que esta desviación se da a partir de los 200 metros con mayor intensidad, creando una curva y creando complicaciones en la operación.

Figura 23

Distancia de cierre vs dirección de cierre AQDGT-24008



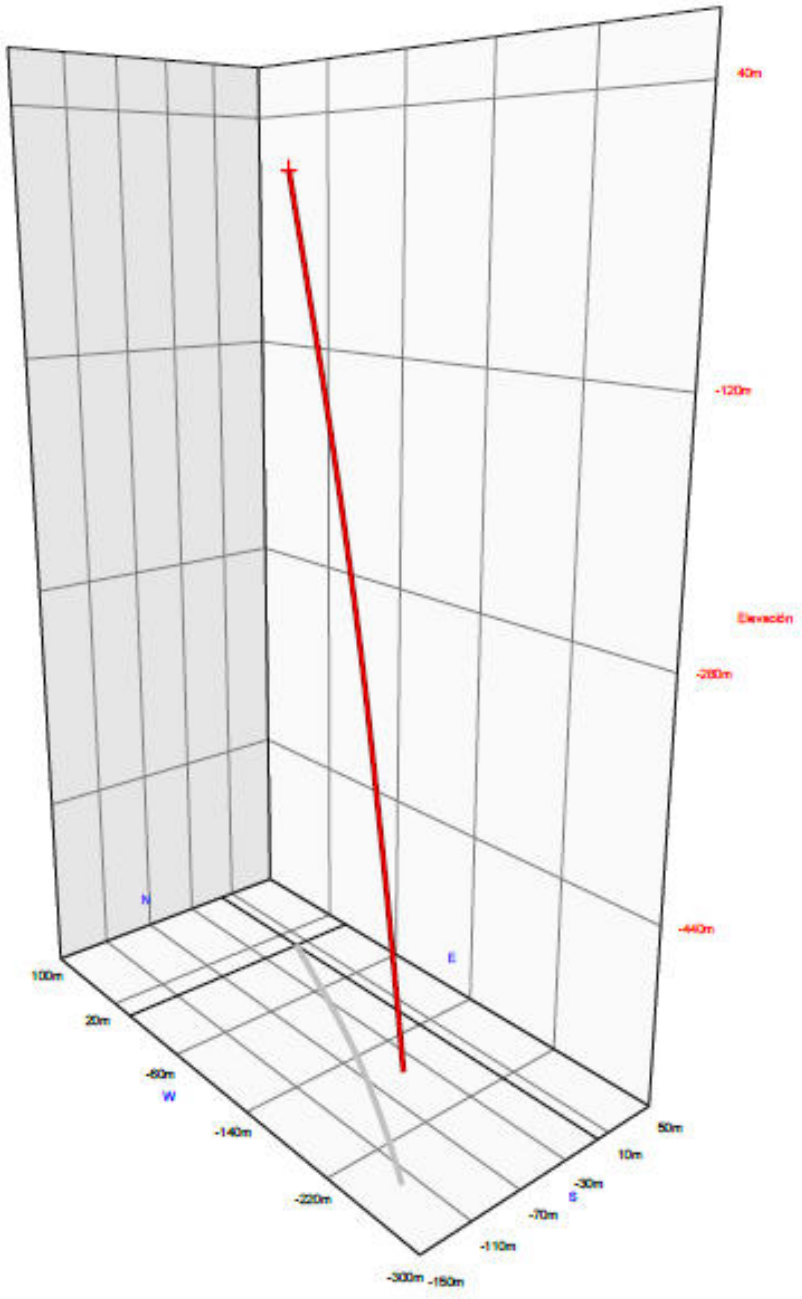
Nota: Elaboración Propia

Con los datos proporcionados por la herramienta de medición (Anexo 3), podemos graficar una imagen tridimensional del sondaje. Es de gran utilidad tener una imagen completa del sondaje en el espacio, donde se replica facilmente los problemas de desviación y sustentar las condiciones que pudieran haber originado este problema.

En la Figura 24 se observa el sondaje AQDGT-24008 presenta desviaciones tanto en azimut como inclinación (Dip). Las curvas son evidencia de cómo la tubería de perforación se deformó durante el avance del sondaje.

Figura 24

Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-24008



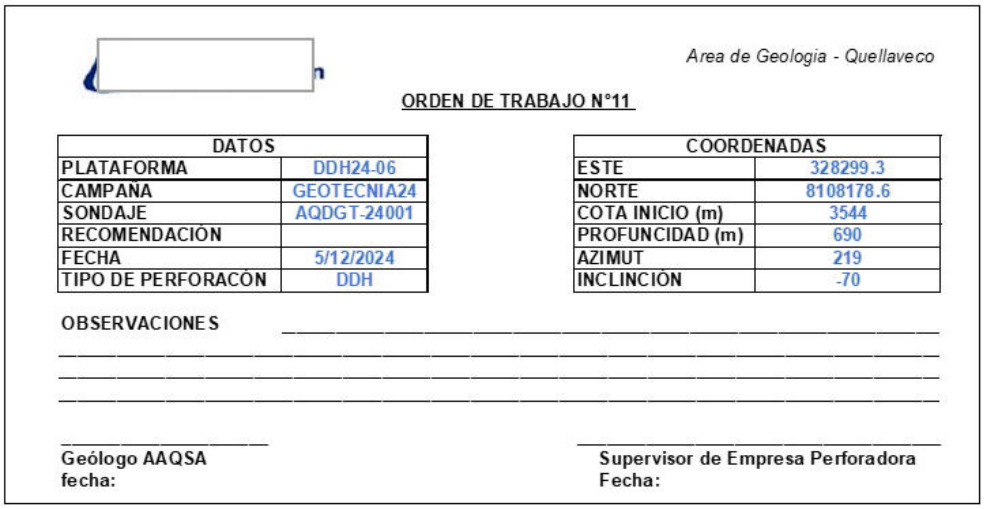
Nota: Elaboración propia

4.2.2. Sondaje AQDGT-24001

El sondaje AQDGT-24001 se inició el 05/12/2024 como parte de la campaña geotécnica 2024. Dentro de sus características observadas en la Orden de Trabajo N° 11 (Figura 25), el sondaje tiene un programa con una profundidad media alta y se perfora en su totalidad en la línea HQ. Se realizó sin control de desviación ni ajuste de parámetros, íntegramente con un barrel estándar de 10 pies, con una broca serie 7 para terreno semiduro.

Figura 25

Orden de trabajo del sondaje AQDGT-24001



Area de Geologia - Quellaveco

ORDEN DE TRABAJO N°11

DATOS	
PLATAFORMA	DDH24-06
CAMPAÑA	GEOTECNIA24
SONDAJE	AQDGT-24001
RECOMENDACIÓN	
FECHA	5/12/2024
TIPO DE PERFORACÓN	DDH

COORDENADAS	
ESTE	328299.3
NORTE	8108178.6
COTA INICIO (m)	3544
PROFUNCIDAD (m)	690
AZIMUT	219
INCLINCIÓN	-70

OBSERVACIONES

Geólogo AAQSA
fecha:

Supervisor de Empresa Perforadora
Fecha:

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.1. Medición del sondaje AQDGT-24001

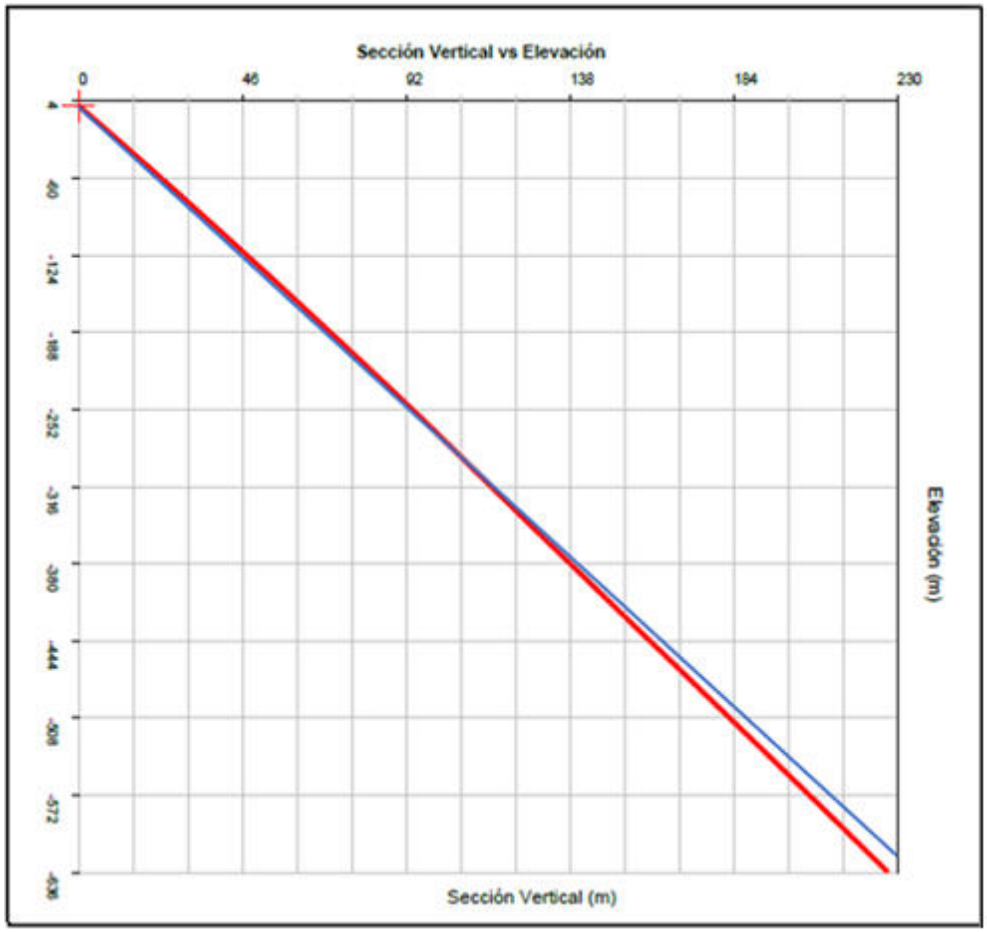
El sondaje tiene ángulo de inclinación (dip) de -70°, y se debe mantener un azimut de 219°; sin embargo, en el reporte de medición que se observa en el Anexo 4 se aprecia una pronunciada desviación, producto de la falta de control.

La Figura 26 muestra una comparativa del sondaje en las vistas sección vertical versus elevación, donde en color azul se observa la inclinación planeada por geología, y en color rojo la trayectoria medida por la herramienta GyroMaster, mostrando una caída en su trayectoria.

La inclinación planeada en el collar es de -70° con respecto a la horizontal, si revisamos la medición (Anexo 4), vemos que la inclinación final a los 675 metros es de -70.97°, con una desviación final de 0.97°. Sin embargo, esta trayectoria no fue progresiva, sino que tuvo bajadas y subidas como se observa en la imagen (línea roja).

Figura 26

Sección vertical vs elevación del sondaje AQDGT-24001



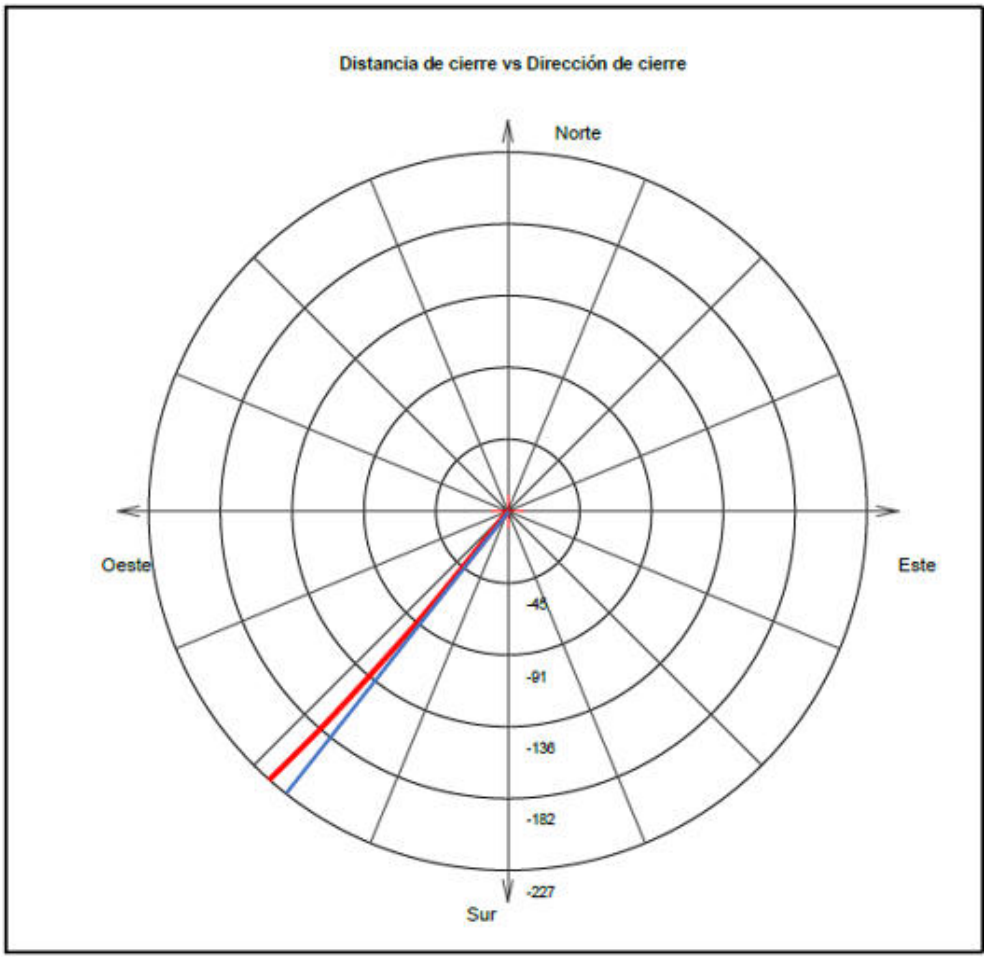
Nota: Elaboración propia.

La Figura 27 muestra un plano de 360°, donde, en azul, se representa el azimut planificado por el área de geología y, en rojo, la trayectoria medida por la herramienta GyroMaster.

El azimut planeado en el collar se estableció en 219°, los datos obtenidos en la medición (Anexo 4) muestran a una profundidad final de 675 metros, un azimut de 226.72°, dando una desviación total de 7.72°, fuera del máximo permitido, evidenciando una curva progresiva por la falta de control de parámetros de perforación. Esta desviación excesiva genera pérdidas para la contratista.

Figura 27

Distancia de cierre vs dirección de cierre del sondaje AQDGT-24001



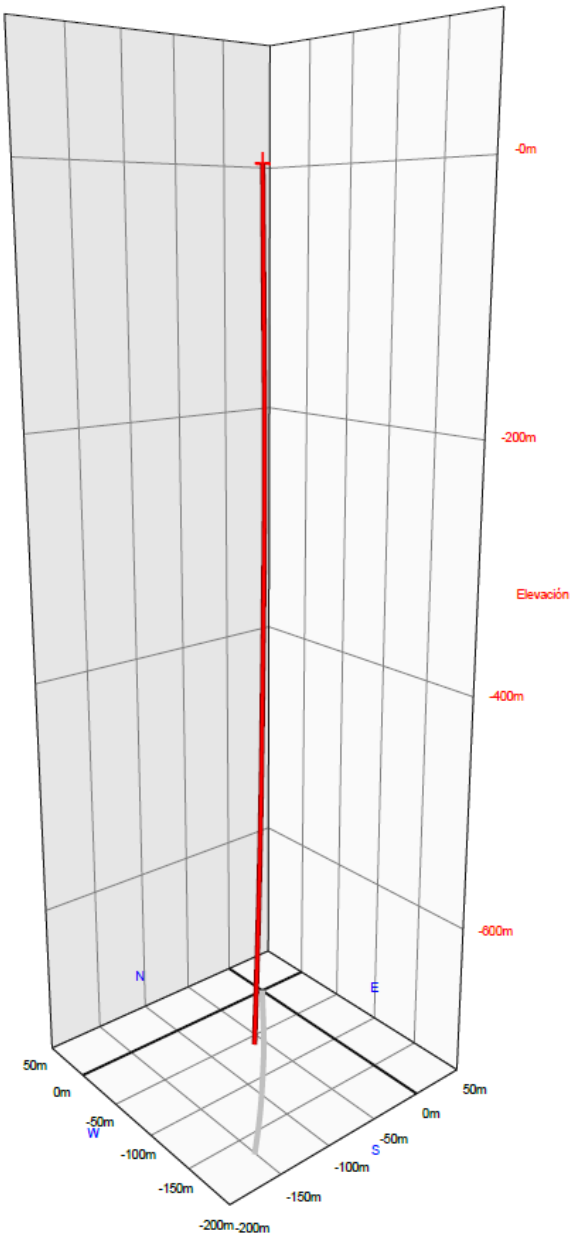
Nota: Elaboración propia.

La Figura 28 muestra la trayectoria tridimensional del sondaje AQDGT-24001, donde se aprecia una desviación pronunciada a pesar de tener un ángulo de inclinación de -70°. Aunque esta

curvatura era controlable mediante el cambio de accesorios, no se implementaron medidas de control durante la perforación del sondaje.

Figura 28

Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-24001



Nota: Elaboración propia

4.3. Medición de sondajes aplicando control de desviación

El control de desviación es una propuesta de aplicación para tener una reacción temprana ante la desviación de sondaje en una perforación diamantina. La perforación diamantina, a lo largo de su historia, ha tenido como problema principal la desviación de la tubería de perforación; esto se debe a muchas variables: rotación, empuje, litología, calidad del lodo, etc. Sin embargo, estos parámetros se pueden ajustar dependiendo de las condiciones del sondaje.

El control de trayectoria se basa en realizar mediciones constantes durante la perforación. Estas mediciones permiten una toma efectiva de decisiones operativas que ayudan a corregir la trayectoria. Es importante que la herramienta sea de alta precisión y asegure que los resultados sean eficientes.

La herramienta GyroMaster asegura, como máximo, 1° de error en azimut y 0.3° en inclinación; estos parámetros la hacen ideal para realizar trabajos de alta precisión. Asimismo, se garantiza velocidades de operación de hasta 70 m/min, resultando altamente eficiente y evita perjudicar el avance de perforación. La implementación se realizó en sondajes de perforación diamantina de la campaña 2025.

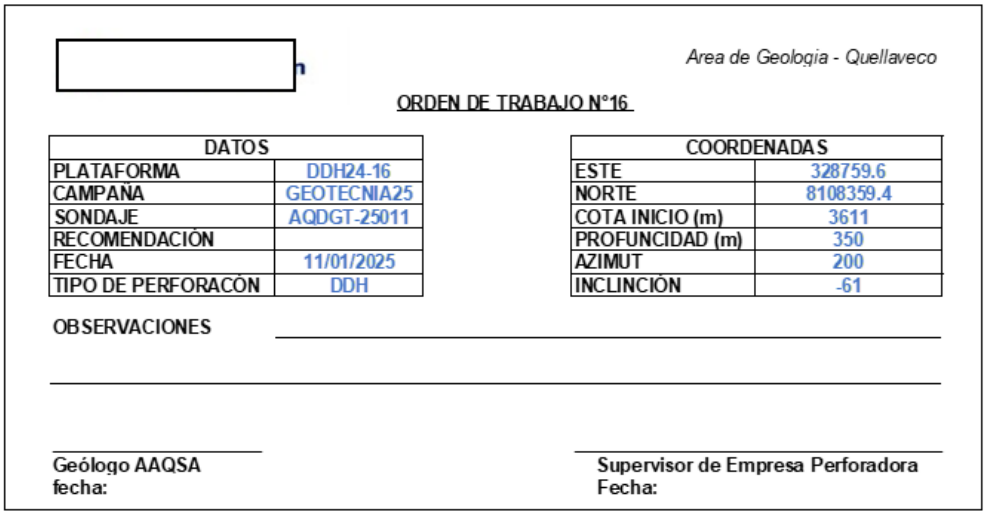
4.3.1. Sondaje AQDGT-25011

El sondaje con una profundidad media de 350 m será perforado íntegramente en línea HQ. La perforación se realiza según lo planeado por geología, como se observa en la Orden de Trabajo N° 16 (Figura 29).

El azimut inicial fue proporcionado por el área de geología, sin embargo; se usó un equipo de alta precisión que permite ajustar los datos del azimut e inclinación en el collar. Cabe resaltar que los controles se realizaron en tramos relativamente largos y con el fin de tener una reacción temprana a los problemas operativos y de desviación del sondaje.

Figura 29

Orden de trabajo del sondaje AQDGT-25011



Area de Geologia - Quellaveco

ORDEN DE TRABAJO N°16

DATOS	
PLATAFORMA	DDH24-16
CAMPAÑA	GEOTECNIA25
SONDAJE	AQDGT-25011
RECOMENDACIÓN	
FECHA	11/01/2025
TIPO DE PERFORACÓN	DDH

COORDENADAS	
ESTE	328759.6
NORTE	8108359.4
COTA INICIO (m)	3611
PROFUNCIDAD (m)	350
AZIMUT	200
INCLINCIÓN	-61

OBSERVACIONES

Geólogo AAQSA
fecha:

Supervisor de Empresa Perforadora
Fecha:

Nota: Elaboración Propia.

4.3.1.1. Primera medición a los 140 metros

La primera medición a los 140 m proporciona datos iniciales de la trayectoria del sondaje (Anexo 5). Con intervalos de 5 metros para tener una mejor visión de las variaciones, se observa una desviación negativa en la inclinación, lo que motiva medidas correctivas: cambio de barrel Full Hole por el estándar de 5 pies, reducción de empuje, entre otros. Estas acciones permitirán la corrección de la trayectoria del sondaje.

4.3.1.1.1. Aplicación de parámetros de perforación

Como parte de las medidas correctivas, se ajustan los parámetros de perforación según las condiciones del sondaje. La primera medición muestra que se tiene una desviación de 0.92° en azimut (tendencia a la izquierda) y 1.61° en inclinación (tendencia a la vertical). El ajuste de parámetros permitirá que se logre mantener y, en el mejor de los casos, recuperar la trayectoria del sondaje. La Tabla 6 indica los parámetros aplicados con el fin de corregir la trayectoria del sondaje con la referencia de la medición.

Tabla 6

Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25011 a los 140 metros

Parámetros de perforación	Unidad	Recomendación
Rango de volumen de fluido (caudal)	Gpm	11
Velocidad de rotación	Rpm	1100
Velocidad de penetración	pulg/min	10
Rango indicado del peso sobre la broca	Libras	4,500
Presión de trabajo	Psi	350
Serie de broca	Serie	UP 4-7
Línea de perforación	-	Hq
Core barrel	-	Estándar
Longitud de barrel	Ft	5

Nota: Elaboración propia.

4.3.1.1.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación

El control de fluidos de perforación es esencial para el control adecuado de la trayectoria y para evitar problemas operativos (atrapamiento de tubería, torque alto de perforación, enlamado, desgaste de componentes, etc.). La Tabla 7 detalla la optimización en el uso de aditivos para perforar eficientemente la roca fracturada, también se detecta pequeños tramos de arcilla que se requiere controlar para evitar atrapamiento de tubería.

Tabla 7

Parámetros de fluidos de perforación del Sondaje AQDGT-25011 a los 140 metros

Aditivos de perforación	Cantidad por 1000 litros (kg)	Tiempo de mezclado (min)
WATER FORCE	0.5	1
SUPER GEL	2.0	11
VIS	1.0	12
POLY XCD	0.5	10
CHP ULTRA	0.3	4

Nota: Elaboración propia.

4.3.1.2. Segunda medición a los 230 metros

La segunda medición se realizó a los 230 m (por cambio de litología), los datos obtenidos (Anexo 6) muestran una recuperación en la inclinación, confirmando la efectividad de los ajustes de parámetros implementados. Pese a la desviación persistente en azimut (izquierda), el cambio litológico sugiere una recuperación progresiva.

4.3.1.2.1. Aplicación de parámetros de perforación

El reporte de la segunda medición a los 230 metros (Anexo 6) muestra que la inclinación se ha mantenido estable a lo largo de la trayectoria. Sin embargo, el azimut muestra una desviación de 1.38° (ligeramente superior), pero se encuentra dentro del límite permitido (1° cada 100 m). Se recomienda mantener los parámetros indicados en la Tabla 6.

4.3.1.2.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación

El análisis litológico justifica los cambios indicados en la Tabla 8, particularmente ante la presencia de una falla geológica (26 metros de potencia). La optimización de fluidos de perforación busca disminuir el torque y evitar un posible atrapamiento. El revestimiento se encuentra en 80 metros, por lo que no tiene un impacto directo en la liberación de torque.

Tabla 8

Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25011 a los 230 metros

Aditivos de perforación	Cantidad por 1000 litros (kg)	Tiempo de mezclado (min)
WATER FORCE	0.5	1
SUPER GEL	2.0	10
VIS	2.0	8
KLAB STAB	1.5	1
CHP ULTRA	0.5	3

Nota: Elaboración propia.

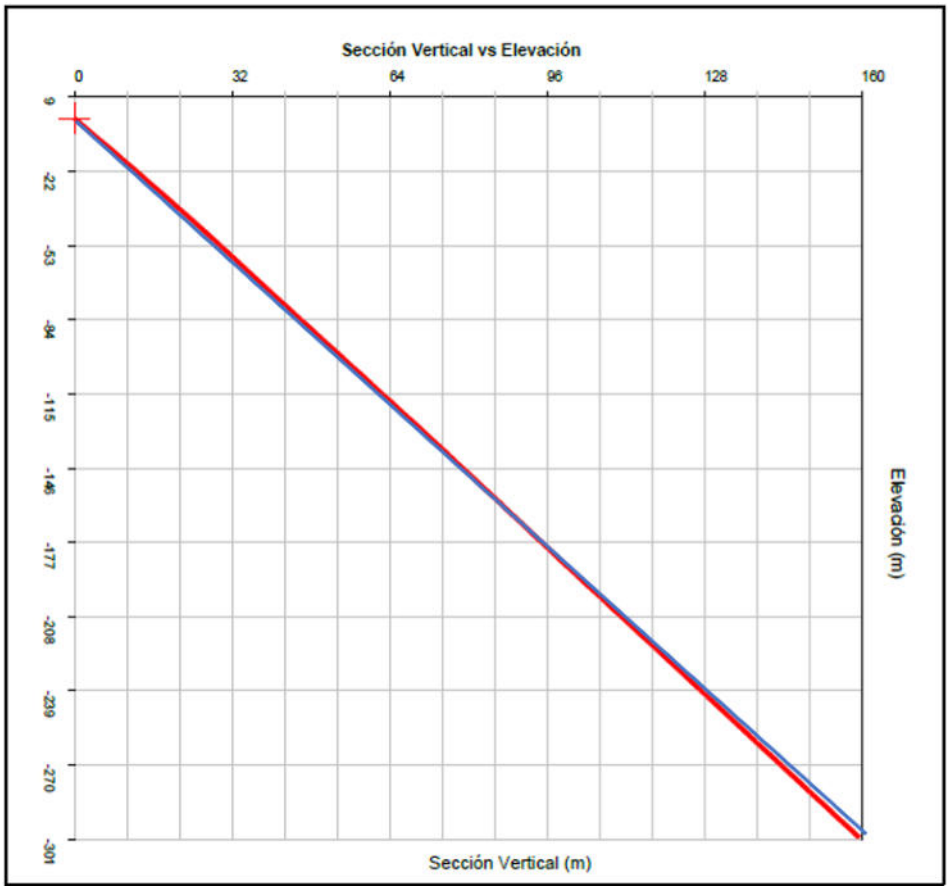
4.3.1.3. Tercera medición a los 340 metros

La medición final se realizó a los 340 m, los datos obtenidos (Anexo 7) muestra que la inclinación se ha mantenido respecto de la última medición. El azimut tiene una variación de 1.64°, mientras que la inclinación tuvo una desviación de 1.74°. La alta eficiencia de la aplicación de parámetros fue eficaz, el sondaje está dentro del límite permitido por la unidad minera, mostrando la eficiencia de la reacción temprana.

La Figura 30 compara la sección vertical con la elevación del sondaje. La línea azul indica la trayectoria planeada por el área de geología, y la roja, la trayectoria real medida.

Figura 30

Sección vertical vs elevación del sondaje AQDGT-25011



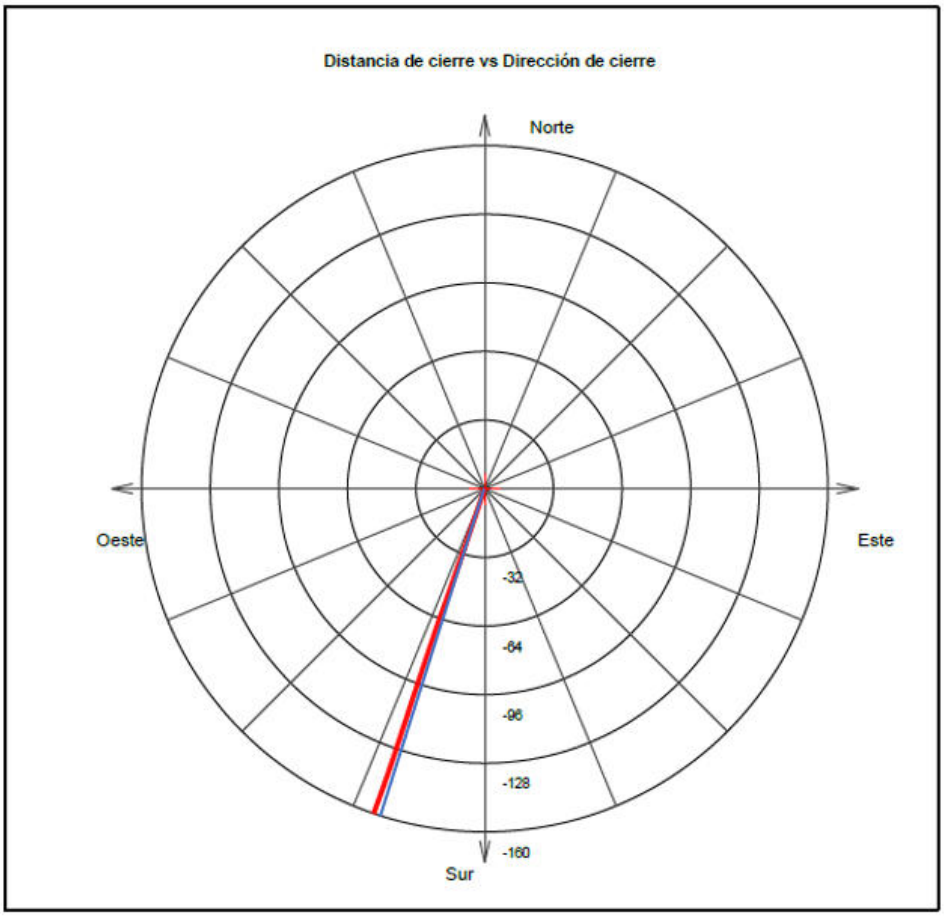
Nota: Elaboración propia.

Las diferencias evidencian el efecto de los ajustes de parámetros durante la perforación. El ángulo de inclinación planeado por geología es de -61°, en los datos obtenidos en la medición se observa que a 340 metros el azimut final fue de -62.43°. La desviación final fue de tan solo 1.43°, que muestra resultados altamente óptimos de la aplicación del sistema. La imagen muestra que ambas líneas son muy similares con pequeñas variaciones propias de la operación.

La Figura 31 presenta en 360° la desviación de azimut. El parámetro inicial en el punto collar era de 200°, pero se observa una ligera tendencia hacia la izquierda.

Figura 31

Distancia de cierre vs dirección de cierre del sondaje AQDGT-25011



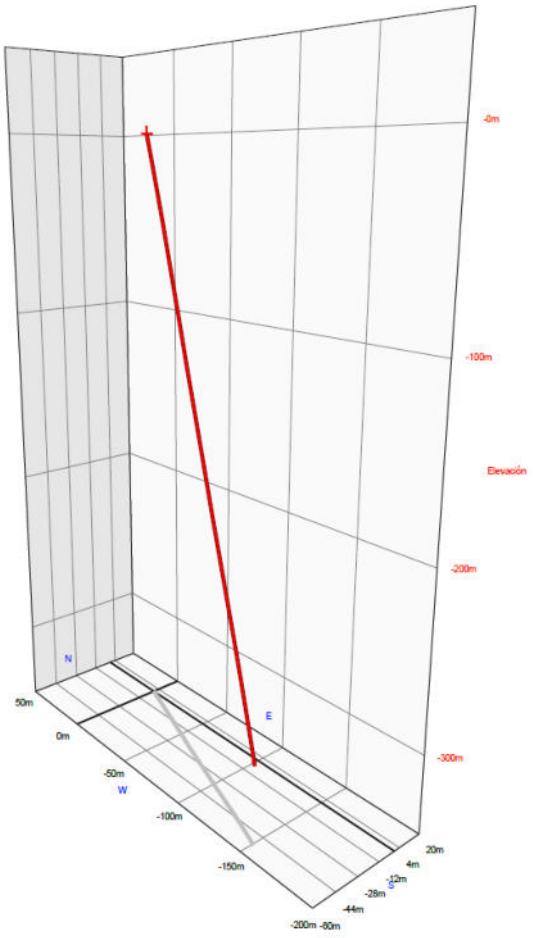
Nota: Elaboración propia.

El azimut planteado en el collar fue de 200°, según la medición final que se realizado, se obtuvo un azimut de 200.65°, siendo la desviación total tan solo 0.65°, la alta optimización del proceso de perforación permitió que se obtengan resultados favorables.

La Figura 32 muestra una representación tridimensional de la trayectoria del sondaje. A diferencia de los sondajes perforados sin control, se puede observar los resultados favorables de los parámetros aplicados. Se asegura el cumplimento del programa de desviación llegando el objetivo establecido por el área de geología.

Figura 32

Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-25011



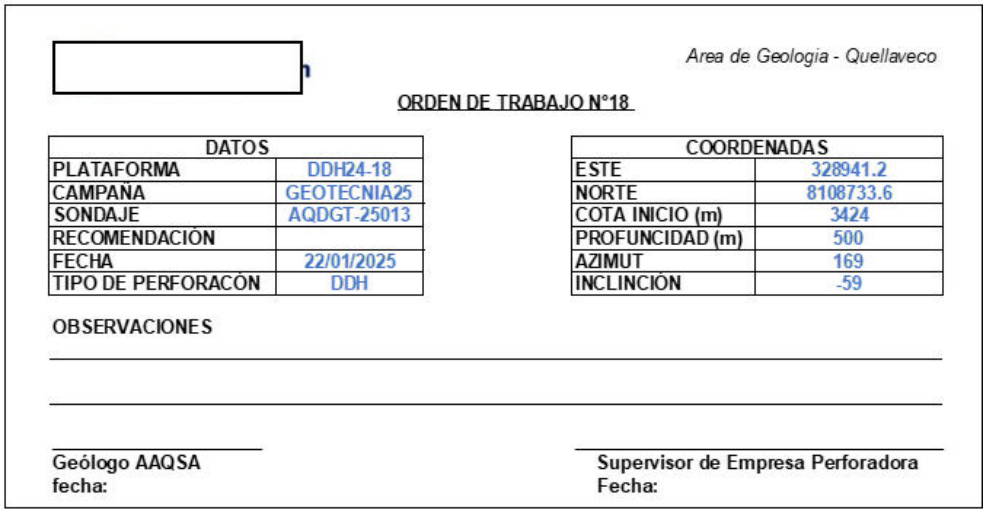
Nota: Elaboración propia.

4.3.2. Sondaje AQDGT-25013

Sondaje geotécnico de la campaña 2025. Se perfora con un proyecto de 500 metros en línea HQ. Se determina que, por las condiciones, el sondaje iniciará con barrel Full Hole de 10 pies, y se irá evaluando su efectividad con mediciones durante la perforación del sondaje. La Figura 33 muestra detalladamente la orden de trabajo para el sondaje.

Figura 33

Orden de trabajo del sondaje AQDGT-25013



Area de Geologia - Quellaveco

ORDEN DE TRABAJO N°18

DATOS	
PLATAFORMA	DDH24-18
CAMPAÑA	GEOTECNIA25
SONDAJE	AQDGT-25013
RECOMENDACIÓN	
FECHA	22/01/2025
TIPO DE PERFORACÓN	DDH

COORDENADAS	
ESTE	328941.2
NORTE	8108733.6
COTA INICIO (m)	3424
PROFUNCIDAD (m)	500
AZIMUT	169
INCLINCIÓN	-59

OBSERVACIONES

Geólogo AAQSA
fecha:

Supervisor de Empresa Perforadora
Fecha:

Nota: Elaboración propia

4.3.2.1. Primera medición a los 90 metros

Se realizó la primera medición a los 90 m de profundidad obteniendo los datos en el reporte de medición (Anexo 8). En los datos se observó que, de acuerdo con el proyecto, el collar presenta variaciones menores no significativas. La medición del sondaje muestra una desviación de 0.79° en la inclinación, con tendencia a bajar y 0.14° en azimut hacia la izquierda. Podemos concluir que, si bien el azimut se mantiene, la inclinación tiene una tendencia a desviarse y seguir cayendo, se requiere; el ajuste de parámetros para prevenir problemas operativos y de trayectoria.

4.3.2.1.1. Aplicación de parámetros de perforación

De acuerdo con resultados de la primera medición (90 m), se observó una desviación de 0.12° en azimut y 0.64° en inclinación. La caída de inclinación es preocupante, pues, aunque se mantiene dentro del límite, exige ajustes de parámetros que prevengan esta pérdida. La Tabla 9 detalla los parámetros aplicados para corregir la desviación del sondaje.

Tabla 9

Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 90 metros

Parámetros de perforación	Unidad	Recomendación
Rango de volumen de fluido (caudal)	Gpm	12
Velocidad de rotación	Rpm	800
Velocidad de penetración	pulg/min	10
Rango indicado del peso sobre la broca	Libras	8,000
Presión de trabajo	Psi	650
Serie de broca	serie	UP 10-13
Línea de perforación	-	Hq
Core barrel	-	Full Hole
Longitud de barrel	ft	10

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.1.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación

La presencia de una formación argílica en los primeros 90 metros desencadena problemas operativos; hay pérdida de retorno en el sondaje en tramos con fracturamiento, se requiere obturar el sondaje con paper drilling, también problemas de atrapamiento de tubería y la caída de la inclinación, las condiciones del sondaje requieren aplicar mayor presión de avance y a su vez un lodo que permita la correcta eliminación de detritos de la columna de perforación. El equipo técnico de lodos sugiere una optimización y aplicación de obturantes; en la Tabla 10 se resumen las sugerencias aplicadas en el sondaje.

Tabla 10

Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 90 metros

Aditivos de perforación	Cantidad por 1000 litros (kg)	Tiempo de mezclado (min)
WATER FORCE	1.5	1
SUPER GEL	0.5	10
VIS	2.0	10
KLAB STAB	2	0.5
CHP ULTRA	0.5	4

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.2. Segunda medición a los 200 metros

Se realiza una segunda medición a los 200 metros. Los datos obtenidos (Anexo 9) muestran una desviación de 2.40° en inclinación con tendencia a la caída y 2.06° en azimut hacia la derecha.

Existe una desviación que excede el máximo permitido (1° por cada 100 metros). El cambio de litología a roca semi fracturada y compacta requiere que se ajusten total de parámetros.

4.3.2.2.1. Aplicación de parámetros de perforación

El segundo control de medición mostró una desviación de 2.40° en inclinación y 2.06° en azimut. La caída de inclinación, la inclinación está fuera del rango de desviación permitido, debe controlarse con el empuje de avance a partir de este metraje. También se requiere el cambio de accesorios reduciendo la longitud de barrel, entre otros plasmados en la Tabla 11.

La litología es favorable para poder corregir la desviación del ángulo de inclinación, teniendo un terreno compacto con pequeños tramos de fracturamiento no importantes, se cuenta con una recuperación del 80%, permitiendo la fácil eliminación de lodos de la columna de perforación, se instruye al personal a cargo respetar los parámetros. El supervisor de operaciones controlo el cumplimiento de todas las recomendaciones en campo.

Tabla 11

Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 200 metros

Parámetros de perforación	Unidad	Recomendación
Rango de volumen de fluido (caudal)	Gpm	10
Velocidad de rotación	Rpm	700
Velocidad de penetración	pulg/min	9
Rango indicado del peso sobre la broca	Libras	7,000
Presión de trabajo	Psi	600
Serie de broca	Serie	UP 7-10
Línea de perforación	-	Hq
Core barrel	-	Estándar
Longitud de barrel	ft	5

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.2.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación

La perforación tiene un revestimiento de 100 metros en HWT, luego de esto, la roca pasó a ser levemente fracturada, y con presencia de arcilla en algunos tramos; el retorno se encuentra en un 80%, llegando a los 190 metros, se ve un cambio de terreno, llegando a roca compacta. La Tabla 12 muestra la actualización de aplicación de aditivos de perforación para la optimización del sondaje.

Tabla 12

Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 200 metros

Aditivos de perforación	Cantidad por 1000 litros (kg)	Tiempo de mezclado (min)
WATER FORCE	1.0	1
SUPER GEL	2.0	12
VIS	1.0	12
POLY XCD	2	10
CHP ULTRA	0.5	3

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.3. Tercera medición a los 350 metros

A los 350 m se realizó una tercera medición. Los resultados (Anexo 10) muestran una desviación de 1.81° en inclinación en caída y 2.84° en azimut hacia la derecha, con un retorno en el ángulo de inclinación y un leve aumento de desviación del sondaje en azimut. Pese a esto, ambos valores se mantienen dentro del máximo permisible. Se sugieren cambios puntuales en los parámetros por la presencia de una zona mineralizada.

4.3.2.3.1. Aplicación de parámetros de perforación

El tercer control de medición mostró una desviación de 2.84° en azimut y 1.81° en inclinación. El exitoso retorno de la inclinación es resultado de los ajustes de parámetros de rotación y empuje durante la perforación; el sondaje se encuentra dentro del máximo permitido.

El sondaje muestra cambios en la litología, con presencia de brecha de mineralización de pórfido y cambio de dureza de la roca. Se propone cambio de parámetros, como se indica en la Tabla 13.

Tabla 13

Parámetros de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 350 metros

Parámetros de perforación	Unidad	Recomendación
Rango de volumen de fluido (caudal)	gpm	10
Velocidad de rotación	rpm	800
Velocidad de penetración	pulg/min	8
Rango indicado del peso sobre la broca	Libras	7,000
Presión de trabajo	Psi	640
Serie de broca	Serie	UP 7-10
Línea de perforación	-	Hq
Core barrel	-	Estándar
Longitud de barrel	ft	5

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.3.2. Aplicación de parámetros de fluidos de perforación

El buen control de fluidos de perforación mostró resultados positivos; sin embargo, en un cambio de litología, la presencia de mineralización y una recuperación de retorno del 60 % se sugiere el ajuste en el uso de aditivos. La Tabla 14 muestra la recomendación de dosificación de fluidos de perforación para el sondaje.

Tabla 14

Parámetros de fluidos de perforación del sondaje AQDGT-25013 a los 350 metros

Aditivos de perforación	Cantidad por 1000 litros (kg)	Tiempo de mezclado (min)
WATER FORCE	1.0	0.5
SUPER GEL	1.5	6
VIS	2.0	7
POLY XCD	1.5	6
CHP ULTRA	0.25	3

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.4. Cuarta medición a los 490 metros

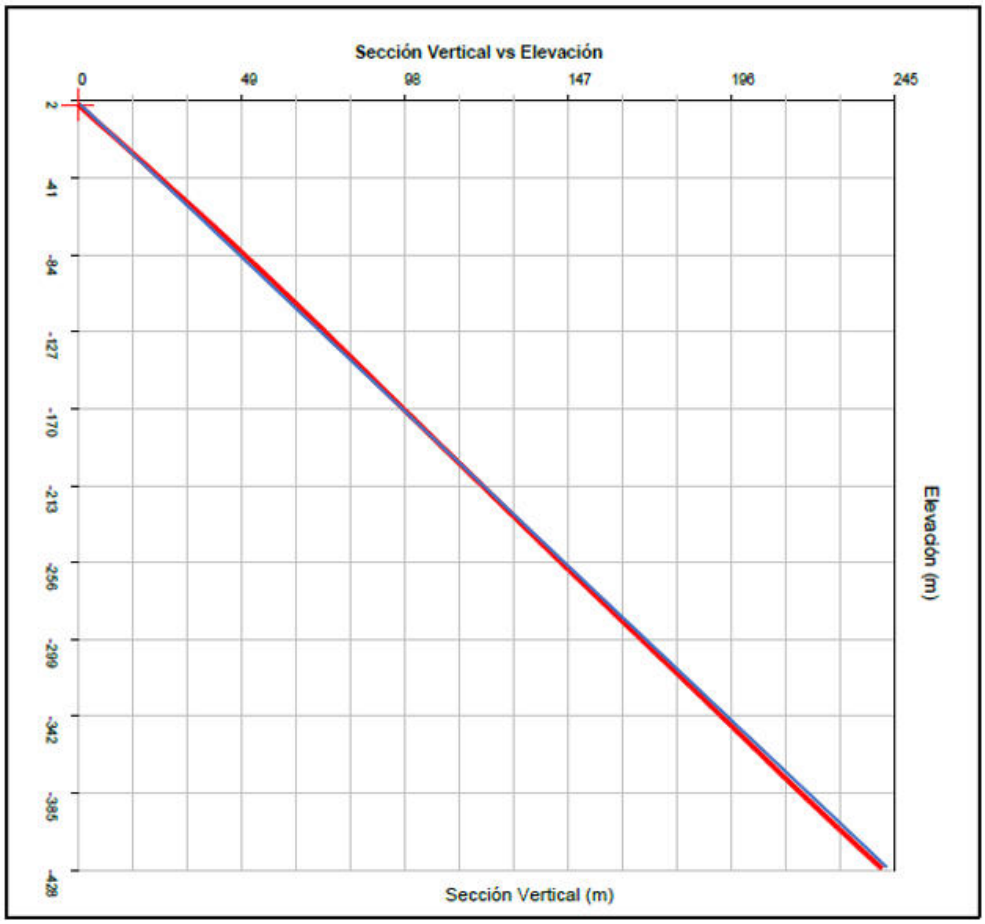
La medición final se realizó a los 490 m. Según los datos obtenidos (Anexo 11), se registra una desviación de 0.76° en inclinación y 4.29° en azimut. Esta pronunciada desviación, que se origina a partir de los 340 m, se debe a la presencia de una falla geológica con arcilla y roca altamente fracturada, lo que afecta directamente la trayectoria. Sin embargo, dicha desviación no excede el máximo permisible, por lo que la perforación resultó eficiente. La aplicación temprana de los cambios de parámetros, acorde con las características geológicas, permitió llevar un buen control del sondaje.

La Figura 34 presenta la sección vertical versus elevación del sondaje AQDGT-25013, donde se observa que las curvas de inclinación planeada (color azul) y medida (color rojo) son prácticamente similares en su trayectoria, lo que demuestra una desviación mínima durante la

perforación. Según los resultados de medición (Anexo 11), se observa que la variación en la inclinación durante la perforación fue mínima, llegando a 0.76° al finalizar el sondaje.

Figura 34

Sección vertical vs elevación del sondaje AQDGT-25013

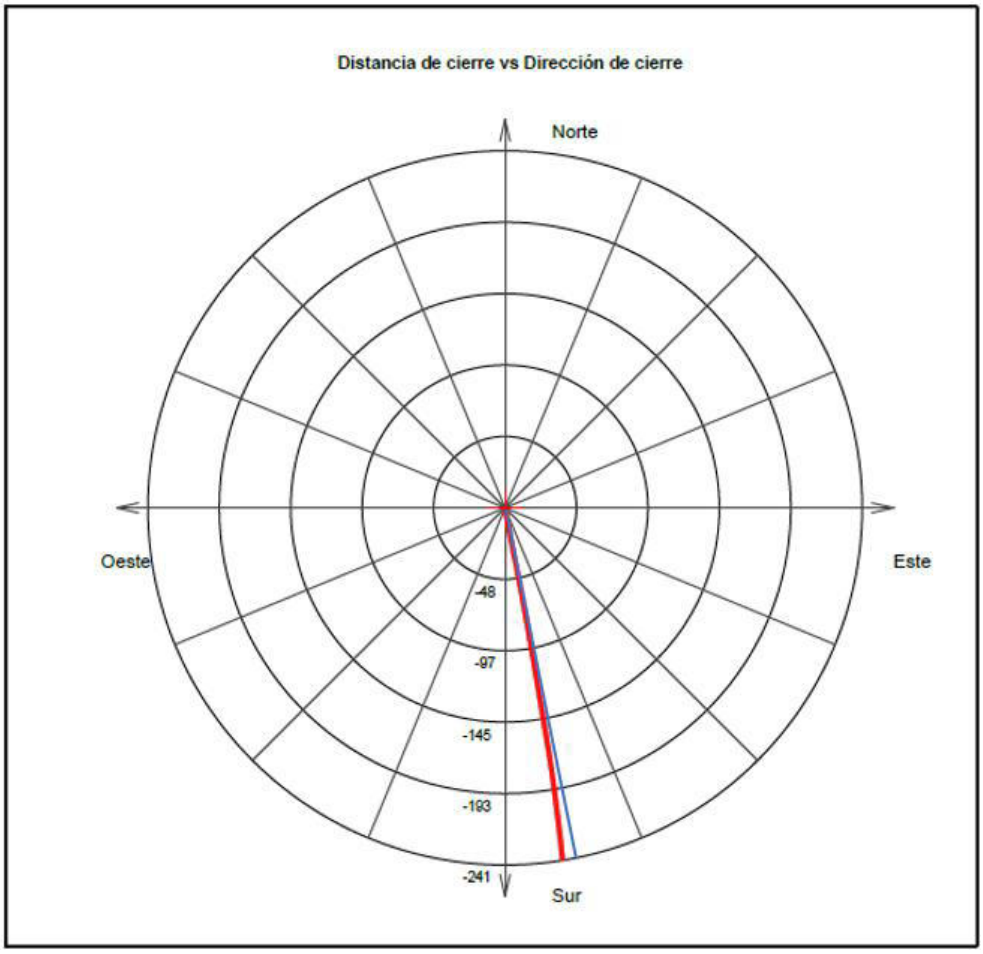


Nota: Elaboración propia.

La Figura 35 obtenida a partir de los datos de medición (Anexo 11) evidencia como los últimos 150 metros de perforación muestran una pronunciada desviación en azimut, llegando a 4.29° al fin de sondaje, producto de las condiciones litológicas adversas que afectaron directamente la perforación. No obstante, la desviación se mantiene dentro de los límites permisible (1° por 100 metros).

Figura 35

Distancia de cierre vs dirección de cierre del sondaje AQDGT-25013

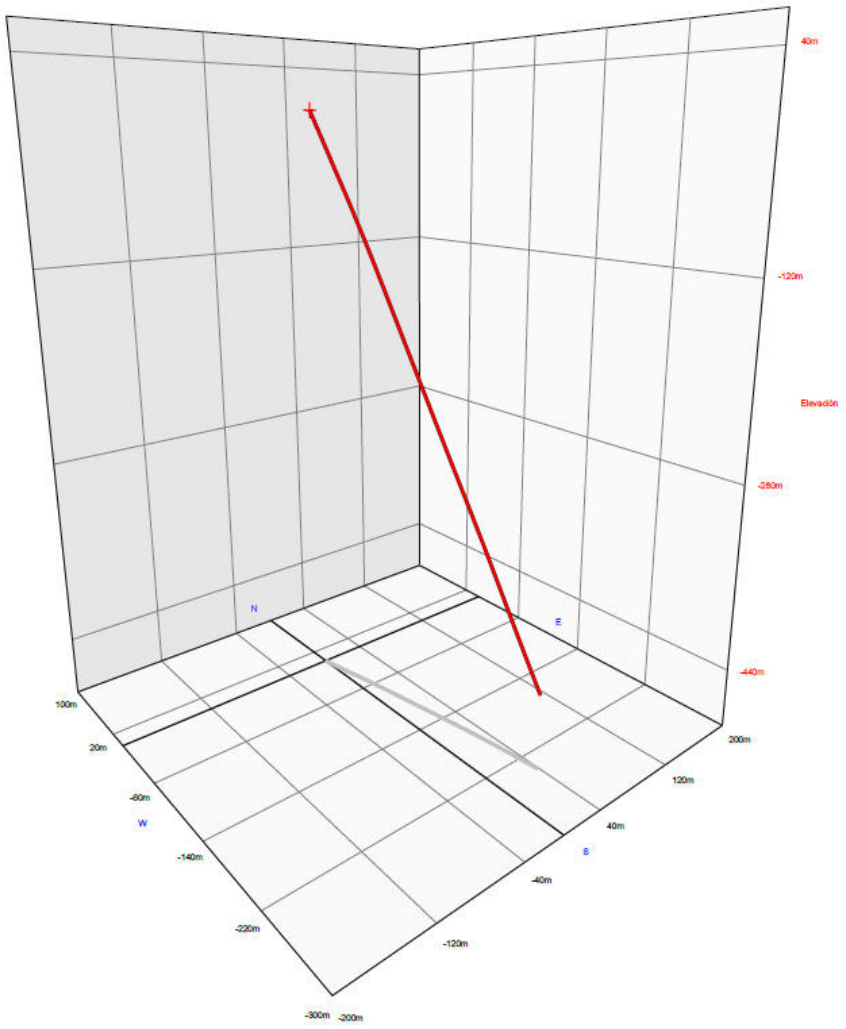


Nota: Elaboración propia.

En la Figura 36 se observa un modelo tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-25013. Se aprecia una desviación en la parte final del sondaje, sin embargo, esta no es significativa, también se observa que la inclinación se mantiene constante. La imagen nos permitió identificar los problemas que se pueden presentar en terrenos cambiantes que finalizan en una zona mineralizada altamente fracturada, en próximos sondajes, esta información es de alto valor para poder prevenir problemas operativos y realizar un mejor ajuste tanto de parámetros como de fluidos de perforación.

Figura 36

Modelado tridimensional de la trayectoria del sondaje AQDGT-25013



Nota: Elaboración propia.

4.4. Resultados comparativos de eficiencia

Se analiza la información de cada sondaje para comprender cuándo se ha desviado con respecto a su inclinación y azimut establecidos por el área de geología. Cabe recalcar que, si bien geología asigna un dato exacto para el collar en ambos valores (azimut e inclinación), en la instalación de la máquina de perforación siempre habrá pequeñas variaciones. Estas se pueden evidenciar en la medición realizada en el punto cero.

El análisis del impacto de la implementación de un sistema de medición permitirá determinar si la hipótesis del trabajo de investigación fue alcanzada.

4.4.1. Sondaje AQDGT-24008

Se realiza una perforación sin control de parámetros por la falta de la implementación de la herramienta de medición. En la Tabla 15 se observan datos iniciales asignados por el área de geología en su programa de perforación; sin embargo, en la medición inicial se observa que hay pequeñas variaciones debido a factores de instalación de máquina. En cuanto a la medición, se observa un valor de desviación de trayectoria de 9.65° en azimut a la derecha y un valor de 3.67° en inclinación con respecto al programa. Esto refleja que no se cumple el máximo permitido (1 grado por cada 100 metros perforados). La perforación es deficiente por tener una longitud de 580 metros.

Tabla 15

Análisis de desviación del sondaje AQDGT-24008

Análisis de desviación de sondaje AQDGT-24008			
Nombre de sondaje		AQDG-T24008	
Azimut programado		202°	
Inclinación programada (Dip)		-60°	
Programa de metraje (m)		580.00	
Medición (m)		565.00	
Análisis de Azimut			
Medición Azimut		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
202.28°	211.65°	9.37°	9.65°
Análisis de Inclinación			
Medición Inclinación		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
-59.48°	-56.33°	3.15°	3.67°

Nota: Elaboración propia.

4.4.2. Sondaje AQDGT-24001

La Tabla 16 muestra el análisis de la medición de trayectoria realizado en el sondaje. La desviación en azimut es de 7.72° y 0.97° en inclinación. Al ser un sondaje con un metraje programado de 690 metros, la medición muestra los resultados fuera del rango permitido en valores de azimut.

Tabla 16

Análisis de desviación del sondaje AQDGT-24001

Análisis de desviación de sondaje AQDGT-24001			
Nombre de sondaje		AQDGT-24001	
Azimut programado		219°	
Inclinación programada (Dip)		-70°	
Programa de metraje (m)		690.00	
Medición (m)		675.00	
Análisis de Azimut			
Medición Azimut		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
219.05°	226.72°	7.67°	7.72°
Análisis de Inclinación			
Medición Inclinación		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
-69.3°	-70.97°	1.67°	0.97°

Nota: Elaboración propia.

4.4.3. Sondaje AQDGT-25011

La Tabla 17 muestra el análisis de desviación en el sondaje. Los datos obtenidos por el equipo GyroMaster, en la medición final hecha a los 340 metros, indican una desviación en azimut de 0.65° y 1.43° en inclinación. Los valores se encuentran dentro del máximo permisible (1° cada 100 metros). La aplicación temprana de parámetros en las mediciones previas de control permite la corrección temprana de trayectoria. Se realizan ajustes en parámetros de perforación y también en la inyección de lodo, con éxito,

Tabla 17

Análisis de desviación del sondaje AQDGT-25011

Análisis de desviación de sondaje AQDGT-25011			
Nombre de sondaje		AQDGT-25011	
Azimut programado		200°	
Inclinación programada (Dip)		-61°	
Programa de metraje (m)		350.00	
Medición (m)		340.00	
Análisis de Azimut			
Medición Azimut		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
199.01°	200.65°	1.64°	0.65°
Análisis de Inclinación			
Medición Inclinación		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
-60.69°	-62.43°	1.74°	1.43°

Nota: Elaboración propia.

4.4.4. Sondaje AQDGT-25013

En la Tabla 18 podemos observar que se perforó un total de 500 metros. Se realizaron 4 controles a los 90, 200, 350 y 490 metros, donde a pesar de contar con una litología altamente fracturada con presencia de fallas geológicas y un sondaje sin retorno por fracturas, se procedió a tomar medidas correctivas a partir de los controles para disminuir al mínimo la desviación. La desviación con respecto al programa es de 4.29° en azimut, estando dentro del máximo permitido (1 grado cada 100 metros). De igual manera el ángulo de inclinación es de 0.76°; la perforación es óptima.

El manejo de los parámetros permitió prevenir que la tubería sufra deformaciones e incluso roturas. El uso de obturantes sella la fractura y recupera, en cierto porcentaje, el retorno de lodo en la columna de perforación. Si no se lograse recuperar el retorno, se opta por el uso de kit de retención respetado los parámetros para evitar quemar la broca.

Tabla 18

Análisis de desviación del sondaje AQDGT-25013

Análisis de desviación de sondaje AQDGT-25013			
Nombre de sondaje		AQDGT-25013	
Azimut programado		169°	
Inclinación programada (Dip)		-59°	
Programa de metraje (m)		500.00	
Medición (m)		490.00	
Análisis de Azimut			
Medición Azimut		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
169.25°	173.29°	4.04°	4.29°
Análisis de Inclinación			
Medición Inclinación		Desviación de medición Gyro	Desviación de programa
Inicial	Final		
-59.29°	-59.76°	0.47°	0.76°

Nota: Elaboración propia.

4.5. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos coinciden con los hallazgos previos en cuanto a la importancia de las mediciones en sondajes diamantinos y su impacto en el control de la trayectoria. Soto C. S. (2022) logró identificar sondajes con desviaciones fuera del rango permitido con el uso de una herramienta giroscópica no magnética. Arana (2014) también demostró la importancia de un control constante y progresivo en los sondajes, realizó un total de 16 mediciones en sondajes de 900 metros de longitud con la herramienta GyroReflex, y el control de parámetros durante la perforación impactó directamente en la corrección de trayectoria.

Los factores geológicos sobre la trayectoria de los sondajes diamantinos, identificados por Diaz (2023) y confirmados en este estudio, coinciden con la importancia de tener un control estricto de la identificación de la litología según el avance de la perforación. Se identificaron las causas principales de desviación, y tres de ellas son de carácter geológico. El análisis realizado

con la herramienta DeviGyro Rg 40 refuerza la recomendación de identificar y prevenir problemas operativos y de desviación monitoreando las cajas de muestras recuperadas.

Asimismo, el análisis de la influencia del control de parámetros de perforación y fluidos de perforación realizados en esta investigación complementan los hallazgos de Mantilla (2019), quien evidenció factores determinantes de desviación; los parámetros de perforación y accesorios usados, de igual manera factores complementarios como: pulldown, calidad y caudal de fluido, profundidad del taladro, empuje y velocidad de rotación.

Estas observaciones coinciden con los resultados de Altamirano & Coba (2021), quienes lograron reducir costos por penalidades en perforación diamantina y aire reverso a través de pruebas realizadas con el equipo Gyro Reflex, controlando los factores que más influyen en la desviación.

Por último, los parámetros operativos de perforación aplicados en sondajes diamantinos con una litología similar, coinciden con las conclusiones de Vargas (2022), quien señala la identificación de desviaciones de 1° en avances de 5 metros; ante esta problemática se ajustaron los parámetros: presiones de avance y torque de 2,500 psi, velocidades de 200 y 250 pulsaciones por minuto, y presiones sobre la corona de 2,050 psi. En condiciones litológicas diferentes se reajustaron los parámetros: 2,600 psi de presión de avance y torque, rotación de 200 y 250 pulsaciones por minuto y 1,900 psi de presión sobre la corona.

V. CONCLUSIONES

Se determinó el impacto positivo de la implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster, se realizó una comparativa del antes y después de la aplicación del sistema. La primera etapa del trabajo de investigación consistió en la medición a los sondajes AQDGT-24008 y AQDGT-24001, encontrando desviaciones de 9.65° y 7.72° en azimut. La única forma de entender estas altas desviaciones es por la falta de implementación de control de parámetros. La implementación del sistema en los sondajes AQDGT-25011 y AQDGT-25013 tuvo un impacto directo en la toma de decisiones operativas durante la perforación. Los sondajes evaluados contaban con características adversas propias de la litología; se realizaron ajustes de parámetros en la máquina de perforación (gpm, rpm, velocidad de penetración, rango del peso de la broca, presión de trabajo), también el cambio de accesorios de la columna de perforación (core barrel, línea de perforación y serie de broca). Los fluidos de perforación también fueron optimizados de acuerdo a las condiciones del sondaje, para optimizar el avance. Los resultados de desviación finales fueron óptimos, el sondaje AQDGT-25011 culminó un metraje de 350 metros con 1.64° de desviación en azimut y 1.74° en inclinación, muy por debajo del máximo permitido (1 grado cada 100 metros). El sondaje AQDGT-25013 tuvo características que complicaron la perforación, presencia de fallas geológicas, entre otras. El manejo adecuado de parámetros dio como resultado una desviación de 4.29° de azimut en 500 metros de perforación; considerando las características del sondaje y los problemas operativos, este resultado se considera óptimo.

Se determinaron los factores por los que la herramienta GyroMaster es ideal para realizar la medición de sondajes diamantinos; los datos obtenidos en los reportes de medición son de alta fiabilidad. La herramienta GyroMaster tiene una tolerancia de 0.50% como parte de su control de

calidad (QA/QC); fuera de este rango, la información de la medición se considera no confiable. El sondaje AQDGT-24008 tiene una variación máxima de 0.20%, está dentro de la tolerancia. Se deben controlar al mínimo los factores operativos en la ejecución de la medición para asegurar resultados óptimos. Un caso particular se vio en el sondaje AQDGT-24001, donde la variación con dirección al este fue de 0.39%, se debe resaltar que en ángulos de -70° o menos, se deben optimizar los controles en la medición para no tener errores en la recopilación de datos. Los sondajes AQDGT-24011 y AQDGT-25013, que fueron sometidos a controles de desviación durante su perforación, demuestran la precisión de la herramienta; los datos obtenidos en las mediciones realizadas en los mismos sondajes no muestran una variación pronunciada.

Se implementó un sistema de medición para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera. Esta implementación fue parte de un proceso de mejora que busca optimizar la calidad de la perforación. La unidad minera exige que la perforación se realice dentro de los parámetros establecidos, sin superar una desviación de 1° cada 100 metros. La empresa de perforación apostó por la herramienta GyroMaster por su amplia experiencia a nivel internacional, su soporte técnico constante y los buenos resultados obtenidos en otras unidades. Durante la implementación del sistema de medición, se trabajó en conjunto con el equipo de perforación (perforista y ayudantes), con el supervisor de operaciones y el equipo de fluidos de perforación. Los resultados obtenidos cumplieron las expectativas, marcando el inicio de una nueva etapa donde el equipo de medición se vuelve parte de las operaciones diarias en la plataforma.

El presente trabajo de investigación tuvo originalmente un programa de ejecución de cuatro meses; no obstante, se completó en un mes. Los cuatro meses estimados consideraban las peores condiciones posibles: litológicas adversas, factores climáticos, problemas operativos,

paros de seguridad, entre otros. Durante la investigación, se presentaron condiciones óptimas de trabajo, sin contratiempos operativos ni factores que retrasaran la perforación.

El plan de tesis se presentó el 2 de octubre de 2024; sin embargo, por problemas administrativos, se requirió el cambio de los tres jurados designados inicialmente por la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. El trámite administrativo permitió que el plan fuera presentado el 28 de noviembre para su revisión, retrasando tanto el proceso de revisión y levantamiento de observaciones del plan de tesis como la presentación del informe final.

VI. RECOMENDACIONES

Para optimizar aún más el control de desviación, se sugiere que el control de desviación se realice cada 25 metros cuando se tenga resultados de desviación alta y, 50 metros cuando esté dentro del rango. La intervención oportuna es fundamental si se quiere prevenir la desviación en sondajes. En sondajes que presentan enlamado y arenamiento, se recomienda levantar un par de tuberías, realizar acondicionamiento de sondaje y armar el tubo interior en la columna de perforación. El tubo interior permitirá recuperar el equipo de medición en caso de suscitarse un incidente operativo o el atrapamiento de la sonda dentro de la columna de perforación.

Una forma de determinar si el equipo de medición está proporcionando datos confiables es comparando las mediciones realizadas en un mismo sondaje repetidas veces. Estos datos deben coincidir con una variación máxima de 1°. Si el equipo arroja datos aleatorios, es indispensable realizar pruebas de calibración. Al ser una herramienta de alta precisión, el equipo es susceptible a descalibrarse ante un impacto o golpe fuerte. Se recomienda siempre usar el absorbedor de impacto para proteger el equipo de eventos operativos. El equipo de SPT tiene un soporte técnico altamente eficiente; en caso de suscitarse un evento, el cambio inmediato del equipo debe realizarse en menos de 24 horas.

Si bien la herramienta de medición GyroMaster asegura una velocidad de operación de 80 m/min, esto solo aplica a ángulos de -35°a -70°. En ángulos menores de -70°, la velocidad de operación del equipo GyroMaster debe ser de 30 m/min como máximo. Adicionalmente, se deben usar centralizadores regulables de flejes, que aseguren una mejor centralización del equipo. Se recomienda que el sondaje esté libre de lodo de perforación; este, al ser altamente viscoso, amortiguará el ingreso del equipo. Cada sondaje tiene características particulares, la operación del Gyro se debe ajustar a las características especiales, según la experiencia del operador.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, J. S. (2022). *Modelo geológico de mina phoenix 5 utilizando perforación diamantina,Huarmey – Perú.* Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.14074/4973

Alarcón, D. (2013). *Impermeabilización del eje de la represa Chirimayuni-Moquegua, mediante inyecciones de lechada de cemento.* Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna. Obtenido de https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2817

Altamirano , E. J., & Martinez , H. (2020). *Influencia Del Tipo De Broca Y Parámetros De Perforación En La Trayectoria De Los Taladros En La Perforación Diamantina De Una Unidad Minera.* Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27457

Altamirano, B. J., & Coba , V. E. (2021). *Influencia de los Parametros Técnicos de Perforación Diamantina y Aire Reverso para Disminuir Costos por Desviación de Sondajes en un Proyecto Minero de Cajabamba 2020.* Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/27927

Alvarez , P. (2017). *Introducción a las Propiedades Geotécnicas de la Fm. Gijón en el Entorno de la Ciudad de Gijón (Asturias).* Universidad de Oviedo. Obtenido de http://hdl.handle.net/10651/42832

Alvarez, M. B. (2023). *Control de la desviación de taladros largos en tajeos de producción por sub level caving, en la Compañía Minera Volcan – UP. San Cristobal*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4090

Ancalle, F. (2020). *Logueo geológico, muestreo y qa-qc en perforación diamantina, proyecto Puite-Colorada en el departamento Moquegua de la compañía minera Zahena S.A.C.* Universidad Nacional de San Agustin , Moquegua. Obtenido de http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11204

Andrade, F. (2024). *Evaluación geológica del proyecto de exploraciones Colquemayo Target Amata Este y Coripuquio - Moquegua - Perú.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Moquegua. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4505

Arana, J. I. (2014). *Medición de la Trayectoria de Pozos de Prospección Geológica – Cajamarca.* Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.14074/100

Arapa, F. L., & Quispe, Y. G. (2021). *Exploración Geológica Mediante Perforaciones Diamantina para la Ampliación de Reservas en la Concesión Minera Santa Filomena Sancos-Ayacucho, 2021.* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12918/7827

Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación- Introduccion a la metodología científica (6th ed., Vol. 6, Issue julio)* (6th ed.). Episteme. Obtenido de https://tauniversity.org/sites/default/files/libro_el_proyecto_de_investigacion_de_fidias_g_arias.pdf

Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación (Grupo Edit, Issue 3)* (3rd ed.). Patria. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf

Becerra, J. A. (2021). *Gestión de la perforación diamantina a través de metodologías ágiles (SCRUM – KANBAN).* Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12404/21030

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación (PEARSON EDUCACIÓN (ed.))* (3rd ed.).

bnamericas.com. (12 de 07 de 2022). Obtenido de https://www.bnamericas.com/es/noticias/mina-peruana-quellaveco-comienza-a-producir-concentrado-de-cobre

Bravo, H. (2020). *Recuperacion de Tuberías Atascadas en Taladros de Perforación Diamantina (DDH) y su Implicancia Económica para la Empresa REMICSA DRILLING, Unidad Minera Raura S.A. 2018.* Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac. Obtenido de http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/888

Bros Boyles. (2020). *Manual técnico del perforista.* Obtenido de https://www.boyles.com.pe/

Castilla, J., & Herrera, J. (2012). *El Proceso de Exploración Minera Mediante Sondeos.* Madrid: Universidad Politecnica de Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/10695/

Celis, H. (2016). *Reducción de la desviación de taladros largos implementando menores longitudes de perforación de taladros para bancos de producción de 20 metros de altura en Sublevel Stoping con Simbas H1254, en el cuerpo Casapalca 4 en el nivel 11 -11A, Mina Casapalca.*

Cuno, M. (2018). *Implementación de un sistema de gestión de seguridad basada en el comportamiento y evaluación de costos en perforación diamantina de Explo Drilling Peru S.A.C en la unidad operativa Chucapaca, Moquegua.* Universidad Nacional de San Agustin, Moquegua. Obtenido de http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7047

Cupi, J. E., & Pari, R. B. (2021). *Optimización de la utilidad mediante la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros horizontales de la empresa Geodrill S.A.C.* Universidad Tecnologica del Perú.

Diamantina, C. (2022). *NG WIRE LINE CORE BARREL "KNUCKLE HEAD".*

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.* Universidad Católica de Santa María. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12823

Ducep, R. J., & Vera, L. O. (2020). *Control de la Desviación de Taladros para Obtener una Óptima Fragmentación de la Roca en Unidad de Producción Pallasca.* Universidad César Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/65716

Enriquez, Y. B. (2021). *Evaluación geológica mediante perforación diamantina del proyecto Bongará – zona mina Chica, región Amazonas.* Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16218

Espítia, A. A., Espitia, L. F., & Galvis, J. L. (2016). *Propuesta de Elaboracion de Guia Segura para el Proceso de Perforación Diamantina Basada en los Metodos Seguros Para el Procedimiento Aplicado en la Exploracion Minera.* Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Bogota. Obtenido de https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/159

Fuentes, J. (2017). *Reconocimiento de mineralización profunda de carácter polimetálico mediante métodos de exploración Gamma Ray y polarización inducida en el proyecto Ichuña – Moquegua.* Universidad Nacional de San Agustin, Arequipa. Obtenido de http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5103

Fullcore Colombia. (s.f.). Obtenido de https://www.fullcore.com.co/aditivos-para-fluidos-de-perforacion-de-anclajes/

Geocatmin. (s.f.). Obtenido de https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main

Kana, W., & Ochoa, H. (2019). *Estudio geológico y geotécnico para la estabilidad de asentamientos de las estructuras de la faja transportadora CV.201 (desde el cruce 2 hasta*

la salida del túnel)- Minera Cuajone - Moquegua. Universidad Nacional San Antonio Habad del Cusco, Moquegua. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12918/4349

Luque, G., & Rosado, M. (2014). *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Moquegua.* INGEMMET.

Mantilla, V. H. (2019). *Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina.* Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/21792

Miranda , M. (2022). *Propuesta de gestión de riesgos para la prevención de accidentes en perforación diamantina Los Calatos-Moquegua.* Universidad Nacional de San Agustin, Moquegua. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12773/16198

Muñasqui, K. B. (2022). *Aplicación del aseguramiento y control de la calidad (Qa/Qc) en la campaña de perforación diamantina 2018, Mina Toromocho.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2871

Ochoa, G. (2017). *Ampliación de reservas de mineral en zonas de echaderos y morrenas en la unidad minera Tucari Aruntani SAC -Moquegua.* Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4662

Precision, T. S. (2024). Obtenido de https://sptab.com/gyro-survey-tool-companies-use-misleading-accuracy-data/

Rabanal , M. A. (2021). *Influencia de la Desviación de los Taladros en la Fragmentación: Una Revisión de la Literatura Científica.* Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/26085

Reflex Intelligence on Deamon. (2021). Obtenido de reflexnow.com: https://reflexnow.com/imdex-mud-aid-proporciona-datos-precisos-que-conlleva-a-aumentar-la-velocidad-de-penetracion-2/

Romero, H., Real, J. J., Ordoñez, J. L., Gavino, G. E., & Saldarriaga, G. (2021). *Metodología De La Investigación.* EDICUMBRE.

Roncal, J. (2022). *Simulación del comportamiento geotécnico del tunel Huallabamba Distrito de Motupe región Lambayeque.* Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Salas, A. T. (2016). *Análisis Y Mejora De La Calidad En El Proceso De Perforación En Diamantina Utilizando La Metodología DMAIC.* Universidad Andres Bello. Obtenido de http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/3670

Silva, L. (2008). *Medición de Trayectoria de Pozos de Sondaje.* Ingetrol. Obtenido de https://www.nuevamineria.com/numero10/informe_tec_001.php

Soto, C. S. (2022). *Medición de sondajes diamantinos para la evaluación de trayectoria de pozos de exploración geológica – Unidad Minera EL PORVENIR – NEXA.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3073

Stockholm Precision Tools. (2021). Obtenido de spt.ab: https://sptab.com/pathbreaker-hydraulic-whipstock/

Tenorio, F. L. (2015). *Tratamiento de Lodos de Perforación Mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el proyecto de Exploracion Minera Hilarión, Distrito de Huallanca, Región Ancash, 2015.* Universidad José Carlos Mareátegui. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12819/50

Vargas, E. (2022). *Optimización de los parámetros de perforación con el sistema diamantina para el control de la desviación de la trayectoria del taladro, en la unidad operativa Yauricocha,*

CIA. sierra Metals Inc, Yauyos – Lima, 2020. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Obtenido de http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1129

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
Problema general: **¿Cómo implementar un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua?** **Problemas específicos:** 1.¿Por qué la herramienta GyroMaster es ideal para realizar la medición de sondajes diamantinos en una mina en Moquegua? 2.¿Cómo mejorar el control de desviación de trayectoria en	**Objetivo general:** Implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua. **Objetivos específicos:** 1.Determinar los factores por los que la herramienta GyroMaster es ideal para realizar la medición de sondajes diamantinos en una mina en Moquegua. 2.Implementar un sistema de medición para mejorar el control de	**Hipótesis general:** La implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster logrará un control óptimo y de alta confiabilidad de la desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua. **Hipótesis específicas:** 1.La herramienta GyoMaster es el equipo adecuado para realizar la medición de sondajes diamantinos y el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua.	**Variable 1:** Sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster. - Precisión de la herramienta GyroMaster - Versatilidad de la herramienta GyroMaster - Procesamiento de datos **Variable 2:** Mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación. - Desviación de azimut - Desviación de inclinación	**Enfoque:** cuantitativo. **Tipo:** aplicativo. **Nivel:** descriptivo y explicativo **Diseño:** Cuasi – Experimental **Instrumentos:** Reportes de medición del equipo GyroMaster. **Población censal:** Sondajes mineros perforados por la empresa especializada AKDrilling international SA.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
perforación minera en una mina Moquegua?	desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua.	2.Con la implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster se tendrá un óptimo y confiable control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina en Moquegua.	- Comparación de datos programados y reales	

Anexo 2. Operacionalización de variable

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente: **Sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster.**	Un proceso diseñado para realizar un monitoreo de la trayectoria de un sondaje de perforación diamantina con el fin de conocer su azimut e inclinación real usando una herramienta de alta precisión. El sistema se basa en un control que se realiza cada 50 o 25 metros de perforación con el fin de poder tomar decisiones tempranas en el ajuste de parámetros para corregir la desviación.	La herramienta de alta precisión GyroMaster, tecnología desarrollada por la empresa Stockholm Precision Tools permite tomar datos de la trayectoria del sondaje tanto en el recorrido de bajada y subida de la herramienta, cuenta con un control de calidad QA/QC que por medio de comparación de datos permitirá que se verifique la eficiencia de los resultados.	Precisión de herramienta GyroMaster.	Precisión de la medición de desviación de trayectoria.	Escala numérica (grados).
			Versatilidad de la herramienta GyroMaster.	Capacidad de adaptación de la herramienta a distintas condiciones.	Escala de Likert.
			Velocidad de procesamiento de datos.	Tiempo y eficacia en el procesamiento de datos.	Escala numérica (minutos).

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Dependiente: **Mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación.**	Es la optimización del proceso de perforación a partir de los resultados positivos de un control de desviación progresivo y que va de la mano del avance diario de la operación, la toma oportuna de decisiones operativas sobre cambios de parámetros de perforación permite evitar el desvió de azimut e inclinación durante la perforación.	Se medirá en sus dos factores importantes, la variación de azimut e inclinación a lo largo de la trayectoria de la perforación, la medición se realizará en dos tiempos, una de entrada y otra de salida, lo que permitirá comparar ambas mediciones independientes y se podrá identificarse si el control de calidad es óptimo.	Desviación de azimut.	Reducción de la desviación de azimut.	Escala numérica (grados).
			Desviación de inclinación.	Reducción de la desviación de inclinación.	Escala numérica (grados).
			Comparación de datos programados y reales.	Comparación precisa entre los datos reales y programados, control efectivo de QA/QC.	Escala numérica (grados).

Anexo 3. Medición del sondaje AQDGT-24008

Información del pozo			
Latitud: **S17.09386°**	**Longitud:** W70.62445°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT24008_2024_21_12_22_03.osrv	**Fecha inicial del survey:** 21/12/2024 22:03	Fecha final del survey: 21/12/2024 23:01
Dirección de la sección OutRun	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.80 m	**Survey hasta** 565.13 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108015.5 m**		**Este** 328237.3 m	**Elevación** 3739 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada PASS	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 34.24m/min	**Velocidad máxima linear** 59.67m/min
Tasa de rotación máxima **26.28 %**	**Rotación promedio** 3.63 %	**Carácter de rotación** Low	**Temperatura máxima del Gyro** 23.49°C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

	Elevación **0.02 %**			**Norte** 0.05 %		**Este** 0.20 %	
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-59.48	202.28	3,739.00	328,237.30	8,108,015.50	1.0192	21.15
10.00	-59.52	201.72	3,730.38	328,235.40	8,108,010.80	0.9471	21.19
20.00	-59.70	201.99	3,721.75	328,233.51	8,108,006.11	0.9883	21.22
30.00	-59.76	201.36	3,713.11	328,231.65	8,108,001.44	1.0085	21.25
40.00	-60.11	201.46	3,704.44	328,229.83	8,107,996.80	1.0213	21.28
50.00	-60.22	201.26	3,695.77	328,228.02	8,107,992.17	0.9782	21.66
60.00	-60.51	201.37	3,687.06	328,226.24	8,107,987.57	1.0117	21.69
70.00	-60.54	202.22	3,678.35	328,224.40	8,107,983.01	1.0325	21.73
80.00	-60.61	201.29	3,669.65	328,222.57	8,107,978.44	0.9722	21.76
90.00	-60.83	201.75	3,660.92	328,220.78	8,107,973.91	0.9666	21.81
100.00	-60.47	200.73	3,652.22	328,218.98	8,107,969.32	0.9939	21.85
110.00	-60.75	201.28	3,643.49	328,217.22	8,107,964.77	0.9956	21.89
120.00	-60.65	201.31	3,634.77	328,215.45	8,107,960.20	1.0268	21.93
130.00	-60.85	201.61	3,626.04	328,213.66	8,107,955.66	1.0046	21.98
140.00	-60.89	201.82	3,617.30	328,211.87	8,107,951.14	1.0098	22.02
150.00	-61.08	201.90	3,608.55	328,210.07	8,107,946.65	1.0024	22.06
160.00	-61.15	201.99	3,599.79	328,208.26	8,107,942.17	0.9865	22.10
170.00	-61.19	202.23	3,591.03	328,206.44	8,107,937.71	0.9773	22.15

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
180.00	-61.18	202.37	3,582.27	328,204.62	8,107,933.25	0.9951	22.19
190.00	-61.30	202.58	3,573.50	328,202.78	8,107,928.82	1.0116	22.24
200.00	-61.31	202.70	3,564.72	328,200.93	8,107,924.39	0.9642	22.28
210.00	-61.27	202.85	3,555.95	328,199.07	8,107,919.97	0.9985	22.32
220.00	-61.04	203.19	3,547.20	328,197.18	8,107,915.51	1.0050	22.81
230.00	-61.15	203.36	3,538.44	328,195.27	8,107,911.08	1.0072	22.86
240.00	-61.03	203.97	3,529.69	328,193.32	8,107,906.65	1.0118	22.90
250.00	-61.05	203.83	3,520.94	328,191.36	8,107,902.23	0.9655	22.94
260.00	-61.33	203.49	3,512.17	328,189.44	8,107,897.82	1.0061	22.98
270.00	-61.20	204.12	3,503.40	328,187.50	8,107,893.42	0.9845	23.02
280.00	-61.05	204.60	3,494.65	328,185.51	8,107,889.01	0.9955	23.05
290.00	-61.16	204.75	3,485.89	328,183.50	8,107,884.63	0.9844	23.09
300.00	-61.21	205.07	3,477.13	328,181.47	8,107,880.26	1.0267	23.12
310.00	-61.33	205.41	3,468.35	328,179.41	8,107,875.92	1.0145	23.15
320.00	-61.27	205.49	3,459.59	328,177.34	8,107,871.58	1.0056	23.19
330.00	-61.20	205.86	3,450.82	328,175.25	8,107,867.24	1.0344	23.22
340.00	-61.16	206.43	3,442.06	328,173.13	8,107,862.91	1.0397	23.25
350.00	-61.18	206.55	3,433.30	328,170.98	8,107,858.59	0.9931	23.28
360.00	-61.05	206.96	3,424.55	328,168.81	8,107,854.26	0.9812	23.30
370.00	-61.05	207.44	3,415.80	328,166.59	8,107,849.96	1.0042	23.32
380.00	-60.92	207.50	3,407.06	328,164.34	8,107,845.65	1.0137	23.34
390.00	-60.81	208.10	3,398.33	328,162.07	8,107,841.34	0.9884	23.48
400.00	-60.63	208.12	3,389.61	328,159.76	8,107,837.02	1.0111	23.49
410.00	-60.44	208.43	3,380.91	328,157.43	8,107,832.68	0.9938	23.48
420.00	-60.27	208.58	3,372.23	328,155.06	8,107,828.33	0.9957	23.47
430.00	-60.15	208.44	3,363.55	328,152.69	8,107,823.96	1.0069	23.45
440.00	-59.90	208.67	3,354.89	328,150.30	8,107,819.56	1.0142	23.42
450.00	-59.67	208.72	3,346.26	328,147.88	8,107,815.13	1.0089	23.38
460.00	-59.49	208.90	3,337.64	328,145.43	8,107,810.69	0.9939	23.35
470.00	-59.30	209.36	3,329.04	328,142.95	8,107,806.23	1.0143	23.29
480.00	-59.21	209.77	3,320.45	328,140.42	8,107,801.77	1.0017	23.23
490.00	-59.35	209.54	3,311.85	328,137.90	8,107,797.34	0.9957	23.18
500.00	-59.19	209.72	3,303.26	328,135.38	8,107,792.89	0.9869	23.11
510.00	-58.71	210.27	3,294.70	328,132.79	8,107,788.41	1.0006	23.03
520.00	-58.29	210.56	3,286.19	328,130.13	8,107,783.89	0.9957	22.96
530.00	-57.80	210.67	3,277.72	328,127.42	8,107,779.32	0.9918	22.86
540.00	-57.45	211.05	3,269.28	328,124.67	8,107,774.71	0.9993	22.73
550.00	-56.95	211.30	3,260.89	328,121.86	8,107,770.05	1.0000	22.57
560.00	-56.59	211.71	3,252.55	328,118.97	8,107,765.34	0.9725	21.04
565.00	-56.33	211.65	3,248.39	328,117.52	8,107,762.99	0.9985	20.95
Estación final en 565.00m: Sección Vertical 279.48m / Dirección de cierre 205.38°							

Anexo 4. Medición del sondaje AQDGT-24001

Información del pozo			
Latitud: **S17.09981°**	**Longitud:** W70.61892°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT24001_2025_02_14_21_52.osrv	**Fecha inicial del survey:** 16/12/2024 21:52	**Fecha final del survey:** 16/12/2024 23:24
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.07 m	**Survey hasta** 675.37 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108178.60 m**		**Este** 328299.30 m	**Elevación** 3544.00 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada **PASS**	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 34.24m/min	**Velocidad máxima linear** 59.67m/min
Tasa de rotación máxima **26.28 %**	**Rotación promedio** 3.63 %	**Carácter de rotación** Low	**Temperatura máxima del Gyro** 23.49°C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

	Elevación **0.09 %**			**Norte** 0.02 %		**Este** 0.39 %	
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-69.30	219.05	3544.00	328299.30	8108178.60	0.9722	24.75
10.00	-68.72	218.89	3534.67	328297.03	8108175.80	0.9666	26.75
20.00	-68.72	218.85	3525.35	328294.76	8108172.98	0.9939	26.88
30.00	-68.77	219.19	3516.03	328292.48	8108170.17	1.0085	27.02
40.00	-69.12	219.14	3506.69	328290.22	8108167.39	1.0213	27.16
50.00	-68.95	219.03	3497.36	328287.95	8108164.60	0.9782	27.29
60.00	-69.06	218.78	3488.03	328285.69	8108161.80	1.0117	27.41
70.00	-69.23	218.72	3478.69	328283.46	8108159.02	1.0325	27.55
80.00	-69.37	218.77	3469.33	328281.25	8108156.26	0.9722	27.65
90.00	-69.40	218.86	3459.97	328279.04	8108153.52	0.9666	27.76
100.00	-69.39	218.73	3450.62	328276.83	8108150.77	0.9939	27.86
110.00	-69.50	218.75	3441.25	328274.63	8108148.04	0.9956	27.96
120.00	-69.45	218.80	3431.89	328272.43	8108145.30	0.9642	28.06
130.00	-69.56	219.15	3422.52	328270.23	8108142.59	0.9985	28.17
140.00	-69.73	218.86	3413.15	328268.04	8108139.88	1.0050	28.26
150.00	-69.62	219.15	3403.77	328265.85	8108137.17	1.0072	28.39

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
160.00	-69.74	218.76	3394.39	328263.67	8108134.47	0.9865	28.48
170.00	-69.89	218.75	3385.01	328261.51	8108131.79	0.9773	28.57
180.00	-70.05	218.99	3375.61	328259.36	8108129.13	0.9951	28.66
190.00	-69.96	219.45	3366.21	328257.20	8108126.48	1.0116	28.74
200.00	-69.97	219.62	3356.82	328255.02	8108123.83	0.9642	28.81
210.00	-69.88	219.57	3347.42	328252.84	8108121.19	0.9985	28.88
220.00	-69.99	219.59	3338.03	328250.65	8108118.55	1.0050	28.95
230.00	-70.10	219.95	3328.62	328248.48	8108115.93	1.0072	29.02
240.00	-70.14	220.43	3319.22	328246.28	8108113.33	1.0118	29.07
250.00	-70.40	220.50	3309.80	328244.10	8108110.78	0.9655	29.12
260.00	-70.39	220.49	3300.38	328241.92	8108108.23	1.0050	29.18
270.00	-70.53	221.11	3290.96	328239.73	8108105.71	1.0072	29.23
280.00	-70.52	221.13	3281.53	328237.54	8108103.20	0.9865	29.27
290.00	-70.66	221.04	3272.09	328235.37	8108100.71	0.9985	29.85
300.00	-70.89	221.52	3262.64	328233.21	8108098.24	1.0050	29.89
310.00	-71.00	221.78	3253.19	328231.04	8108095.81	1.0072	29.92
320.00	-71.06	221.91	3243.73	328228.87	8108093.39	1.0056	29.95
330.00	-70.94	221.93	3234.27	328226.70	8108090.97	1.0344	29.97
340.00	-71.01	221.98	3224.82	328224.52	8108088.54	1.0397	29.99
350.00	-70.99	221.90	3215.36	328222.35	8108086.12	0.9931	29.99
360.00	-70.87	221.86	3205.92	328220.16	8108083.68	0.9812	29.99
370.00	-70.81	221.80	3196.47	328217.98	8108081.23	1.0056	29.99
380.00	-70.86	222.29	3187.02	328215.78	8108078.80	1.0344	29.98
390.00	-70.89	222.37	3177.58	328213.57	8108076.37	1.0397	29.96
400.00	-70.75	222.23	3168.13	328211.36	8108073.93	1.0111	29.94
410.00	-70.77	222.15	3158.69	328209.15	8108071.49	0.9938	29.91
420.00	-70.80	222.33	3149.25	328206.93	8108069.06	0.9957	29.89
430.00	-70.78	222.50	3139.81	328204.71	8108066.62	1.0069	29.85
440.00	-70.81	222.15	3130.37	328202.49	8108064.19	1.0142	29.81
450.00	-70.69	222.35	3120.93	328200.27	8108061.74	1.0089	29.76
460.00	-70.72	222.47	3111.49	328198.04	8108059.30	1.0006	29.71
470.00	-70.71	222.65	3102.05	328195.81	8108056.87	0.9957	29.65
480.00	-70.56	223.02	3092.62	328193.55	8108054.43	0.9918	29.59
490.00	-70.70	223.20	3083.18	328191.29	8108052.01	0.9993	29.51
500.00	-70.66	223.34	3073.75	328189.02	8108049.60	1.0000	29.43
510.00	-70.69	223.40	3064.31	328186.75	8108047.20	1.0006	29.35
520.00	-70.71	223.70	3054.87	328184.47	8108044.80	0.9957	29.26
530.00	-70.70	224.10	3045.44	328182.18	8108042.42	0.9918	29.18
540.00	-70.72	224.08	3036.00	328179.88	8108040.04	0.9993	29.09
550.00	-70.67	224.28	3026.56	328177.58	8108037.67	1.0000	27.69
560.00	-70.62	224.40	3017.12	328175.26	8108035.30	0.9725	27.52
570.00	-70.67	224.68	3007.69	328172.94	8108032.94	0.9957	27.38
580.00	-70.67	224.96	2998.25	328170.61	8108030.59	0.9869	27.24
590.00	-70.61	225.01	2988.81	328168.27	8108028.25	1.0006	27.09
600.00	-70.72	224.95	2979.37	328165.94	8108025.92	0.9957	26.94
610.00	-70.82	225.40	2969.93	328163.61	8108023.59	0.9918	26.77
620.00	-70.90	225.53	2960.48	328161.28	8108021.30	0.9993	26.61

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
630.00	-70.89	225.45	2951.03	328158.95	8108019.01	1.0000	26.40
640.00	-70.89	225.68	2941.58	328156.61	8108016.72	0.9725	26.19
650.00	-70.87	225.82	2932.13	328154.27	8108014.44	0.9957	25.98
660.00	-70.85	226.12	2922.69	328151.92	8108012.14	0.9869	25.80
670.00	-70.81	226.52	2913.24	328149.58	8108009.84	1.0006	25.57
675.00	-70.97	226.72	2908.51	328148.41	8108008.71	1.0005	25.40
Estación final en 565.00m: Sección Vertical 279.48m / Dirección de cierre 205.38°							

Anexo 5. Primera medición del sondaje AQDGT-25011 a los 140 metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.09444°**	**Longitud:** W70.62272°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25011_2025_01_17_14_19.osrv	**Fecha inicial del survey:** 14/02/2025 14:19	**Fecha final del survey:** 14/02/2025 14:21
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.06 m	**Survey hasta** 170.96 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Tipo de Corrección **GC**			
Coordenadas de enlace			
Norte **8108359.4 m**		**Este** 328759.6 m	**Elevación** 3611 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada PASS	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 38.46m/min	**Velocidad máxima linear** 56.33m/min
Tasa de rotación máxima **30.05 %**	**Rotación promedio** 3.81 %	**Carácter de rotación** Low	**Temperatura máxima del Gyro** 17.31°C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

Elevación **0.04 %**			**Norte** 0.15 %		**Este** 0.23 %		
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-60.75	200.02	3611.00	328759.60	8108359.40	0.9976	17.30
10.00	-60.13	199.96	3602.31	328757.90	8108354.75	0.9510	17.21
20.00	-60.48	199.9	3593.62	328756.22	8108350.09	1.0015	17.17
30.00	-60.94	199.89	3584.89	328754.57	8108345.51	1.0023	17.13
40.00	-60.91	199.93	3576.15	328752.91	8108340.93	1.0312	17.1
50.00	-61.25	200.04	3567.40	328751.26	8108336.40	0.9275	17.05
60.00	-61.89	200.04	3558.59	328749.64	8108331.95	1.0168	17.02
70.00	-62.35	200.2	3549.74	328748.04	8108327.58	1.0321	16.98
80.00	-62.08	200.18	3540.89	328746.43	8108323.20	1.0249	16.93
90.00	-62.04	200.28	3532.06	328744.80	8108318.80	0.9955	16.89
100.00	-61.86	200.43	3523.24	328743.17	8108314.39	1.0109	16.84
110.00	-61.89	200.15	3514.42	328741.54	8108309.97	1.0452	16.79
120.00	-61.74	200.92	3505.61	328739.88	8108305.54	1.0328	16.74

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
130.00	-61.82	200.69	3496.79	328738.20	8108301.12	0.9979	16.69
140.00	-61.76	199.79	3487.98	328736.56	8108296.69	0.9800	16.62
150.00	-62.18	199.24	3479.14	328735.00	8108292.28	1.0179	16.56
160.00	-62.40	199.56	3470.28	328733.46	8108287.90	1.0266	16.47
170.00	-62.36	199.10	3461.41	328731.93	8108283.54	0.9972	16.41
Estación final en 170.00m: Sección Vertical 80.75m / Dirección de cierre 200.04°							

Anexo 6. Segunda medición del sondaje AQDGT-25011 a los 230 metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.09449°**	**Longitud:** W70.62273°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25011_2025_01_24_21_33.osrv	**Fecha inicial del survey:** 24/01/2025 21:33	**Fecha final del survey:** 24/01/2025 22:05
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.14 m	**Survey hasta** 235.27 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108359.4 m**	**Este** 328759.6 m		**Elevación** 3611 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada PASS	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 36.64 m/min	**Velocidad máxima linear** 45.74 m/min
Tasa de rotación máxima **30.84 %**	**Rotación promedio** 3.68 %	**Carácter de rotación** Medium	**Temperatura máxima del Gyro** 19.02 °C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

	Elevación **0.27 %**		**Norte** 0.35 %		**Este** 0.34 %		
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-60.86	199.98	3611.00	328759.60	8108359.40	1.0008	18.95
10.00	-59.99	199.99	3602.32	328757.90	8108354.73	1.0192	19.00
20.00	-60.56	199.69	3593.63	328756.23	8108350.08	0.9955	19.01
30.00	-60.77	199.84	3584.90	328754.57	8108345.49	0.9875	19.01
40.00	-60.9	199.85	3576.17	328752.92	8108340.91	1.0114	19.01
50.00	-61.3	199.81	3567.40	328751.28	8108336.38	1.0041	19.01
60.00	-61.83	199.99	3558.59	328749.66	8108331.93	0.9584	18.99
70.00	-62.33	200.18	3549.75	328748.06	8108327.55	0.9897	18.97
80.00	-62.15	200.08	3540.90	328746.45	8108323.18	0.9997	18.94
90.00	-61.98	200.16	3532.07	328744.83	8108318.77	0.9651	18.91
100.00	-61.74	200.19	3523.26	328743.20	8108314.33	0.9527	18.87
110.00	-61.87	200.21	3514.44	328741.58	8108309.90	1.0267	18.83
120.00	-61.82	200.69	3505.62	328739.93	8108305.48	0.9533	18.78
130.00	-61.87	200.64	3496.81	328738.26	8108301.07	0.9391	18.73

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
140.00	-61.90	199.87	3487.99	328736.63	8108296.65	1.0078	18.67
150.00	-62.09	199.08	3479.16	328735.07	8108292.22	0.9733	17.84
160.00	-62.46	199.43	3470.30	328733.55	8108287.85	1.0046	17.75
170.00	-62.42	199.36	3461.43	328732.01	8108283.49	0.9874	17.65
180.00	-62.42	199.06	3452.57	328730.49	8108279.11	1.0036	17.55
190.00	-62.68	199.22	3443.68	328728.99	8108274.77	1.0015	17.44
200.00	-62.61	199.40	3434.80	328727.48	8108270.43	1.0271	17.31
210.00	-62.74	199.12	3425.91	328725.97	8108266.11	1.0011	17.20
220.00	-62.32	198.91	3417.05	328724.45	8108261.74	0.9831	17.08
230.00	-62.36	198.60	3408.19	328722.95	8108257.34	1.0075	16.95
Estación final en 235.00m: Sección Vertical 110.76m / Dirección de cierre 199.73°							

Anexo 7. Medición final del sondaje AQDGT-25011 a los 340metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.10725°**	**Longitud:** W70.63451°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25011_2025_02_10_09_55.osrv	**Fecha inicial del survey:** 10/02/2025 09:55	**Fecha final del survey:** 10/02/2025 10:39
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.02 m	**Survey hasta** 340.18 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108359.4 m**		**Este** 328759.6 m	**Elevación** 3611 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada PASS	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 37.43 m/min	**Velocidad máxima linear** 58.83 m/min
Tasa de rotación máxima **40.63 %**	**Rotación promedio** 3.75 %	**Carácter de rotación** Medium	**Temperatura máxima del Gyro** 19.95 °C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

	Elevación **0.04 %**			**Norte** 0.10 %			**Este** 0.47 %
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-60.69	199.01	3611.00	328759.60	8108359.40	1.0008	19.82
10.00	-60.13	199.00	3602.31	328757.97	8108354.72	1.0041	19.86
20.00	-60.25	198.76	3593.64	328756.37	8108350.01	0.9584	19.87
30.00	-60.77	198.85	3584.92	328754.80	8108345.38	1.0271	19.89
40.00	-60.97	198.77	3576.18	328753.23	8108340.78	1.0114	19.9
50.00	-61.27	198.83	3567.42	328751.67	8108336.22	1.0041	19.91
60.00	-61.84	199.08	3558.61	328750.13	8108331.74	0.9584	19.92
70.00	-62.34	199.28	3549.76	328748.60	8108327.34	0.9874	19.93
80.00	-62.14	199.26	3540.91	328747.07	8108322.94	1.0036	19.93
90.00	-61.97	199.32	3532.08	328745.52	8108318.51	1.0015	19.94
100.00	-61.85	199.32	3523.26	328743.96	8108314.06	1.0271	19.94
110.00	-61.93	199.39	3514.44	328742.41	8108309.62	1.0267	19.94
120.00	-61.81	199.92	3505.62	328740.83	8108305.17	0.9533	19.94
130.00	-62.11	199.83	3496.79	328739.23	8108300.77	0.9533	19.95
140.00	-61.88	199.02	3487.97	328737.66	8108296.32	0.9391	19.94
150.00	-61.99	198.45	3479.14	328736.16	8108291.86	1.0078	19.92

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
160.00	-62.44	198.64	3470.28	328734.69	8108287.48	1.0046	19.92
170.00	-62.46	198.55	3461.41	328733.22	8108283.10	0.9391	19.91
180.00	-62.48	198.41	3452.54	328731.76	8108278.71	1.0078	19.89
190.00	-62.70	198.39	3443.66	328730.31	8108274.36	0.9733	19.88
200.00	-62.69	198.58	3434.77	328728.86	8108270.00	0.9533	19.85
210.00	-62.67	198.57	3425.89	328727.40	8108265.66	0.9391	19.83
220.00	-62.34	198.44	3417.02	328725.93	8108261.27	1.0078	19.80
230.00	-62.38	198.11	3408.17	328724.49	8108256.84	0.9733	19.77
240.00	-62.33	198.04	3399.31	328723.05	8108252.43	0.9391	19.74
250.00	-62.13	198.28	3390.47	328721.59	8108248.00	1.0078	19.71
260.00	-62.34	198.03	3381.61	328720.14	8108243.59	0.9733	19.67
270.00	-62.53	198.02	3372.74	328718.72	8108239.19	0.9533	19.63
280.00	-62.43	198.46	3363.88	328717.27	8108234.79	0.9391	19.58
290.00	-62.51	198.78	3355.01	328715.80	8108230.41	1.0078	19.54
300.00	-62.36	199.18	3346.15	328714.29	8108226.04	0.9733	19.49
310.00	-62.38	199.50	3337.29	328712.76	8108221.65	0.9533	19.44
320.00	-62.34	200.00	3328.43	328711.20	8108217.29	0.9391	19.40
330.00	-62.24	200.30	3319.58	328709.59	8108212.92	1.0078	19.35
340.00	-62.43	200.65	3310.72	328707.97	8108208.57	0.9733	19.28
Estación final en 340.00m: Sección Vertical 159.42m / Dirección de cierre 198.89°							

Anexo 8. Primera medición del sondaje AQDGT-25013 a los 90 metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.09096°**	**Longitud:** W70.62750°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25013_2025_01_30_14_25 .osrv	**Fecha inicial del survey:** 30/01/2025 14:25	**Fecha final del survey:** 30/01/2025 14:55
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.14 m	**Survey hasta** 90.46 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108733.6 m**		**Este** 328941.2 m	**Elevación** 3424.5 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada **PASS**	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 24.91m/min	**Velocidad máxima linear** 33.26m/min
Tasa de rotación máxima **41.53 %**	**Rotación promedio** 3.49 %	**Carácter de rotación** Medium	**Temperatura máxima del Gyro** 17.71°C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

Elevación **0.07 %**			**Norte** 0.17 %			**Este** 0.24 %	
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-59.15	168.98	3424.50	328941.20	8108733.60	1.0023	17.09
10.00	-58.91	169.48	3415.93	328942.16	8108728.54	1.0454	17.13
20.00	-58.65	169.54	3407.39	328943.10	8108723.42	0.9976	17.16
30.00	-58.67	169.25	3398.85	328944.06	8108718.30	0.9920	17.19
40.00	-58.49	168.98	3390.32	328945.05	8108713.19	1.1037	17.22
50.00	-58.95	168.77	3381.75	328946.05	8108708.12	0.9702	17.25
60.00	-59.01	168.15	3373.18	328947.08	8108703.07	1.0998	17.28
70.00	-59.39	168.67	3364.58	328948.11	8108698.07	1.1904	17.34
80.00	-59.58	168.77	3355.96	328949.11	8108693.10	0.9621	17.63
90.00	-59.79	168.86	3347.32	328950.08	8108688.17	0.9707	17.66

Estación final en 90.00m: Sección Vertical 46.29m / Dirección de cierre 168.94°

Anexo 9. Segunda medición del sondaje AQDGT-25013 a los 200 metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.09123°**	**Longitud:** W70.62764°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25013_2025_02_7_08_50.osrv	**Fecha inicial del survey:** **07**/02/2025 08:50	**Fecha final del survey:** 07/02/2025 09:33
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.01 m	**Survey hasta** 200.32 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108733.6 m**		**Este** 328941.2 m	**Elevación** 3424.5 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada PASS	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 36.64 m/min	**Velocidad máxima linear** 45.74 m/min
Tasa de rotación máxima **26.70 %**	**Rotación promedio** 3.60 %	**Carácter de rotación** Low	**Temperatura máxima del Gyro** 14.92 °C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

	Elevación **0.25 %**			**Norte** 0.36 %		**Este** 0.08 %	
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-59.27	170.05	3424.50	328941.20	8108733.60	1.0192	14.92
10.00	-58.69	170.43	3415.94	328942.08	8108728.50	0.9955	14.84
20.00	-58.44	170.58	3407.42	328942.94	8108723.34	0.9527	14.81
30.00	-58.67	170.13	3398.89	328943.81	8108718.20	0.9527	14.78
40.00	-58.57	169.76	3390.35	328944.73	8108713.08	1.0036	14.75
50.00	-59.61	169.62	3381.73	328945.62	8108708.08	1.0192	14.72
60.00	-58.64	169.21	3373.17	328946.57	8108703.00	0.9955	14.69
70.00	-59.03	169.32	3364.61	328947.54	8108697.93	0.9897	14.66
80.00	-59.21	169.45	3356.02	328948.49	8108692.89	1.0192	14.62
90.00	-59.49	169.72	3347.41	328949.41	8108687.89	0.9955	14.59
100.00	-59.17	169.66	3338.82	328950.32	8108682.85	0.9527	14.56
110.00	-59.62	169.88	3330.18	328951.22	8108677.89	1.0267	14.52
120.00	-59.80	170.28	3321.58	328952.10	8108672.88	0.9710	14.49
130.00	-59.81	170.33	3312.93	328952.94	8108667.93	1.0001	14.46
140.00	-60.95	170.34	3304.20	328953.76	8108663.11	1.0274	14.42
150.00	-61.04	170.41	3295.46	328954.57	8108658.34	1.0001	14.39

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
160.00	-61.07	170.61	3286.70	328955.37	8108653.57	1.0274	14.35
170.00	-61.34	170.87	3277.94	328956.15	8108648.82	1.0036	14.31
180.00	-61.20	170.68	3269.19	328956.92	8108644.03	1.0192	14.27
190.00	-61.10	170.74	3260.43	328957.70	8108639.28	0.9955	14.24
200.00	-61.40	171.06	3251.66	328958.45	8108634.54	0.9897	14.18
Estación final en 200.00m: Sección Vertical 100.55m / Dirección de cierre 170.12°							

Anexo 10. Tercera medición del sondaje AQDGT-25013 a los 350 metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.09096°**	**Longitud:** W70.62786°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25011_2025_03_04_23_22.osrv	**Fecha inicial del survey:** 04/03/2025 23:22	**Fecha final del survey:** 05/03/2025 00:14
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** **-0.13 m**	**Survey hasta** **354.93 m**
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108733.6 m**	**Este** 328941.2 m		**Elevación** 3424.5 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada **PASS**	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 31.66 m/min	**Velocidad máxima linear** 49.93 m/min
Tasa de rotación máxima **28.01 %**	**Rotación promedio** 3.61 %	**Carácter de rotación** Low	**Temperatura máxima del Gyro** 15.28 °C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

Elevación **0.03 %**			**Norte** 0.07 %			**Este** 0.17 %	
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-59.35	169.72	3424.50	328941.20	8108733.60	0.9397	15.28
10.00	-58.97	170.00	3415.92	328942.10	8108728.54	1.0016	15.21
20.00	-58.62	170.06	3407.38	328943.00	8108723.42	0.9541	15.18
30.00	-58.85	169.67	3398.82	328943.90	8108718.32	0.9107	15.16
40.00	-58.95	169.62	3390.25	328944.83	8108713.26	0.9696	15.14
50.00	-59.71	168.96	3381.62	328945.77	8108708.30	0.9852	15.12
60.00	-58.63	168.72	3373.07	328946.77	8108703.21	0.9825	15.08
70.00	-59.37	168.91	3364.48	328947.77	8108698.18	0.9877	15.06
80.00	-59.60	169.06	3355.86	328948.74	8108693.21	1.0082	15.03
90.00	-59.93	169.79	3347.21	328949.67	8108688.28	0.9535	14.74
100.00	-60.12	168.80	3338.54	328950.57	8108683.38	0.9187	14.71
110.00	-60.08	169.23	3329.87	328951.53	8108678.48	0.9927	14.69
120.00	-60.58	169.75	3321.17	328952.43	8108673.64	0.9867	14.65
130.00	-60.59	169.84	3312.46	328953.30	8108668.81	0.9631	14.62

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
140.00	-61.14	169.90	3303.71	328954.15	8108664.05	0.9787	14.59
150.00	-61.28	170.08	3294.94	328954.99	8108659.31	0.9887	14.56
160.00	-61.46	170.20	3286.16	328955.81	8108654.59	0.9231	14.52
170.00	-61.02	170.29	3277.40	328956.63	8108649.84	0.9696	14.49
180.00	-61.33	170.43	3268.62	328957.43	8108645.12	1.0062	14.45
190.00	-61.39	170.49	3259.85	328958.23	8108640.39	0.9845	14.41
200.00	-61.41	170.45	3251.07	328959.02	8108635.67	0.9477	14.36
210.00	-61.35	170.74	3242.29	328959.80	8108630.94	0.9852	14.31
220.00	-61.14	170.64	3233.53	328960.57	8108626.18	0.9615	14.25
230.00	-61.16	170.46	3224.78	328961.37	8108621.41	0.9767	14.18
240.00	-61.27	170.52	3216.01	328962.16	8108616.67	1.0172	14.12
250.00	-61.16	170.67	3207.25	328962.95	8108611.91	0.9615	14.05
260.00	-61.11	170.75	3198.49	328963.73	8108607.14	0.9187	13.25
270.00	-61.24	170.55	3189.73	328964.52	8108602.39	1.0137	13.15
280.00	-61.15	170.74	3180.96	328965.30	8108597.64	0.9977	13.05
290.00	-61.06	171.18	3172.21	328966.06	8108592.87	0.9541	12.95
300.00	-60.88	171.21	3163.47	328966.80	8108588.06	0.9787	12.85
310.00	-60.66	170.94	3154.75	328967.57	8108583.23	0.9657	12.75
320.00	-60.81	171.34	3146.03	328968.32	8108578.40	0.9521	12.64
330.00	-60.93	171.02	3137.29	328969.06	8108573.59	1.0016	12.53
340.00	-60.84	171.06	3128.56	328969.83	8108568.78	1.0082	12.40
350.00	-60.81	171.84	3119.83	328970.55	8108563.95	0.9845	12.30
Estación final en 350.00m: Sección Vertical 172.17m / Dirección de cierre 170.18°							

Anexo 11. Medición final del sondaje AQDGT-25013 a los 490 metros

Información del pozo			
Latitud: **S17.09096°**	**Longitud:** W70.62741°	**Referencia Norte:** True	**Convergencia grid** 0.00°
Información del Survey			
Tipo de Survey **Offline**	**Nombre del fichero Survey** AQDGT25011_2025_11_04_20_17.osrv	**Fecha inicial del survey:** 11/04/2025 20:17	**Fecha final del survey:** 11/04/2025 21:04
Dirección de la sección **OutRun**	**Herramienta del Survey** GyroMaster 2265	**Survey desde** -0.02 m	**Survey hasta** 490.80 m
Fecha de calibración **26/07/2023**	**Cálculo del Survey** Curvatura Mínima	**Referencia de inclinación:** Horizontal hacia arriba	**Operador** Diego Huayhua
Coordenadas de enlace			
Norte **8108733.6 m**		**Este** 328941.2 m	**Elevación** 3424.5 m
Información de post-chequeo			
Cumplimiento de intervalos de parada PASS	**Rango dinámico** PASS	**Velocidad promedio** 52.89 m/min	**Velocidad máxima linear** **55.92** m/min
Tasa de rotación máxima **29.28 %**	**Rotación promedio** 3.95 %	**Carácter de rotación** Low	**Temperatura máxima del Gyro** 21.38 °C

Diferencias en el intervalo 0.00 m a 565.13 m, entre 2 secciones, con tolerancia (0.48 %), en la profundidad 227.00 m (0.20 %):

Elevación **0.11 %**			**Norte** 0.25 %			**Este** 0.35 %	
MD (m)	**Dip (°)**	**Az. (°)**	**Elev. (m)**	**+E/-W (m)**	**+N/-S (m)**	**|G| (g)**	**Temp. (°C)**
0.00	-59.29	169.25	3424.50	328941.20	8108733.60	0.9784	19.96
10.00	-59.12	169.53	3415.91	328942.14	8108728.56	1.0001	20.12
20.00	-58.57	169.92	3407.38	328943.06	8108723.44	1.0192	20.21
30.00	-58.77	169.25	3398.83	328943.99	8108718.33	0.9982	20.26
40.00	-58.95	169.25	3390.26	328944.96	8108713.27	0.9710	20.32
50.00	-59.79	168.83	3381.62	328945.92	8108708.32	1.0001	20.37
60.00	-58.63	168.48	3373.06	328946.94	8108703.25	1.0274	20.43
70.00	-59.42	168.54	3364.47	328947.96	8108698.24	0.9710	20.48
80.00	-59.48	168.65	3355.86	328948.96	8108693.26	1.0001	20.54
90.00	-59.88	169.57	3347.21	328949.92	8108688.33	0.9955	20.59
100.00	-60.15	168.77	3338.53	328950.83	8108683.45	1.0274	20.64
110.00	-60.08	169.04	3329.87	328951.81	8108678.55	0.9651	20.68
120.00	-60.65	169.42	3321.16	328952.73	8108673.72	0.9897	20.73
130.00	-60.64	169.67	3312.44	328953.61	8108668.89	0.9651	20.78
140.00	-60.95	169.70	3303.71	328954.48	8108664.11	0.9897	20.83

MD (m)	Dip (°)	Az. (°)	Elev. (m)	+E/-W (m)	+N/-S (m)	|G| (g)	Temp. (°C)
150.00	-61.25	169.78	3294.94	328955.34	8108659.37	1.0036	20.88
160.00	-61.40	170.06	3286.17	328956.18	8108654.65	1.0192	20.93
170.00	-61.40	170.22	3277.39	328957.01	8108649.94	1.0036	20.96
180.00	-61.33	170.10	3268.61	328957.83	8108645.21	1.0192	21.00
190.00	-61.34	170.14	3259.84	328958.65	8108640.49	0.9955	21.03
200.00	-61.25	170.44	3251.07	328959.47	8108635.75	1.0192	21.06
210.00	-61.11	170.52	3242.31	328960.26	8108631.00	1.0192	21.08
220.00	-61.1	170.43	3233.54	328961.07	8108626.24	0.9955	21.36
230.00	-61.17	170.15	3224.79	328961.88	8108621.48	0.9897	21.37
240.00	-61.19	170.12	3216.03	328962.71	8108616.73	1.0192	21.37
250.00	-61.21	170.48	3207.27	328963.53	8108611.98	0.9955	21.38
260.00	-61.00	170.58	3198.51	328964.32	8108607.21	0.9527	21.37
270.00	-61.16	170.09	3189.75	328965.14	8108602.46	1.0267	21.36
280.00	-61.20	170.38	3180.99	328965.95	8108597.71	0.9651	21.35
290.00	-60.99	170.77	3172.24	328966.74	8108592.94	1.0036	21.34
300.00	-60.82	170.77	3163.51	328967.52	8108588.12	1.0192	21.32
310.00	-60.61	170.57	3154.79	328968.32	8108583.29	0.9745	21.29
320.00	-60.73	170.77	3146.07	328969.11	8108578.45	0.9651	21.26
330.00	-60.85	170.61	3137.34	328969.89	8108573.64	1.0036	21.23
340.00	-60.57	170.44	3128.62	328970.70	8108568.81	1.0192	21.20
350.00	-60.71	171.17	3119.90	328971.48	8108563.98	0.9997	21.17
360.00	-60.58	171.49	3111.18	328972.22	8108559.14	0.9710	21.13
370.00	-60.64	171.89	3102.47	328972.93	8108554.28	1.0001	21.08
380.00	-60.85	172.13	3093.75	328973.60	8108549.44	0.9982	21.03
390.00	-60.98	172.51	3085.01	328974.24	8108544.63	0.9651	20.99
400.00	-61.11	172.54	3076.26	328974.88	8108539.83	0.9784	20.93
410.00	-61.06	172.72	3067.50	328975.50	8108535.03	0.9651	20.87
420.00	-61.09	172.77	3058.75	328976.11	8108530.24	1.0001	20.81
430.00	-61.01	172.99	3050.00	328976.71	8108525.43	1.0036	20.74
440.00	-60.55	173.28	3041.28	328977.30	8108520.57	1.0192	20.66
450.00	-60.36	173.55	3032.58	328977.86	8108515.66	0.9997	20.59
460.00	-60.15	173.49	3023.91	328978.43	8108510.72	0.9651	20.52
470.00	-60.00	173.98	3015.24	328978.97	8108505.76	1.0036	20.44
480.00	-59.84	173.60	3006.59	328979.51	8108500.77	1.0192	20.37
490.00	-59.76	173.29	2997.95	328980.09	8108495.78	0.9997	20.26
Estación final en 490.00m: Sección Vertical 240.98m / Dirección de cierre 170.71°							

Anexo 12. Reporte de perforación

	SITEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	AKD-OPE-F-13-DO
	GESTIÓN DE OPERACIONES	Versión : 01
	FORMATO	Vigencia: 02/01/2024

REGISTRO DE RECUPERACIÓN Y PARÁMETROS ORIENTADOS

FECHA	06/01/2024	TURNO	DIA	MAQUINA N°#	AK-D32
CLIENTE	ANGLOAMERICAN			TALADRO N°#	AQDGT-24001
PROYECTO	QUELLAVECO	PERFORISTA	NORBEL PONCE		

RECUPERACIÓN DE TESTIGOS

N°	INICIO-CORRIDA (m)	FINAL-CORRIDA (m)	PERFORADO	RECUPERADO	RQD	DIAMETRO	RETORNO DE FLUIDOS	ORIENTACIÓN (°)	OBSERVACIONES (FALLAS, VACIOS, TERRENO FRACTURADO, ETC)
1	2.80	3.40	0.60	0.60	100%	HQ3	0%	-	perizo
2	3.40	4.50	1.10	1.10	100%	HQ3	0%	-	perizo
3	4.50	5.30	0.80	0.80	100%	HQ3	0%	-	perizo
4	5.30	5.90	0.60	0.60	100%	HQ3	0%	-	perizo
5	5.90	6.90	1.00	1.00	100%	HQ3	0%	-	perizo
6	6.90	8.10	1.20	0.90	75%	HQ3	0%	-	perizo
7	8.10	8.90	0.80	0.40	50%	HQ3	0%	-	perizo
8	8.90	10.00	1.10	0.70	64%	HQ3	0%	-	perizo
9	10.00	11.20	1.20	0.50	42%	HQ3	0%	-	fracturado
10	11.20	12.70	1.50	0.50	33%	HQ3	0%	-	aglomerado
11	12.70	13.70	1.00	0.40	40%	HQ3	0%	-	aglomerado
12	13.70	14.50	0.80	0.50	63%	HQ3	0%	-	aglomerado
13	14.50	16.00	1.50	0.40	27%	HQ3	0%	-	aglomerado
14	16.00	16.80	0.80	0.40	50%	HQ3	0%	-	aglomerado
15	16.80	17.40	0.60	0.25	42%	HQ3	0%	-	aglomerado
16	17.40	18.80	1.40	0.40	29%	HQ3	0%	-	aglomerado
17	18.80	19.50	0.70	0.50	71%	HQ3	0%	-	aglomerado
18	19.50	19.90	0.40	0.30	75%	HQ3	0%	-	aglomerado
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									

FLUIDOS DE PERFORACIÓN 3 PRUEBAS X TURNO				PARÁMETROS DE PERFORACIÓN 3 PRUEBAS POR TURNO		OBSERVACIONES / BROCAS	
N°	HORA DE PRUEBA	VELOCIDAD DE FLUIDO	CAUDAL GALONES X MINUTO	RPM ROTACIÓN CABEZAL	PENETRACIÓN CM X MINUTO	MARCA DE BROCA	TIPO
1			8	500	4 cm	101435 -01 HERO 3	HQ3
2							
3							
PRUEBA GRADO DEL PH / DE LA FUENTE DE AGUA (1 PRUEBA X TURNO)					PRUEBA GRADO DEL PH / DESPUES DE AGREGAR EL CPH (1 PRUEBA X TURNO)		

PERFORISTA: NORBEL PONCE SUPERVISOR: BENJAMIN QUISPE

Anexo 13. Ficha técnica GyroMaster

GyroMaster™

Especificaciones técnicas

Dimensiones	
Longitud	1844 mm (72,6")
Diámetro	42 mm (1,65")
Peso	8 kg (17.64 lb)

Entorno operativo	
Presión de profundidad	10153 psi
Temperatura de Ffuncionamiento	-30°C – +60°C (-22°F – +140°F)

Rendimiento*	
Exactitud de acimut	0,16°*
Exactitud posicional	0,1%**
Exactitud de inclinación	0,03°
Exactitud de toolface	0,05°
Rango de acimut	0° – 360°
Rango de inclinación	-90° – +90°
Modo de medición	Multishot - modo continuo - todas las latitudes

* Exactitud basada a 1σ
** Según el perfil del pozo.

Batería	
Tipo de batería	Recargable Li-ion
Duración de la batería	15 h

Datos	
Comunicaciones	Bluetooth®/Wireline
Conectividad	SPT SmartCloud vía WIFI o 4G LTE
Formato de exportación	PDF, Excel, CSV, LAS, DXF
Generación gráfica	2D, 3D
Reporte de medición	En cualquier intervalo

Dispositivo de mano	
Batería	20 h (8580 mAh)
Protección IP	IP68, IP69K

No es afectado por la interferencia magnética
El *GyroMaster*™ puede ser utilizado en terrenos con magnetismo, ya que mide la proyección de la velocidad angular de la Tierra en su eje de rotación.

Altos estándares de control de calidad - QA/QC
El *GyroMaster*™ utiliza nuestra tecnología *Navibore*™, la cual es capaz de registrar datos a cada centímetro de la trayectoria en tiempo real, convirtiéndonos así en líderes de precisión en la industria. Permite, de manera automática, realizar mediciones independientes con una precisión elevada y generar certificados detallados en PDF para distribuir de forma sencilla entre las partes interesadas.

Herramienta más rápida con codificador óptico inalámbrico
El *GyroMaster*™ viene con la más avanzada tecnología de codificador óptico inalámbrico del mercado. Diseñado para eliminar el error humano, provee la máxima precisión de profundidad y ofrece datos en tiempo real.

EUROPA
Suecia (HQ) +46 (8) 590 733 10
España (HQ) +34 (952) 179 918
Ucrania +38 (067) 562 91 69
Turquía +90 (533) 334 54 53

ÁFRICA
Sudáfrica +34 (952) 179 918
Ghana +233 555 956 594

NORTEAMÉRICA
Canadá +1 (877) 594 4633
Estados Unidos +1 (281) 460 5608
México (Norte) +52 (662) 110 0219
+52 (662) 229 4755
México (Sur) +52 (662) 430 7255

SUDAMÉRICA
Argentina +54 (9) 261 623 1542
Brasil +55 (31) 996 254 379
Chile (Santiago) +56 (9) 8238 2609
Colombia +57 (311) 531 1609
Ecuador +593 (99) 200 1060
Perú + 51 982 505 682
Bolivia +591 7 721 2107

ASIA-PACÍFICO
Perth Australia +61 861 156 379
Indonesia (Minería) +62 (811) 11 8 1608
Indonesia (Petróleo y Gas) +62 (812) 9100 651

EURASIA
Armenia +374 (77) 815 683
Kazajistán +7 (705) 160 2241

Stockholm Precision Tools

sptab.com | sales@sptab.com

© Stockholm Precision Tools AB. Todos los derechos reservados. 2F–03/2024

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso **Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.**

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Diego Angel Huayhua Llanllaya
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 77211753
Correo electrónico : huayhuadiego@gmail.com
Teléfono/Celular : 941152763

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (**X**)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título :
b) "Implementación de un sistema de medición de sondajes diamantinos con la herramienta GyroMaster para mejorar el control de desviación de trayectoria en perforación minera en una mina de Moquegua"
c) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
d) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Juan Elias Rojas Condori
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00482808
c) ORCID : 0000-0002-9796-9146

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 77211753
NOMBRES Y APELLIDOS : Diego Angel Huayhua Llanllaya

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(__X__) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 77211753
NOMBRES Y APELLIDOS : Diego Angel Huayhua Llanllaya
FECHA : 25 de Junio del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Diego Angel Huayhua Llanllaya, bachiller de la Escuela Profesional de : Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: Nº 77211753, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS CON LA HERRAMIENTA GYROMASTER PARA MEJORAR EL CONTROL DE DESVIACIÓN DE TRAYECTORIA EN PERFORACIÓN MINERA EN UNA MINA DE MOQUEGUA"

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 25 de Junio del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Diego Angel Huayhua Llanllaya
DNI: 77211753

Base legal: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 194-2020-SUNEDU-02-15

Arquimedes Vargas

TESIS _ DIEGO ANGEL HUAYHUA LLANLLAYA.pdf

Prueba turnitin

PRUEBA

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3297667678

Fecha de entrega
17 jul 2025, 6:30 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
17 jul 2025, 6:34 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS___DIEGO_ANGEL_HUAYHUA_LLANLLAYA.pdf

Tamaño de archivo
3.0 MB

141 Páginas

31.017 Palabras

163.469 Caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
hdl.handle.net 2%

2 Internet
repositorio.undac.edu.pe <1%

3 Internet
renati.sunedu.gob.pe <1%

4 Internet
repositorio.unfv.edu.pe <1%

5 Internet
repositorio.unamba.edu.pe <1%

6 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional de Moquegua <1%

7 Internet
repositorio.ucv.edu.pe <1%

8 Internet
www.coursehero.com <1%

9 Internet
repositorio.unsaac.edu.pe <1%

10 Internet
repositorio.continental.edu.pe <1%

11 Internet
repositorio.unp.edu.pe <1%

12 Internet
repositorio.ucsm.edu.pe <1%

13 Trabajos del estudiante
Universidad Continental <1%

14 Internet
dspace.unach.edu.ec <1%

15 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD <1%

16 Trabajos del estudiante
uncedu <1%

17 Internet
reflexnow.com <1%

18 Internet
renatiqa.sunedu.gob.pe <1%

19 Internet
repositorio.unjbg.edu.pe <1%

20 Internet
www.repositorio.unam.edu.pe <1%

21 Internet
repositorio.unap.edu.pe <1%

22 Internet
repositorio.unjfsc.edu.pe <1%

23 Internet
repositorio.upla.edu.pe <1%

24 Internet
tesis.unap.edu.pe <1%

25 Trabajos del estudiante
Universidad Francisco de Vitoria <1%

26 Internet
repositorio.lamolina.edu.pe <1%

27 Internet
repositorio.unah.edu.pe <1%

28 Internet
tesis.usat.edu.pe <1%

29 Internet
issuu.com <1%

30 Internet
repositorio.unam.edu.pe <1%

31 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga <1%

32 Internet
plandetesishuaman.blogspot.com <1%

33 Internet
repositorio.umsa.bo <1%

34 Internet
repositorio.upao.edu.pe <1%

35 Internet
repositorio.upt.edu.pe <1%

36 Internet
repositorioacademico.upc.edu.pe <1%

37 Internet
repositorio.unheval.edu.pe <1%

38 Trabajos del estudiante
uni <1%

39 Internet
repositorio.ujcm.edu.pe <1%

40 Internet
www.slideshare.net <1%

41 Publicación
Beltrán Wall, Pedro Pablo Raymundo. "Evaluación de las condiciones metodológic... <1%

42 Publicación
Calla Fernandez, Juan Fredy. "Efectos de la disolución del mineral calcita en el co... <1%

43 Trabajos del estudiante
Universidad Andrés Bello <1%

44 Internet
cdn.blueberriesconsulting.com <1%

45 Internet
repositorio.upsjb.edu.pe <1%

46 Publicación
Pumaquispe Saya, Marlon. "Vocación profesional de estudiantes del Centro Preun... <1%

47 Internet
eprints.uanl.mx <1%

48 Internet
repositorio.unab.cl <1%

49 Internet
repositorio.unsa.edu.pe <1%

50 Internet
vdocuments.mx <1%

51 Internet
www.mallinckrodt.com <1%

52 Publicación
"VI Congress of the International Society for Hemodialysis Buenos Aires, Argentin... <1%

53 Internet
concretonline.com <1%

54 Internet
repositorio.upagu.edu.pe <1%

55 Internet
ruidera.uclm.es <1%

56 Internet
tesis.ucsm.edu.pe <1%

57 Internet
www.dspace.espol.edu.ec <1%

58 Internet
1library.co <1%

59 Publicación
Cáceres Suca, Verónica Deysi. "Comercialización sostenible de las bodegas y el co... <1%

60 Publicación
Quispe Mamani, Fabian. "Impacto del proceso de acreditación en la mejora conti... <1%

61 Internet
api-repositorio.unia.edu.pe <1%

62 Internet
cybertesis.unmsm.edu.pe <1%

63 Internet
doku.pub <1%

64 Internet
dspace.ups.edu.ec <1%

65 Internet
edoc.pub <1%

66 Internet
repositorio.espe.edu.ec <1%

67 Internet
repositorio.ingemmet.gob.pe <1%

68 Internet
repositorio.uaustral.edu.pe <1%

69 Internet
repositorio.uladech.edu.pe <1%

70 Internet
repositorio.upn.edu.pe <1%

71 Internet
repositorio.uss.edu.pe <1%

72 Internet
su.diva-portal.org <1%

73 Trabajos del estudiante
unasam <1%

74 Internet
www.todaley.com <1%

75 Publicación
"Raise Borer previa inyección de lechada como metodología óptima para la const... <1%

76 Publicación
Carlos Farfan, Miguel angel | Chavez Balbuena, Ursula | Horna Ruiz, Ruben | Saco M... <1%

77 Internet
www.soltec-renovables.com <1%

78 Publicación
Monzon Apaza, Victor Hugo. "El control presupuestario, su alcance e incidencia e... <1%

79 Internet
www.osinergmin.gob.pe <1%

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 519-2025-CU-UNAM

Moquegua, 12 de agosto de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 3044-2025-R de fecha 08 de agosto de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° 308-2025-UNAM-R/SG de fecha 08 de agosto de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° 086-2025-UNAM/SEGE/GYT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Ordinaria N° 007-2025-SO-CU-UNAM, de fecha 08 de agosto de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 14° del Estatuto de la UNAM, aprobado bajo Resolución N° 578-2021-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 9, del artículo 16 del Estatuto de la UNAM;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley N° 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 18 y numeral 2 del artículo 20° del Estatuto de la UNAM;

Que, mediante Informe Técnico N° 086-2025-UNAM/SEGE/GYT, de fecha 07 de agosto de 2025, e Informe N° 308-2025-UNAM-R/SG de fecha 08 de agosto, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas del Bachiller: HUAYHUA LLANLLAYA DIEGO ANGEL de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quien se encuentra apto para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas; razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 08 de agosto de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Ordinaria N° 007-2025-SO-CU-UNAM, de fecha 08 de agosto de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo; POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de tesis al Bachiller: HUAYHUA LLANLLAYA DIEGO ANGEL de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Resolución Rectoral N° 209-2025-R-UNAM de fecha 04 de agosto de 2025, se resolvió ENCARGAR el Despacho del Rectorado de la Universidad Nacional de Moquegua, al Dr. Alejandro Manuel Ecos Espino, en su calidad de Vicerrector

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 519-2025-CU-UNAM

Moquegua, 12 de agosto de 2025

Académico, para que ejerza las funciones correspondientes en ausencia del Rector de la Universidad Nacional de Moquegua, los días 11 y 12 de agosto de 2025;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220-Ley Universitaria, el Estatuto de la UNAM, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN al Bachiller

- **HUAYHUA LLANLLAYA DIEGO ANGEL**

  TESIS : "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS CON LA HERRAMIENTA GYROMASTER PARA MEJORAR EL CONTROL DE DESVIACIÓN DE TRAYECTORIA EN PERFORACIÓN MINERA EN UNA MINA DE MOQUEGUA", cuyo Asesor Principal fue el Mg. Rojas Condori Juan Elias.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria – SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE, Y CÚMPLASE;

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

DR. ALEJANDRO MANUEL ECOS ESPINO
RECTOR (e)
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACIA
EPIM
DASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 870168
Página Web: www.unam.edu.pe