

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**Desarrollo de perforación direccional para la exploración geológica
del manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Elvis Abel MELGAREJO PALMA

Asesor:

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**Desarrollo de perforación direccional para la exploración geológica
del Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA
PRESIDENTE

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN
MIEMBRO

Mg. Daniel Armando SANCHEZ CHAVARRIA
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 327-2025-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

**Desarrollo de perforación direccional para la exploración geológica
del manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Elvis Abel MELGAREJO PALMA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Favio Maximo MENA OSORIO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

10 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 1 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Rubén Edgar FAU
201964695046 sot
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.10.2025 14:30:45 -05:00

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres que con gran esfuerzo y dedicación me impartieron su gran pasión y amor en conseguir logros y cosechar éxitos, así también a mi familia que siempre me brindaron todo su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la salud y el conocimiento para lograr desarrollar este proyecto, así también agradezco a todos del grupo de compañeros que me permitieron formar parte de este equipo sólido de geólogos que desarrollaron e impulsaron el crecimiento y las buenas relaciones de este proyecto, así también agradezco a la plana de docentes ingenieros geólogos que laboran en esta alma mater de la UNDAC, que impartieron sus conocimientos hacia mi persona.

RESUMEN

Esta investigación cualitativa de enfoque deductivo evalúa la aplicación de la perforación direccional en la exploración geológica del Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar en el año 2023, con el objetivo de reducir costos y tiempo de operación. Mediante el análisis comparativo entre un sondaje convencional y técnicas avanzadas como sondajes direccionales con el uso del equipo Devidrill y desviación con cuña dirigida; se demostró que la perforación direccional optimiza la eficiencia en proyectos mineros. Los resultados clave revelan un ahorro significativo del costo de la perforación y una reducción del tiempo de perforación para poder interceptar los targets geológicos.

El estudio concluye que esta metodología no solo incrementa la rentabilidad en yacimientos con características similares al Manto Esperanza, sino que también establece un precedente para la planificación estratégica en la minería actual. Se recomienda su implementación en futuros proyectos donde la complejidad geológica requiera soluciones técnicas innovadoras.

Palabras clave: Desviación con cuña, Devidrill, exploración geológica, Manto Esperanza, optimización minera, Perforación direccional.

ABSTRACT

This qualitative research of deductive approach evaluates the application of directional drilling in the geological exploration of the Manto Esperanza - Chungar Mining Unit in the year 2023, with the objective of reducing costs and operation time. Through the comparative analysis between conventional drilling and advanced techniques such as directional drilling with the use of Devidrill equipment and deviation with directional wedge, it was demonstrated that directional drilling optimizes efficiency in mining projects. Key results reveal significant drilling cost savings and a reduction in drilling time to intercept geological targets.

The study concludes that this methodology not only increases profitability in deposits with similar characteristics to Manto Esperanza but also sets a precedent for strategic planning in mining today.

Its implementation is recommended in future projects where geological complexity requires innovative technical solutions.

Keywords: Wedge diversion, Devidrill, geological exploration, Manto Esperanza, mining optimization, directional drilling.

INTRODUCCIÓN

En sus inicios, la perforación se utilizó para la explotación de Mantos acuíferos, pero rápidamente su aplicación se llevó a la industria petrolera y minera, primeramente, para comprobar y verificar el recurso natural en el subsuelo en combinación con los avances en las técnicas y metodologías geológicas.

Las técnicas de perforación continuaron evolucionando a medida que encontraban yacimientos en áreas y profundidades cada vez más difíciles de alcanzar y desarrollar, hasta que se dio inicio a la perforación direccional controlada, que implicó desviar un pozo de su trayectoria inicial hasta lograr alcanzar un objetivo.

Con el origen de la perforación direccional, también comenzaron a surgir nuevas herramientas y una vez dominada esta técnica para construir pozos direccionales se logró obtener beneficios tanto económicos como ambientales.

Actualmente, la perforación direccional es posiblemente uno de los procedimientos más innovadores utilizados en la industria petrolera y minera para la exploración de nuevos proyectos mineros.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

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

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	4
2.1.1.	A nivel Internacional	4
2.1.2.	A nivel Nacional	6
2.1.3.	A nivel Local	7

2.2. Bases teóricas – científicas.....	7
2.2.1. Perforación Direccional.....	8
2.2.2. Tipos de pozos Direccionales	10
2.2.3. Exploración geológica.....	13
2.3. Definición de términos básicos	14
2.4. Formulación de hipótesis	16
2.4.1. Hipótesis general	16
2.4.2. Hipótesis específicas	16
2.5. Identificación de Variables	16
2.5.1. Variables independientes.....	16
2.5.2. Variables dependientes	17
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	17

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	18
3.2. Nivel de investigación	18
3.3. Métodos de investigación	18
3.4. Diseño de investigación	18
3.5. Población y muestra	19
3.5.1. Población.....	19
3.5.2. Muestra	19
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	20
3.7.1. Datos de equipo de desviación.....	20
3.7.2. Medición de trayectoria en sondajes con equipo Champ Pilot.	21
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	22
3.9. Tratamiento estadístico.....	24
3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica.....	24

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	25
4.1.1. Ubicación Geográfica.....	25
4.1.2. Geología.....	26
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	33
4.3. Prueba de hipótesis	80
4.4. Discusión de resultados.....	81

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	17
Tabla 2. Variables para comparación entre sondaje Convencional vs Sondaje Direccional	33
Tabla 3. Cálculo de costo total entre sondaje direccional vs sondaje convencional ...	35
Tabla 4. Análisis de costo para el sondaje Con cuña DDH22204 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de 53,750 \$	47
Tabla 5. Análisis de costo para el sondaje Con DeviDrill DDH22429 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de - \$2,578.82	74
Tabla 6. Análisis de costo para el sondaje Con DeviDrill DDH23020 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de \$110,000.00	74
Tabla 7. Análisis de costo para ambos sondajes es de \$ 107,421.18	75
Tabla 8. Análisis de costo para el sondaje Con DeviDrill DDH23020 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de 53,750 \$	75
Tabla 9. Análisis general de precio entre sondajes direccionales vs convencional, realizados en el proyecto de exploración geológica del Manto Esperanza	79
Tabla 10. Diferencias entre perforación convencional y perforación direccional.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura de Sondajes Direccionales.....	11
Figura 2. Pozo Tipo "J", Deflexión Superficial	11
Figura 3. Sondaje Direccional Tipo S con cuña.....	12
Figura 4. Sondaje Direccional con cuña	12
Figura 5. Sondaje Direccional Múltiple	13
Figura 6. Diagrama del proceso de Perforación Diamantina	14
Figura 7. Equipo de desviación DeviDRILL – DEVICO.....	20
Figura 8. Características del equipo DeviDRILL.....	21
Figura 9. Tecnología de Medición Continua champ Pilot.....	21
Figura 10. Equipo De Desviación Direccional - Devidrill.....	22
Figura 11. a) Equipo de medición champ PILOT b) Equipo de medición champ NAVIGATOR; estos equipos son de la empresa AXIS mining technology.....	23
Figura 12. Equipo de Desviación - Champ Pilot	23
Figura 13. Instalación del parámetro de Cuenta de metros digital.....	24
Figura 14. Ubicación Local del área de estudio.....	25
Figura 15. Ubicación Regional del área de estudio.	26
Figura 16. Ubicación geológica Regional del Proyecto.....	27
Figura 17. Mapa geológico Local. (WGS 84, Zona 18S).....	30
Figura 18. Sección Transversal A-A' de la Mina Animón	31
Figura 19. Vista longitudinal del Manto. Esperanza Unidad Minera Chungar	32
Figura 20. Vista en planta de ubicación de sondajes direccionalados con curva.....	32
Figura 21. Vista de sondajes de perforación.	35
Figura 22. Análisis de tiempo mínimo para obtener una nueva Cámara.....	36
Figura 23. Análisis de tiempo mínimo para la implementación de un equipo.....	36
Figura 24. Estándar de medición de todos los sondajes de perforación implementada en el proyecto.	37
Figura 25. Ubicación de cámaras y generación de la malla de perforación.....	38

Figura 26. Ubicación de cámaras y malla de perforación y los targets.....	39
Figura 27. Vista en del plan de perforación con cuña en el Sondaje	40
Figura 28. Certificado de los datos del levantamiento topográfico	41
Figura 29. Línea de Tiempo	42
Figura 30. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22130.....	43
Figura 31. La instalación de la cuña	44
Figura 32. Propuesta de sondajes.....	45
Figura 33. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22204, Excel que detalla los resultados de la medición del pozo Branch o hijo.....	46
Figura 34. Análisis de costo para el sondaje con cuña DDH22204 en relación con una perforación Convencional.	47
Figura 35. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en DIP entre los sondajes DDH22130	48
Figura 36. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en AZIMUT entre los sondajes DDH22130	48
Figura 37. Vista en sección de Sondaje desviado con Cuña (DDH22130 sondaje madre y DDH22204	49
Figura 38. Vista Isométrica de los sondajes de la validación 3D entre los pozos DDH22130 y DDH22204.....	49
Figura 39. Con la perforación con cuña se evita la perforación de gran tramo de sondaje. y además se puede llegar a evitar daños en la operación como observamos en el punto A, alejándose de labor de operación minera.....	50
Figura 40. Vista del plan de perforación con curva devico de los Sondajes DDH224299 y DDH23020. vista en leapfrog de la proyección de ambos sondajes.	51
Figura 41. Datos del Collar de los sondajes direccionados con Devidrill.	52
Figura 42. Tiempo de desviación de la curva. devico (Devidrill) sondaje madre DDH22429.....	53

Figura 43. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22249, donde se valida la información mediante un Excel que muestra cada detalle de la medición como tiempo de medición, dip, azimut, coordenadas en cada profundidad y Dogled(giro)tipo de medición.....	54
Figura 44. Línea de tiempo de la desviación. del sondaje 23020	55
Figura 45. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH23020 , Excel que detalla los resultados de la medición del pozo Branch o hijo.....	56
Figura 46. Análisis de tiempo para el sondaje con cuña.....	75
Figura 47. Análisis de tiempo para el sondaje con cuña. DDH23020 en relación con una perforación Convencional.	75
Figura 48. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en DIP entre los sondajes DDH22429 y DDH23020.....	76
Figura 49. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en AZIMUT entre los sondajes DDH22429 y DDH23020.....	76
Figura 50. Vista en planta de la proyección comparando los sondajes convencionales. de los DDH22429 y DDH23020.	77
Figura 51. Vista en sección donde se aprecia la desviación con curva devico.	77
Figura 52. Vista en sección de la desviación DEVICO.	78
Figura 53. Vista del Manto Esperanza antes de la deviación DEVICO	79
Figura 54. Vista del Manto Esperanza antes de la deviación DEVICO después.....	80

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La perforación direccional en los últimos tiempos se ha convertido en una herramienta de gran importancia para las empresas de perforación que buscan reducir en el desarrollo de sus actividades el costo y el tiempo de Perforación.

La perforación direccional como significado se usan diversos medios para dirigir la dirección e inclinación de un sondaje a fin de alcanzar un objetivo determinado esta vez se aplicará en la exploración geológica del Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar.

En el desarrollo del plan de perforación, se ha visto algunos problemas que dificultaban alcanzar el objetivo y los problemas que pudieran ocasionar la no continuidad de un sondaje como los derrumbes en el pozo, alto torque, desvió del sondaje, flanquear un obstáculo de una labor minera por debajo de la cámara diamantina y otros, los cuales dieron lugar a la perforación direccional controlada como una técnica eficaz para dar solución a estos inconvenientes.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

Desarrollé el trabajo de investigación en la Unidad Minera Chungar.

Ubicado en el distrito de Huayllay – Provincia de Pasco - Región Pasco.

1.2.2. Delimitación temporal

En el proceso de investigación para la recolección de datos, el estudio de la interpretación de la información realizados en el año 2022 - 2023

1.2.3. Delimitación del universo

La recolección de toda información de los sondajes perforados con perforación direccional la cual se desarrolló para la exploración geológica del Manto Esperanza debido que esto definirá la eficiencia en la optimización del costo y tiempo de perforación.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo se desarrollará la Perforación Direccional para la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿De qué manera se optimizará los costos con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023?
- b. ¿De qué manera de optimiza el tiempo con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar la Perforación Direccional para optimizar la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Optimizar costos con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.
- b. Optimizar tiempo con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

1.5. Justificación de la investigación

El proyecto se justifica debido a que se desarrolla la perforación direccional, se produce una considerable optimización en el costo y tiempo de perforación, todo esto en comparación a una perforación convencional.

1.6. Limitaciones de la investigación

La carencia de poca información investigativa a nivel nacional realizado este tipo de perforación en el ámbito de la exploración de Mantos geológicos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel Internacional

Según Menciona DEVICO en su Baucher Informativo, Los sondajes con core direccionado (DCD) permite la desviación controlada del recorrido del sondaje y la perforación de múltiples sondajes que se ramifican de un sondaje principal, reduciendo el costo, el esfuerzo y la incertidumbre involucrados en un programa tradicional de exploración minera. Con pozos ramificados, la longitud total de perforación de un programa de exploración baja, mientras que la tasa de producción se mantiene alta. El potencial de ahorro está fuertemente relacionado con la profundidad del área de exploración. y la densidad de los objetivos de perforación. Esto ha sido corroborado y probado en proyectos como:

AGNICO-EAGLE Finlandia. Desde 2009, Devico ha trabajado para Agnico-Eagle en su perforación profunda. programa en la mina Kittilä en Finlandia. Como los hoyos a menudo bajan a 1.200 metros, se ahorra una cantidad significativa de tiempo y metros al desviarse agujeros. Durante el primer año de perforación se reportaron más de 23.000 metros ahorrado en un

programa de perforación de 57.000 metros, lo que supone un ahorro de tiempo del 30 % y ahorros de costes cercanos al 25 %

Según el manual IADC DRILLING MANUAL; la premisa básica de la perforación direccional es perforar un pozo desde una ubicación de superficie fija a ubicaciones subterráneas deseadas u objetivos. Los objetivos de perforación direccional se rigen por la superficie, ubicaciones y objetivos subterráneos; sin embargo, las consideraciones que se requieren van más allá de simplemente conectar los puntos de punto a punto. Sino de dar una correcta ubicación de los pozos en alta mar con respecto a las plataformas fijas de alta mar, Todo en relación a un modelo de perforación de pozos petrolíferos.

Según Yanez (2013) trabajo titulado “Optimización de trayectorias direccionales de alta tasa de construcción, para pozos horizontales, mediante la aplicación de sistemas de rotación continua. bloque 16. octubre 2013” comparativo, considerando las nuevas tecnologías de perforación direccional existentes para la construcción de pozos. PROBLEMA: Debido al largo alcance para llegar al objetivo, se requiere optimizar la trayectoria de perforación de pozos mediante el empleo de nuevas técnicas y tecnologías. HIPOTESIS: El análisis de los problemas ocurridos en la perforación de pozos con altos desplazamientos negativos, permitirá proponer alternativas para optimizar las trayectorias y sus costos. MARCO REFERENCIAL: El Bloque 16 está ubicado en la provincia de Orellana, dentro de la Reserva Étnica Waorani y del Parque Nacional Yasuní. El crudo que se encuentra aquí es un crudo pesado. MARCO TEÓRICO: Generalidades del Campo, Perforación Direccional y Horizontal, Parámetros de Perforación, Componentes de la Sarta (BHA), Herramientas de Medición, Herramientas de Perforación Direccional, Problemas en la Perforación. MARCO METODOLOGICO: recopilación de datos de pozos con alto desplazamiento negativo y sus problemas operativos, identificación de tiempo y costo de estos problemas, análisis del uso de los sistemas de

perforación direccional por sección. CONCLUSIÓN GENERAL: La propuesta de construcción de un pozo horizontal mediante el uso de un Sistema de Rotación Continua representa una mayor inversión respecto al uso de un motor de fondo, pero con menores riesgos operativos durante la perforación, lo que termina siendo la opción de mayor factibilidad técnico/económica. RECOMENDACIÓN GENERAL: La concentración lubricante líquido entre 1.5 al 3% v/v en el sistema de fluido, contribuye a la reducción del torque y el porcentaje de Stick & slip durante la perforación. Lo que garantiza la eficiencia y el rendimiento esperado de las herramientas direccionales.

2.1.2. A nivel Nacional

Según Explomin perforaciones en su presentación “Perforación direccional, la perforación del futuro”. Explica las ventajas de los múltiples beneficios que brinda la perforación direccional, tanto económicos como operativos, entre los cuales se puede citar: Ahorro en tiempo y costos indirectos: este método de perforación reduce la cantidad de estaciones de perforación para habilitar, ya que permite la ejecución de pozos múltiples a partir de una sola estación; Reducción de metraje en zonas estériles: el método de perforación con un pozo madre con ramificaciones, posibilita reducir el metraje de testigos en zonas estériles, dando un mayor enfoque a las áreas de interés, logrando optimizar los programas de perforación. Perforación de objetivos profundos con gran precisión: debido al gran control de la desviación, permite obtener impactos con gran precisión incluso en mallas reducidas tipo infill en zonas de hasta más de 1,000 m de profundidad. Gran control de la desviación natural: la tecnología de la perforación direccional posibilita eliminar la desviación natural de la perforación, controlándola y corrigiéndola, permitiendo que el eje del sondaje se mantenga dentro de la trayectoria planificada. Recuperación continua de testigos: incluso en la zona de curva, la tecnología de perforación direccional permite la recuperación de testigos. Mitigación del impacto ambiental: la

reducción significativa de las estaciones de perforación posibilita un menor impacto al medio ambiente.

2.1.3. A nivel Local

Según la reciente charla brindada en el INGEMMET por el Gerente de Servicios Técnicos JORGE GAMARRA URRUNAGA - Explomin, La técnica de perforación dirigida tiene actualmente más de 100 años de uso. Los avances tecnológicos de las últimas décadas en la perforación dirigida permiten controlar o corregir la trayectoria predeterminada de un pozo hacia uno o varios objetivos subterráneos con un alto nivel de precisión, logrando asombrosas hazañas de ingeniería.

Debido al gran control de la desviación, permite obtener impactos con gran precisión incluso en zonas de hasta más de 1,000m de profundidad, favoreciendo la identificación de objetivos profundos y difíciles de acceder con los métodos tradicionales de perforación. Explomin introdujo de forma exitosa esta tecnología para adaptarla a las exigencias y necesidades de la industria minera desde el 2013. Logrando excelentes resultados en la exploración y delineación de recursos minerales en Perú y Colombia.

2.2. Bases teóricas – científicas

Para ofrecer una comprensión técnica más profunda de la perforación dirigida, es esencial explorar los principios físicos, mecánicos, equipos de perforación y tecnologías específicas, así como los modelos geológicos y geomecánicos involucrados. estos aspectos son

Los fundamentos Mecánicos y físicos son:

La Mecánica de la Roca; la cual involucrar a la resistencia de la Roca; la Tensiones de los esfuerzos como los sigma_1, sigma_2 y sigma_3 que influyen en la estabilidad del pozo y en la dirección de propagación de las fracturas inducidas.

Fuerzas de Perforación que influye en la fuerza Axial donde influye el peso de los barrenos de perforación, el peso sobre la broca y el ángulo de desviación; así como también, torque de perforación.

Las Herramientas y Equipos son.

Motores de Fondo y Sistemas de Rotación, que influye directamente en el movimiento rotacional de la broca, las cuales deben de ser controlados por el caudal, la presión y la densidad de lodo de perforación; por otro lado se tiene los equipos del sistema de medición mientras se perfura las cuales en la actualidad se caracterizan por usar sensores giroscópicos y magnetómetros para medir la inclinación y el azimut del pozo; Así como algunos sistemas geofísicos que midan características como la resistividad, la densidad y la porosidad de la roca.

Modelos de Simulación utilizando software de Modelamiento como leapfrog Geo y otros.

Factores Geológicos y Geomecánicos

Las cuales son el tipo de roca, y la caracterización de la Formación geológica, así también como la porosidad y la permeabilidad se determinan mediante análisis geomecánicas y registros geofísicos.

2.2.1. Perforación Direccional

Definición:

La perforación direccional es una técnica que permite controlar intencionalmente la trayectoria de un sondaje en tres dimensiones (3D), para alcanzar objetivos subterráneos específicos, evitando así la linealidad convencional de los sondajes verticales o inclinados (Boart Longyear, 2020; SME, 2019). Esta tecnología combina herramientas de navegación en tiempo real (Measurement While Drilling, MWD), motores de fondo (mud motors), equipos direccionales y sistemas de desviación mecánica (cuñas o wedges)

para adaptarse a estructuras geológicas complejas, optimizar costos, optimizar tiempo y minimizar impactos ambientales (Sandvik, 2021; JORC, 2012).

Capacidades de perforación direccional

La perforación direccional es una técnica avanzada de exploración minera que permite controlar y modificar la trayectoria de un sondaje para interceptar con precisión objetivos geológicos específicos, optimizando la evaluación de recursos minerales (Society for Mining, Metallurgy & Exploration [SME], 2021).

Principales Capacidades

Alta precisión de intercepción

- Permite alcanzar blancos con un margen de error menor a 3 metros incluso a profundidades superiores a 500 metros (Boart Longyear, 2022).
- Especialmente útil en yacimientos con vetas angostas (<1 m de potencia) (Joint Ore Reserves Committee [JORC], 2012).

Reducción de costos y tiempo operacionales

- Disminuye hasta en 40% los metros totales perforados en comparación con métodos convencionales (SME, 2021).
- Minimiza la necesidad de perforaciones exploratorias redundantes.
- Capacidad de perforar en menos tiempo hacia un target definido.

Sostenibilidad ambiental

- Reduce el impacto superficial al requerir menos plataformas de perforación (International Council on Mining and Metals [ICMM], 2020).
- Disminuye la huella ecológica de los proyectos de exploración.

Integración con tecnologías digitales

- Utiliza sistemas de medición mientras se perfora (MWD) para correcciones en tiempo real.
- Compatible con software de modelamiento 3D como Leapfrog y Vulcan (Sandvik, 2021).

Desarrollo histórico de la perforación direccional

Orígenes y primeras técnicas (1920 - 1940)

La perforación direccional surgió en la década de 1920 como una solución para corregir desviaciones no intencionales en pozos petroleros. Los primeros métodos empleaban cuñas mecánicas (wedges) y ajustes manuales en el conjunto de fondo de pozo para modificar trayectorias, aunque con baja precisión. Durante los años 1930, la industria adoptó herramientas primitivas de medición de inclinación, como brújulas magnéticas, para guiar perforaciones en yacimientos superficiales.

Evolución tecnológica (1950 - 1980)

En la postguerra, avances como los motores de fondo (mud motors) y sistemas gyroscópicos permitieron mayor control en formaciones complejas. La técnica se adaptó a la minería en los años 1970, especialmente para explorar vetas angostas o evitar obstáculos geológicos. La introducción de MWD (Medición durante la perforación) en los 80s revolucionó el monitoreo en tiempo real, reduciendo errores de desviación.

Modernización y digitalización (1990 - actualidad)

El siglo XXI consolidó la integración de software 3D (ej.: Leapfrog, Vulcan) y perforación automatizada, permitiendo trayectorias curvas y multilaterales con precisión milimétrica. Normativas como el código JORC (2012) estandarizaron su uso en reportes mineros, mientras que casos como el proyecto Quellaveco en Perú demostraron su eficacia para reducir costos en exploración.

2.2.2. Tipos de pozos Direccionales

Existen varios tipos de perfiles de pozos direccionales que difieren en su forma, función, geología, geomecánica, economía y limitaciones operativas. Con base en las perforaciones los más usados son: pozos tipo tangencial, pozos tipo "S", pozos tipo "J", pozos inclinados, pozos horizontales y pozos

multilaterales. Considerando el objetivo planteado pueden tener un sinfín de trayectorias, y de acuerdo con estas se encuentran las siguientes categorías.

Figura 1. Nomenclatura de Sondajes Direccionales.

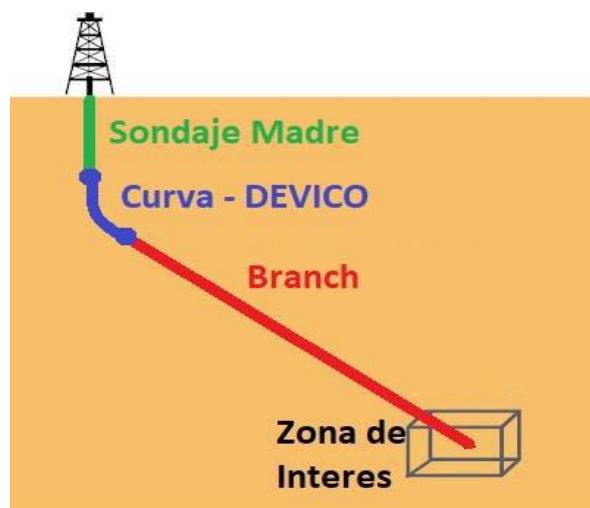


Nota. Tomada de “Perforación direccional y perforación horizontal” [Imagen], MINH PHU’O’NG CORP, 2020, <https://www.minhphuongcorp.com>

Pozos en forma de "J"

Pozos que inician verticalmente y luego curvan suavemente hasta mantener una inclinación constante. Ideales para interceptar vetas mineralizadas inclinadas o evitar zonas inestables superficiales (Smith & Johnson, 2020).

Figura 2. Pozo Tipo "J", Deflexión Superficial

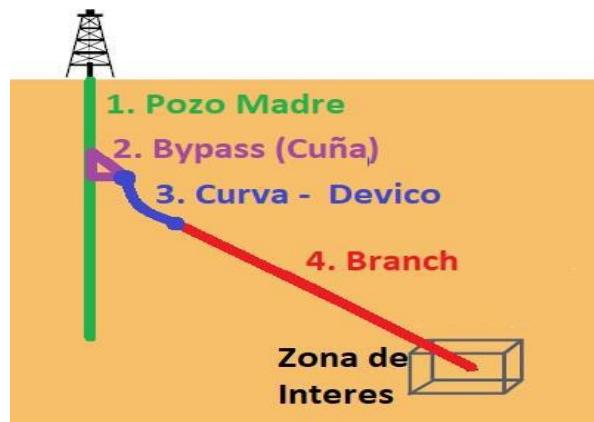


Nota. Adaptado de “Perforación direccional y perforación horizontal” [Imagen], MINH PHU’O’NG CORP, 2020, <https://www.minhphuongcorp.com>

Pozos en forma de "S"

Pozos con doble curvatura: primero se desvían de la vertical y luego retoman verticalidad. Utilizados cuando se requiere mantener secciones rectas en profundidad (IADC, 2019).

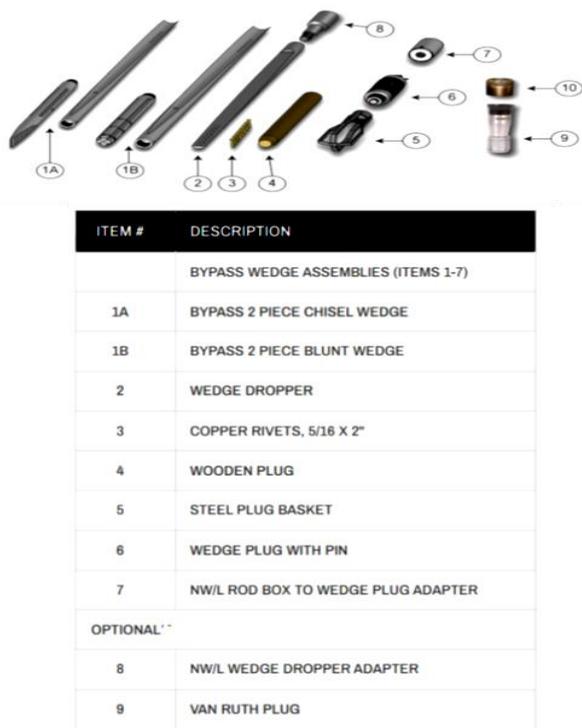
Figura 3. Sondaje Direccional Tipo S con cuña



Nota. Adaptado de “Perforación direccional y perforación horizontal” [Imagen], MINH PHU’O’NG CORP, 2020, <https://www.minhphuongcorp.com>

Partes de la cuña

Figura 4. Sondaje Direccional con cuña



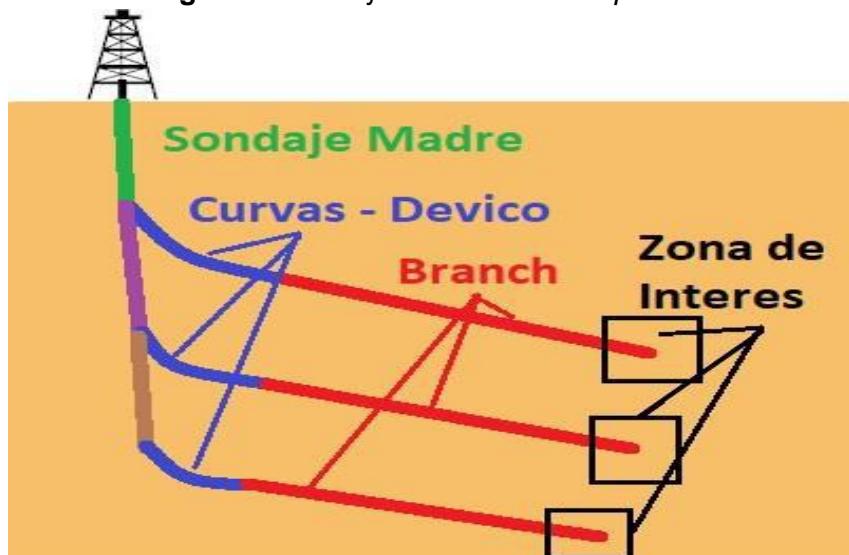
Nota. Tomada de “Conjunto de cuña de derivación P” [Imagen], TIME Limited, 2025, <https://timeltd.ca/products/drilling-wedges/p-bypass-wedge-assembly/>

Pozos multilaterales

Sistema de un pozo principal con múltiples ramificaciones laterales.

Permite explorar varios blancos desde un solo punto de perforación, optimizando costos (Mining Technology, 2021).

Figura 5. Sondaje Direccional Múltiple



Nota. Adaptado de “Perforación direccional y perforación horizontal” [Imagen], MINH PHU’O’NG CORP, 2020, <https://www.minhphuongcorp.com>

Pozos horizontales

Tras una sección vertical y curva, mantienen trayectoria paralela al estrato mineralizado. Efectivos para yacimientos estratificados o vetas angostas (Doe & Brown, 2018).

Pozos desviados controlados

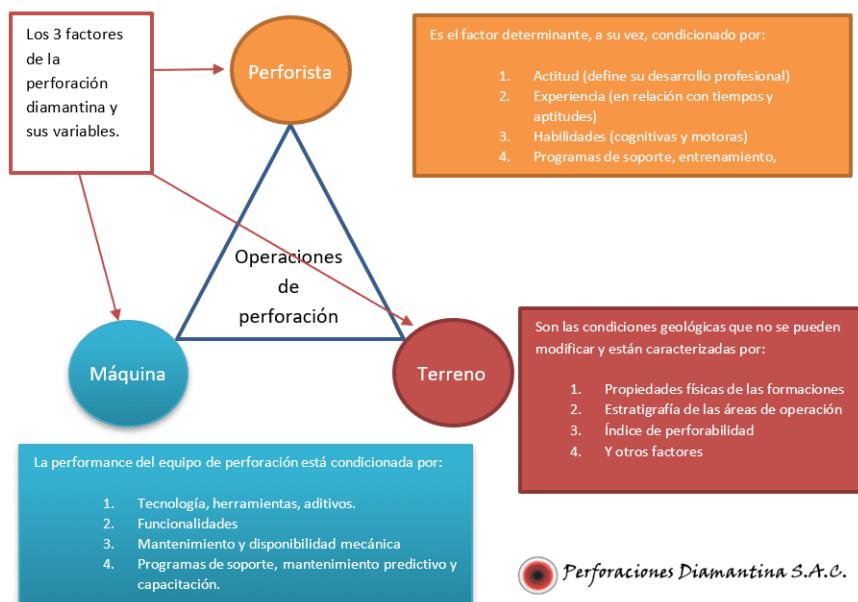
Trayectorias diseñadas para esquivar obstáculos naturales o infraestructura. Emplean tecnologías de navegación en tiempo real (SME, 2022).

2.2.3. Exploración geológica

Es aquella actividad que se realiza con una broca diamantada, equipos y accesorios para cortar las rocas de un determinado terreno. Este material extraído se denomina testigo.

El principio está basado en la erosión y desgaste de la roca, efecto causado por la rotación y presión ejercida hacia la broca por el equipo de perforación. Una vez extraído el testigo se procede a registrar y colocar en una caja porta testigos para su posterior almacenamiento en el Coreshak (almacén de testigos).

Figura 6. Diagrama del proceso de Perforación Diamantina



Nota. Adaptada de “Perforación direccional y perforación horizontal” [Imagen], Perforaciones Diamantinas S.A.C., 2021, <https://perforacionesdiamantinas.com/el-triangulo-de-la-perforacion/>

2.3. Definición de términos básicos

- **El Champ Pilot™:**

El Champ Pilot™ es un sistema giroscópico portátil de estado sólido que optimiza la medición de pozos en la perforación mediante tecnología de alta velocidad (hasta 100 m/min) y conectividad inalámbrica (Axis.). Su diseño elimina componentes móviles, garantizando precisión en entornos superficiales y subterráneos sin requerir instalaciones complejas. Destaca por su autonomía de 30 horas (con dos módulos de batería), integración con software empresarial y transmisión de datos en tiempo real vía Axis.

onSite™ (plataforma accesible desde dispositivos móviles o portátiles). Estas características reducen tiempos operativos y facilitan la toma de decisiones remotas, posicionándolo como una solución eficiente para proyectos de perforación exigentes (Axis, n.d.).

- **Exploración geológica**

Consiste en un reconocimiento de una extensa zona geográfica, con probabilidades de encontrar un depósito mineral, para buscar y evaluar la existencia de indicios de un yacimiento mineral.

- **Manto mineralizado**

Cuerpo mineralizado o depósito mineral (ore body). Se refiere a la mezcla de mena y ganga y puede encontrarse a profundidad o en la superficie.

- **Optimizar costos**

La optimización de costos trata de buscar formas de reducir los gastos innecesarios y mejorar las eficiencias operativas. Use la estrategia de pago por uso para su arquitectura e invierta en el escalado horizontal, en lugar de ofrecer primero una versión grande de la inversión.

- **Optimizar tiempo**

La optimización del tiempo es la aplicación de un conjunto de estrategias que buscan maximizar el aprovechamiento de las horas de trabajo para poder “hacer más en menos tiempo”, sin perjudicar la calidad de los resultados, ni la satisfacción de los clientes ni el bienestar de los empleados.

- **Perforación Direccional**

La Perforación Direccional: se define como la práctica de controlar/dirigir la trayectoria de un pozo hacia un objetivo predeterminado con o sin recuperación de núcleo a partir de un pozo madre.

- **Perforación Convencional o no Direccional:**

La perforación convencional sigue siendo el método más productivo y rentable en algunas aplicaciones, como la perforación corta horizontal y la perforación subterránea de barrenos ascendentes, así como la investigación de terrenos poco profundos y proyectos geotécnicos.

- **Perforación Direccional con Cuña**

Es una técnica que permite cambiar la dirección de un pozo vertical utilizando una herramienta llamada "cuña" (una placa metálica inclinada). Esta cuña se coloca en el pozo y actúa como una rampa, desviando la broca de perforación hacia una nueva trayectoria.

- **Sondajes diamantinos**

El sondaje diamantino es un método de perforación que utiliza una broca con diamantes industriales para extraer testigos de roca del subsuelo. Se emplea principalmente en Exploración minera y en estudios geotécnicos.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El desarrollo de Perforación Direccional optimizará la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Se optimizará costos con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.
- b. Se optimizará tiempo con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variables independientes

Perforación Direccional.

2.5.2. Variables dependientes

Exploración Geológica del Manto Esperanza.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones
Variable independiente: Perforación Direccional	La perforación direccional es una técnica que permite que la broca se dirija hacia una coordenada especificada. Se puede usar para retomar el rumbo si la perforación se desvía de la ruta deseada	Optimizar costos Optimizar tiempo
Variable dependiente: Exploración geológica	En este caso consiste en el reconocimiento y extensión del potencial del Manto Esperanza.	Perforación diamantina Manto mineralizado

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es cualitativa ya que se basa en analizar y diferenciar los costos y tiempos que serán optimizador para la exploración geológica del Manto Esperanza (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018)

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación cualitativa es explicativo ya que realizaremos la explicación del paso a paso de la toma de datos y de la explicación de resultados que favorecen al aplicar la perforación direccional en la exploración diamantina

3.3. Métodos de investigación

El método de la investigación es deductivo, ya que en el proceso desarrollaremos análisis estadísticos y gráficos que ayuden a probar los resultados positivos en la perforación direccional para la exploración del Manto Esperanza.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación será descriptivo se encarga de puntualizar las características de la perforación direccional y una perforación convencional.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población del estudio **son sondajes** de perforación direccionaladas que se desarrolló en la exploración geológica del Manto Esperanza.

3.5.2. Muestra

Durante este proyecto se realizaron 7 sondajes direccionalados y 8 correcciones de desviación con deviDRILL y un sondaje Desviado con Cuña, las cuales serán usadas como muestras de análisis en este estudio

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A partir de la exploración geológica y los sondajes diamantinos realizados entre 2021 y 2022, se identificó un cuerpo mineralizado de tipo Manto, asociado a la estructura del "Manto Esperanza". Este hallazgo motivó la continuación de las actividades de perforación en 2023, con el objetivo de incrementar los recursos de la mineralización mediante la implementación de técnicas innovadoras de perforación direccional.

Registro y codificación de datos

Para seleccionar los diferentes datos y muestras, utilizaran diferentes equipos y softwares, que nos ayudaran a realizar el análisis y el procesamiento de la información.

Se utilizaron:

1. Equipo direccional DeviDRILL
2. Equipo de medición Champ Pilot
3. Software Excel
4. Software LEAPFROG GEO.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Selección de datos.

3.7.1. Datos de equipo de desviación.

Instrumento direccional DeviDRILL.

El DeviDrill es un equipo que funciona mecánica e hidráulicamente en los sondajes diamantinos, esta se adapta a distintas maquinas de perforación convencionales dentro del Casin NQ. Está compuesto de una parte dinámica que gira con la rotación de la tubería y una parte estática que permite el direccionamiento, esta parte estática está compuesta de un packer que requiere hidráulica para activarse, es aquí donde se realizar la configuración del equipo deflactándolo sobre una guía que nos permite direccionar el pozo

Figura 7. Equipo de desviación DeviDRILL – DEVICO

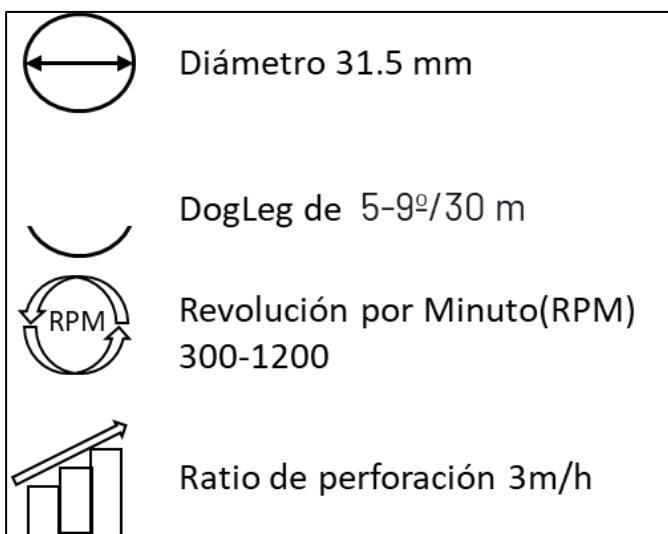


Nota. Adaptado de Ingeniería de perforación (p. 1-8), por Wu Jixiu, et al. 2021.

Características.

- Núcleo en tramos direccionales.
- Bajo consumo de agua
- Pequeño y compacto.
- Se adapta directamente en casing perforación de tamaño NQ
- Alta tasa de penetración en rocas duras.
- DogLeg fácilmente ajustable
- Se utiliza un dogleg más alto debido a una curva más suave
- Rotación de la columna de perforación también durante la dirección
- Pozo de tamaño NQ completo y no requiere escariado adicional

Figura 8. Características del equipo DeviDRILL.



Nota. Características del equipo DeviDRILL Elaboración propia.

3.7.2. Medición de trayectoria en sondajes con equipo Champ Pilot.

Instrumentos

Tecnología de Medición Continua

Figura 9. Tecnología de Medición Continua champ Pilot



Nota. Adaptada de “Giroscopios Axis Champ - Instrumentos Mount Sopris” [Imagen], MOUNT SOPRIS, 2020, <https://mountsopris.com/axis-champ-gyroscopes/>

- Memoria de Estado Sólido.
- Fácil de operar.
- Funcionamiento continuo a alta velocidad.
- Reduce el tiempo de medición.
- Medición por cable, barras o bombeo.

Recomendaciones:

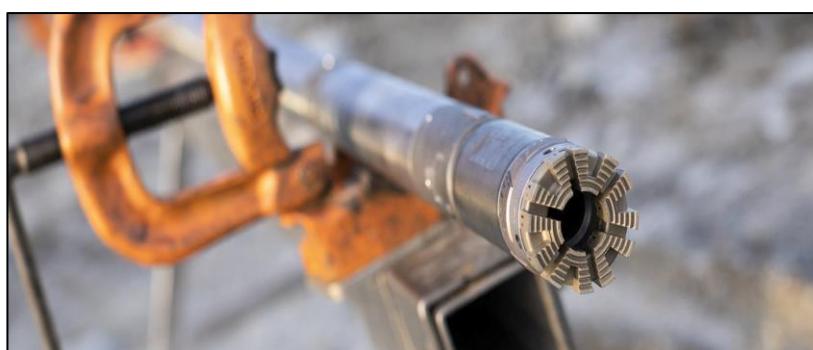
1. Verificar el estado del equipo.
2. Verificar que el tubo interior se encuentre dentro del sondaje.
3. Realizar el Descenso del equipo antes de realizar la medición.
4. Utilizar accesorios adecuados, de acuerdo a la inclinación.
5. Descender o ascender a velocidad lenta y constante.
6. Verificar los datos obtenidos en la medición.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Como funciona la perforación direccional con DeviDrill.

La perforación direccional (DCD) se realiza con el barril de perforación direccional DeviDrill. El principio detrás del DeviDrill es un eje de transmisión que atraviesa un desplazamiento del buje desde la línea central de la herramienta. Las almohadillas de expansión operadas por presión diferencial mantienen el DeviDrill en una orientación fija mientras perfora en una curva. El conjunto interno lleva un tubo interior que recoge el núcleo, un sistema de muleshoe y un equipo de medición que registra la inclinación y orientación de la herramienta. Los datos de guía se almacenan dentro de la herramienta y se descargan en uno teléfono celular después de cada perforación.

Figura 10. Equipo De Desviación Direccional - Devidrill



Nota. Tomada de “Perforación direccional de núcleos” [Imagen], AJIMA3TE0GYP, 2023, <https://almazgeobur.kz/catalog/devico/devidrill/>

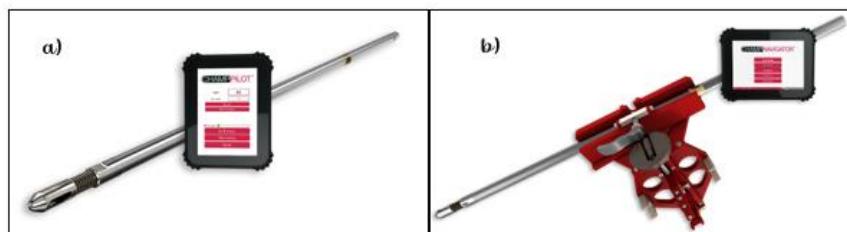
- **Medición de trayectoria de sondajes: Champ Pilot™ -**

Se realizaron 2 métodos Medición Sencilla (SINGLE SHOT) y toma Multiple (MULTISHOT).

Estos tipos de medición se realizaron con los equipos CHAMP_PILOT y CHAMP_NAVIGATOR.

Se realizó con el equipo CHAMP_PILOT, ya que está diseñada para medir el Survey en sondajes que cuenten con una inclinación < 70°, Se realizaron mediciones SingleSHOT; el equipo CHAMP_NAVIGATOR se usó para sondajes que tienen una inclinación >70° en la cual también se realizó la medición de SingleSHOT y MultiSHOT.

Figura 11. a) Equipo de medición champ PILOT b) Equipo de medición champ NAVIGATOR; estos equipos son de la empresa AXIS mining technology.



Nota. Adaptada de “Giroscopio de medición continua” [Imagen], Perú Survey, 2023, <https://perusurvey.com/productos/giroscopio-de-medicion-continua>

Figura 12. Equipo de Desviación - Champ Pilot



Nota. Champ Pilot insitu para realizar la medición de los sondajes diamantinos.
Elaboración propia.

Figura 13. Instalación del parámetro de Cuenta de metros digital.



Nota. Champ Pilot insitu para realizar la medición de los sondajes diamantinos.

Elaboración propia.

3.9. Tratamiento estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos, se realizaron comparaciones detalladas de los costos y tiempos asociados con los sondajes direccionales y convencionales, con el objetivo de identificar diferencias significativas entre ambos métodos.

3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica

La investigación de sondajes direccionales no solamente abarca aspectos técnicos y económicos, sino.

- Relaciones éticas; como el cuidado del medio, reduciendo el número de plataformas de perforación, y el bajo consumo de los recursos hídricos
- Relaciones filosóficas, ya que abarca e innova nuevas tecnologías en el ámbito de exploración geológica y contribuye a seguir actualizando nuestro conocimiento con nuevas tecnologías.
- Relaciones epistémicas; sobre la adquisición de conocimiento técnico, la cual permite evaluar no solo la eficiencia operativa, sino abarcar el uso de nuevos métodos de perforación en el ámbito de la exploración geológica.

CAPITULO IV

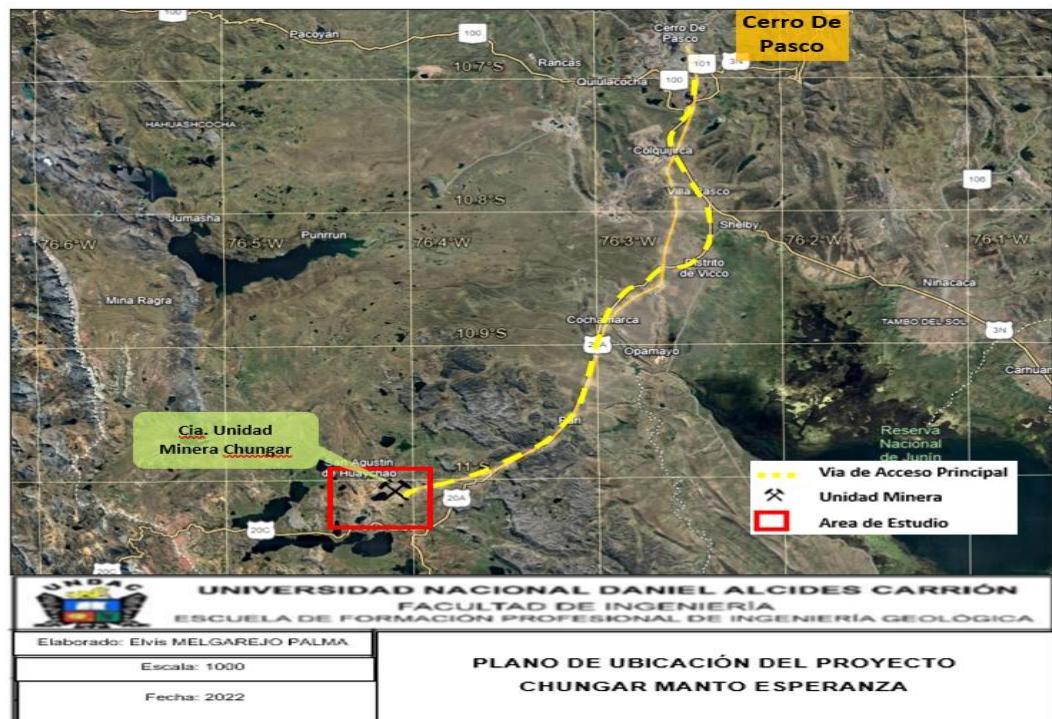
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación Geográfica

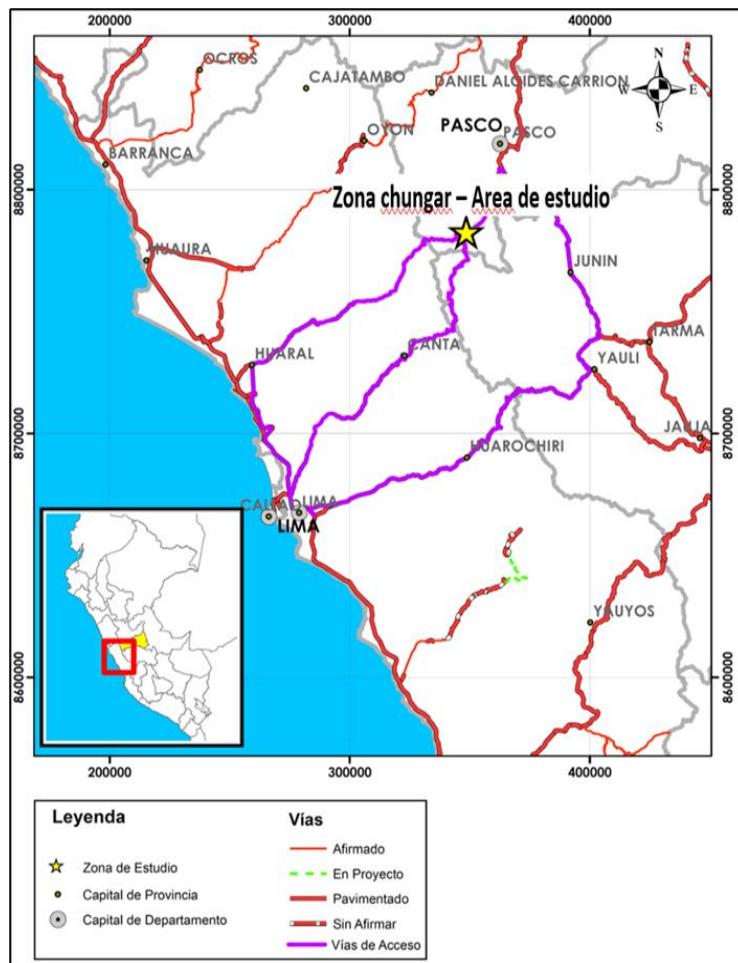
Políticamente, la Unidad minera Chungar se encuentra en el distrito de Huayllay, Provincia de Cerro de Pasco, situada a 43 km al SW de la localidad de Cerro de Pasco. Geográficamente en el tramo de la cordillera central. A una altitud de 4600 msnm.

Figura 14. Ubicación Local del área de estudio.



Nota. Ubicación Local del área de estudio Cerro de Pasco – Cia Unidad Minera Chungar. Elaboración propia.

Figura 15. Ubicación Regional del área de estudio.



Nota. Ubicación Regional del área de estudio Cerro de Pasco – Cia Unidad Minera Chungar. Elaboración Propia.

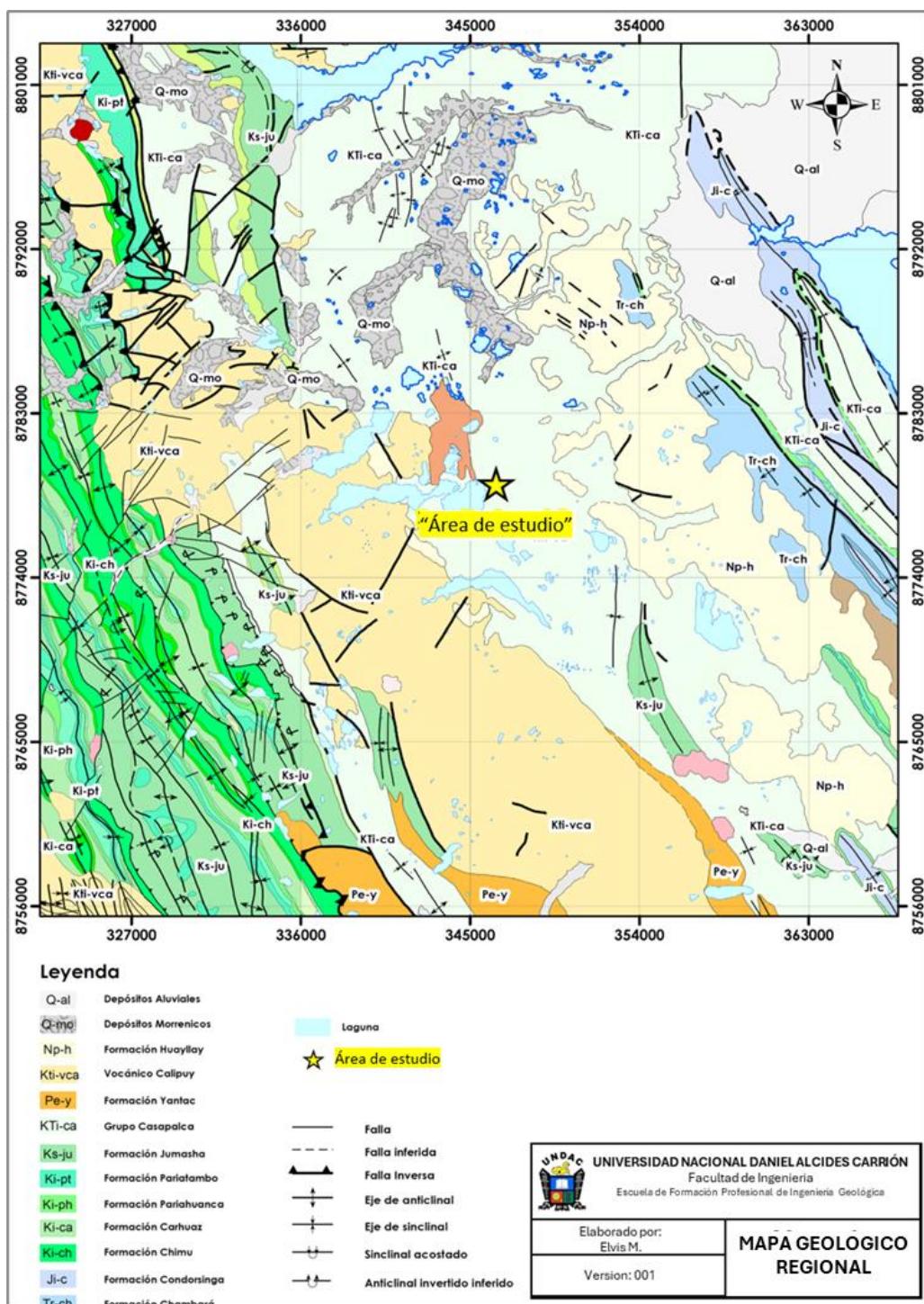
4.1.2. Geología.

Contexto geológico REGIONAL

Al este del área de estudio, afloran rocas mesozoicas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico), mientras al oeste se observan sedimentos cretácicos del Grupo Goyllarisquizga y formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo y Jumasha.

Sobreyciendo en discordancia, se identifican secuencias cenozoicas siliciclásticas continentales (Grupo Casapalca), diferenciadas en las formaciones Casapalca (rojiza, tres miembros: A, B, C) y Calera.

Figura 16. Ubicación geológica Regional del Proyecto.



Nota. Ubicación del área geológica regional del proyecto de investigación.
Elaboración Propia.

Contexto geológico Local.

En el área de mina Animón - Chungar, se ha reconocido a la Formación Casapalca, se ha dividido en tres miembros: A, B y C.

El Miembro A, es una intercalación de calizas grises, limolitas y margas con finas laminaciones a veces bituminosas, las cuales han sido interceptadas con los sondajes diamantinos.

El Miembro B, consta de 3 niveles: Hacia la base una intercalación de limo-arcillitas con areniscas de matriz calcárea. En la parte media se tiene conglomerados clasto soportado de arenisca cuarzosa y caliza. Hacia la parte superior, areniscas de matriz calcárea con intercalaciones de limolitas.

El Miembro C, consta de 3 niveles: En el parte inferior, compuesto por calizas gris claras con presencia de chert que cambia lateralmente a facies de margas y areniscas calcáreas). Esta caliza puede estar fuertemente silicificada debido a fluidos hidrotermales. En la parte media, está compuesto por una alternancia de areniscas con matriz calcárea, conglomerados, limoarcillitas y niveles tobáceos.

La Formación Calera, sobreyace en leve discordancia angular a la Formación Casapalca; es una secuencia de rocas sedimentarias, volcánicas y volcano - sedimentarias se han reconocido tres miembros: inferior, medio y superior (Ángeles, 1999). La sedimentación habría comenzado en el Eoceno Superior hasta el Oligoceno, la datación radiométrica se ha basado en las biotitas de una toba dacítica ubicada en la base de esta formación que aflora en la mina Colquijirca, asignándole una edad de 36 - 37 Ma (Noble, 1999).

El Miembro Inferior, aflora en la localidad cercana a Cerro de Pasco está compuesto por conglomerados con clastos angulosos provenientes del Grupo Pucará, intercalados con limos, lutitas y delgados niveles de tobas riolíticas. Tiene un grosor de 64 m.

El Miembro Medio, Aflora en la localidad, alcanzando 55 m de grosor; hacia la base es casi enteramente calcárea, con abundancia de sílex con gasterópodos, bivalvos y madrigueras; hacia el techo están presentes calizas margosas e intercalaciones de lutitas gris verdosas, probablemente derivadas

de piroclástos. En Colquijirca, el Miembro Medio tiene un grosor de entre 50 a más de 200 m.

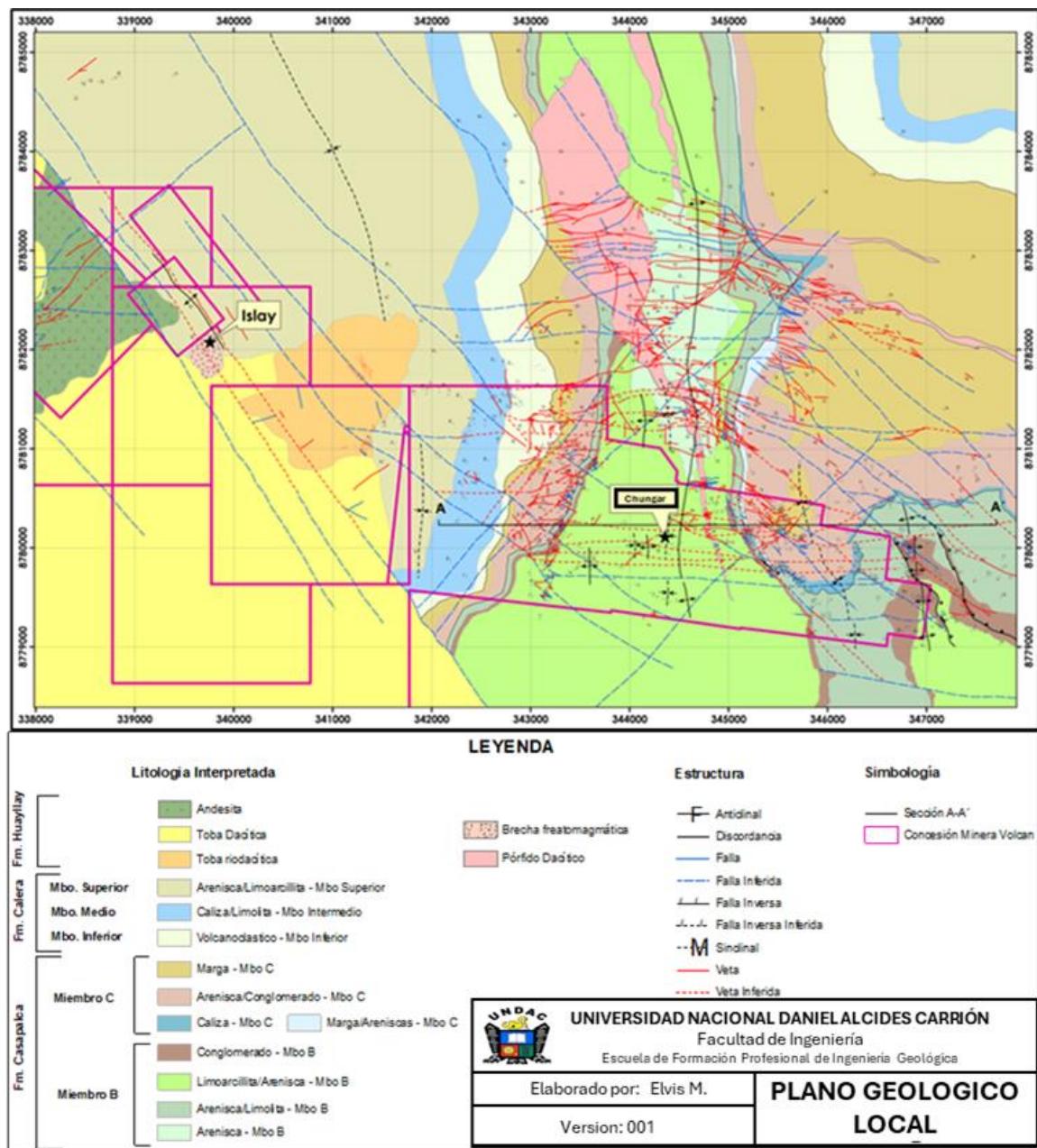
El Miembro Superior, aflora en Colquijirca, se compone de delgadas alternancias de lutitas, limolitas, areniscas, dolomías margosas, dolomías, chert y además abundante contenido de materia orgánica. Supera los 150 m de grosor.

En los alrededores de la mina Animón, la Formación Calera tiene un grosor aproximado de 500 m, asimismo se reconocen los tres miembros descritos anteriormente.

En estas dos grandes secuencias (Mesozoica y Cenozoica) se pueden observar pliegues, cuyos ejes presentan una orientación NNW-SSE, este plegamiento es consecuencia de la tectónica compresiva, la cual consta de varias fases, siendo el evento tectónico Inca comprendido entre edades de 43 y 30 Ma, el que produjo la deformación más importante en los Andes peruanos.

Sobreyciendo en discordancia a las formaciones Casapalca y Calera, se tiene una secuencia volcánica, cuya litología es extremadamente variada, consistiendo principalmente de lavas andesíticas púrpuras, piroclastos gruesos, tuhos finamente estratificados, basaltos, riolitas y dacitas, todos los cuales presentan variaciones laterales bastante rápidos; ha sido nombrada como parte del Grupo Calipuy; existe evidencia de dataciones radiométricas realizadas por Farrar, E. y Noble, D. (1976) en dos muestras tomadas en la localidad de Río Pallanga, por el método K-Ar, obtienen edades que oscilan entre 14.58 ± 0.48 y 14.67 ± 0.48 M.a.

Figura 17. Mapa geológico Local. (WGS 84, Zona 18S)



Nota. Mapa geológico Local (WGS 84, Zona 18S). Elaboracion propia.

Asimismo, se han reconocido, pequeños cuerpos ígneos de composición dacítica, a manera de pequeños stocks, diques y/o sills; los cuales intruyen a la Formación Casapalca (ver Figura 19). Estos han sido datados por Thouvenin (1983) mediante el método por K/Ar en 10.3 ± 0.1 Ma.

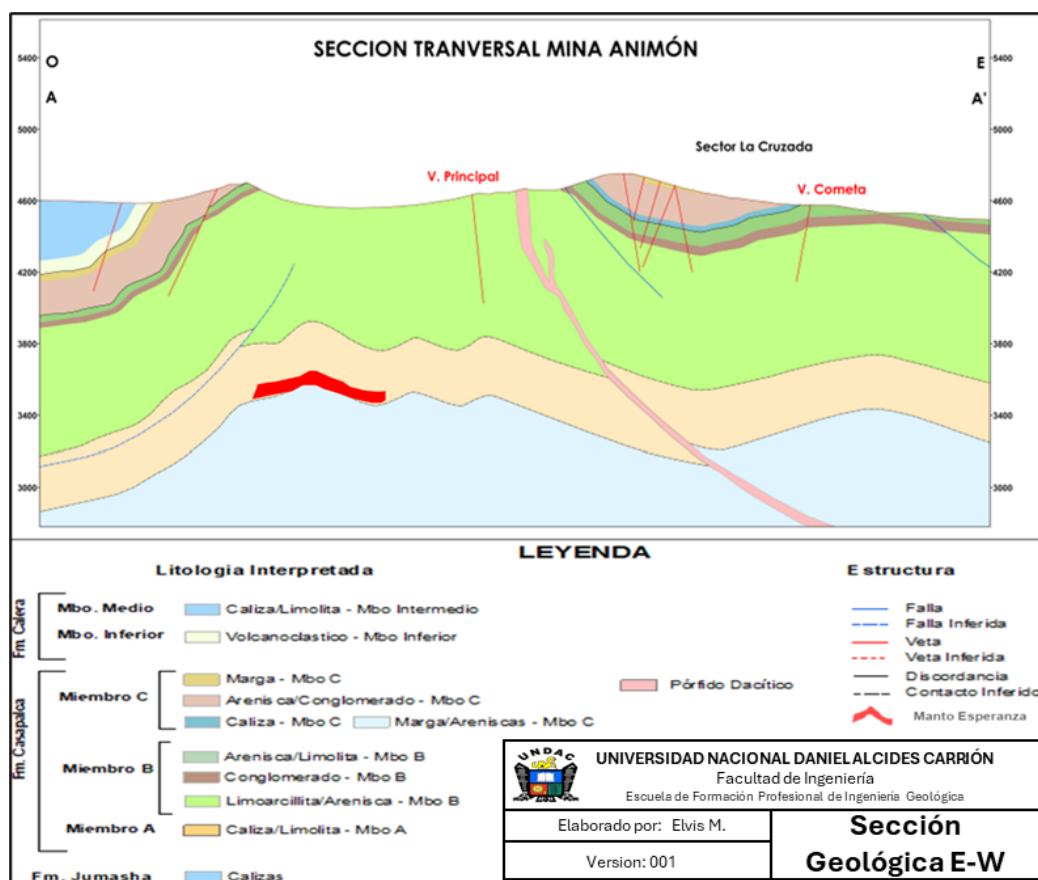
En los alrededores del poblado de Huayllay, sobreyaciendo en discordancia angular a la formación Casapalca y al grupo Pucará, aflora una

secuencia de ignimbritas de color blanquecino denominado como Volcánico Huayllay. La edad de estas ignimbritas fue datada por el método K-Ar en 6.2 ± 0.2 Ma. (Cobbing et al., 1996) y en 5.2 ± 0.20 Ma. (Farrar & Noble, 1976). Estas dataciones ubican a las ignimbritas del Volcánico Huayllay entre el Mioceno Superior al Plioceno.

En alrededores de la mina Animón esta secuencia volcánica ha sido dividida en 3 depósitos:

En la base consta de toba de lapilli de composición dacítica a riodacítica, en la parte media compuesta de toba de bloques y ceniza de clastos de composición dacítica. Finalmente, al tope compuesto de lava andesítica con textura porfirítica.

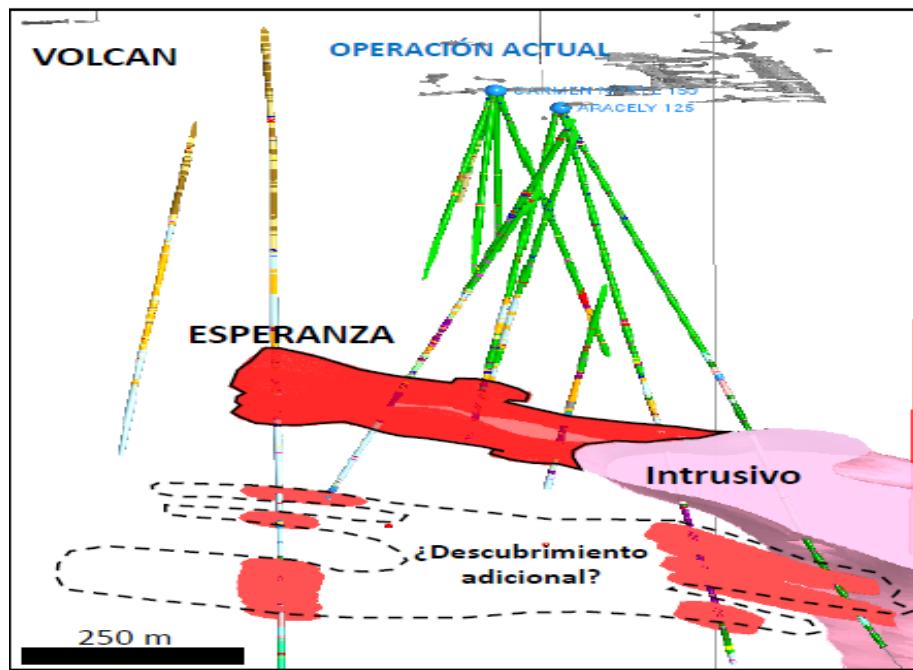
Figura 18. Sección Transversal A-A' de la Mina Animón



Nota. Sección Transversal A-A' de la Empresa Mina Animón- Pasco.
Elaboración propia.

Durante este proyecto se realizaron 20 sondajes las cuales se dividen en: 7 sondajes direccionados, 8 correcciones de desviación con DeviDRILL, un sondaje Desviado con Cuña y 4 sondajes Convencionales.

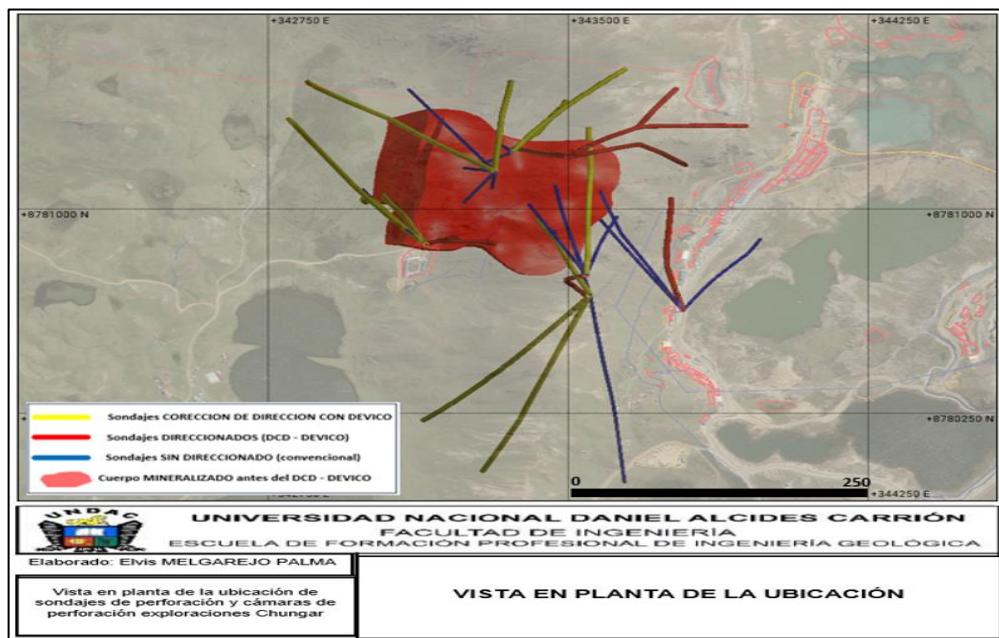
Figura 19. Vista longitudinal del Manto. Esperanza Unidad Minera Chungar



Nota. Vista longitudinal del Manto de la Esperanza Unidad Minera Chungar – Pasco.

Elaboración propia.

Figura 20. Vista en planta de ubicación de sondajes direccionados con curva.



Nota. Vista en planta de ubicación de sondajes direccionados con curva DEVICO y sondaje convencionales, la extensión de la mineralización previo a la implementación de sondajes orientados. Elaboración propia.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Desarrollar la Perforación Direccional para optimizar la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

Fundamentos

Para la implementación de la perforación direccional en la exploración geológica del Manto Esperanza, primero se desarrollaron algunos análisis, principalmente basados en el costo del desarrollo de perforación, y tiempo de implementación, el tipo de litología.

Tabla 2. Variables para comparación entre sondaje Convencional vs Sondaje Direccional.

Variable	Perforación Convencional	Perforación Direccional
Costo por metro perforado	Más bajo (equipo simple)	Más alto (tecnología avanzada)
Número de perforaciones	Mayor (para cubrir un área)	Menor (un solo sondaje cubre múltiples objetivos)
Tiempo de perforación	Menor por metro, pero más perforaciones	Mayor por metro, pero menos perforaciones
Costo de equipos	Equipos estándar	Equipos especializados (Devidrill motores de fondo)
Personal requerido	Menos especializado	Altamente especializado (geólogos de perforación, ingenieros)
Logística	Plataformas múltiples	Menos plataformas (reduce transporte y preparación de sitio)
Riesgo de desviación	Bajo (perforación vertical)	Alto (requiere monitoreo constante)
Impacto ambiental	Mayor (más plataformas)	Menor (huella reducida) menor consumo de agua

Para lo cual se realizó el análisis con las siguientes fórmulas:

Costo Total de Perforación Convencional (CT_conv):

$$CT_{conv} = (N_{conv} \times L_{conv} \times C_{metro_conv}) + (N_{conv} \times C_{plataforma}) + C_{logistica_conv} + C_{personal_conv}$$

- N_{conv} : Número de perforaciones verticales necesarias.
- L_{conv} : Longitud promedio por perforación (metros).
- C_{metro_conv} : Costo por metro perforado (USD/m).
- $C_{plataforma}$: Costo de preparación de cada plataforma (USD).
- $C_{logistica_conv}$: Costo logístico (transporte, permisos, etc.).

- Cpersonal_conv: Costo de personal operativo.

Costo Total de Perforación Direccional (CT_dir)

CTdir=(Ndir×Ldir×Cmetro_dir)+(Ndir×Cplataforma)+Cequipos_especializados+Clogistica_dir+Cpersonal_dir

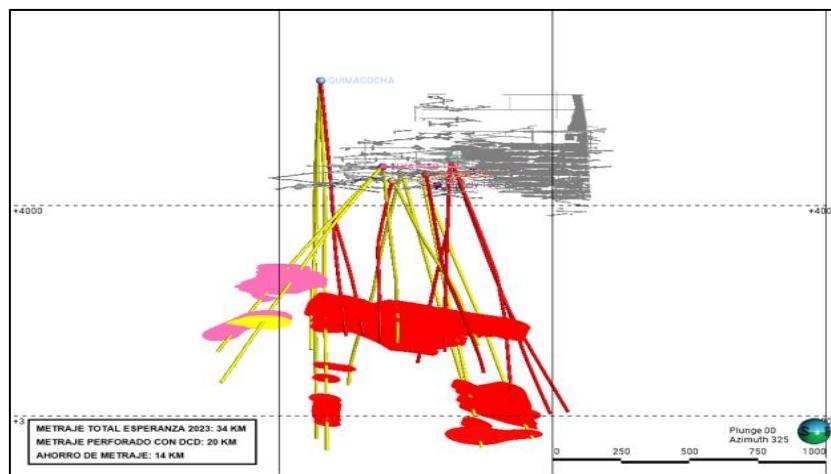
- Ndir: Número de perforaciones direccionales necesarias.
- Ldir: Longitud promedio por perforación (metros).
- Cmetro_dir: Costo por metro perforado (USD/m).
- Cequipos_especializados: Costo adicional por tecnología (MWD, motores de fondo).
- Clogistica_dir: Costo logístico (menor que en convencional si hay menos plataformas).
- Cpersonal_dir: Costo de personal especializado.

Así mismo Para la exploración del Manto Esperanza se realizaron de un programa de perforación 34 Km se realizaron 20 km con perforación direccional con la cual se obtuvo un ahorro de aproximadamente el 59% de metros de perforación y un 14% del costo de perforación. con un ahorro de \$14,150,000.00, los costos de perforación como de plataformas estas calculadas en función al contrato que se realice con la empresa de perforación; en esta ocasión se usó un promedio en función a los contratos que se tenían en ese momento; no se puede brindar el cálculo ya que son datos que no se pueden brindar por la empresa.

Tabla 3. Cálculo de costo total entre sondaje direccional vs sondaje convencional

Parámetro	Perforación Convencional	Perforación Direccional
Número de perforaciones	20	20
Longitud por perforación (m)	34000	20000
Costo por metro (USD/m)	150	220
Costo plataforma (USD)	10,000	0
Costo equipos especializados	0	50,000
Costo logístico total	100,000	60,000
Costo personal (USD)	30,000	70,000
TOTAL	\$ 102,330,000.00	\$ 88,180,000.00

Figura 21. Vista de sondajes de perforación.



Nota. Vista de sondajes de perforacion direccionalizados y sondajes corregidos con DCD para poder interceptar el intercepto proyectado. Elaboracion propia.

Por otro lado, el tiempo de implementación de Sondajes Orientados está sujeto sobre todo a la comparación que se realizó entre:

- Tiempo toma en habilitar una nueva cámara de perforación en interior mina.
- tiempo toma pedir una nueva autorización para generar una nueva plataforma de perforación en superficie.

Versus cuanto tiempo toma en la implementación de un equipo de desviación DEVICO.

Figura 22. Análisis de tiempo mínimo para obtener una nueva Cámara.

PASOS	Tiempo De habilitacion de una Camara y/o Plataforma de perforacion -cia MINERA CHUNGAR																
	SEMANAS																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Solicitud de CAMARA DDH		■															
Evaluacion del area Para la CAMARA y/o Plataforma DDH		■															
Aprobacion de CAMARA y/o Plataforma DDH			■														
Implementacion de Accesorios de Ventilacion(Camaras mina)				■	■	■											
Realizar Trabajos de Avance y Limpieza(labores, accesos)							■	■	■	■	■						
Implementar Accesorios para perforacion(Electricidad, Agua, ventilacion,refugios,etc)												■	■	■	■	■	
Traslado de Maquina de Perforacion																	
Aprobacion de SSOMA para iniciar trabajos de Perforacion																	
Inicio de Perforacion															■		

Nota. Análisis de tiempo mínimo para obtener una nueva Cámara y/o plataforma de perforación. Elaboración propia.

Análisis de tiempo mínimo para obtener una nueva Cámara y/o plataforma de perforación para la exploración del Manto Esperanza. esta en función a la disponibilidad, debido a la operación minera; esta se realizará al finalizar cada sondaje de perforación.

Figura 23. Análisis de tiempo mínimo para la implementación de un equipo.

PASOS	Tiempo delimplementacion de Perforacion DIRECCIONAL DCD- DEVICO perforacion -cia MINERA CHUNGAR												
	SEMANAS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cotizacion y envio de propuesta		■											
Aprobacion de propuesta				■	■								
implementacion de equipo de Desviacion DEVICO					■	■	■						
diseño de sondajes de perforacion								■	■				
Induccion y capacitacion del personal (tecnicos y especialistas)									■	■			
Aprobacion de los procedimientos de Seguridad										■	■		
Inicio de Perforacion											■	■	

Nota. Análisis de tiempo mínimo para la implementación de un equipo de perforación DCD- DEVICO. Elaboración propia.

Análisis de tiempo mínimo para la implementación de un equipo de perforación DCD- DEVICO, que incluye transporte de equipo y habilitación del personal capacitado; algunos de estos pasos solo se realizan al inicio de la llegada del personal y posterior a esto el trabajo se realizar como una actividad Rutinaria

Por lo tanto, la implementación de la perforación direccional o dirigida permite que se optimice costo y tiempo en el desarrollo de la exploración geológica del Manto Esperanza vs una perforación Convencional.

En la perforación direccionada de taladros para la exploración geológica del Manto Esperanza se realizó el uso de la cuña y la Curva DEVICO para

realizar el direccionamiento de un sondaje, partiendo de un sondaje inicial conocido como sondaje Madre (Mother Hole). Estos métodos están basados bajo en el principio de la perforación direccionada aplicada a pozos petroleros con la diferencia que para la exploración geológica del Manto Esperanza se realiza la perforación con recuperación de Testigos.

Herramientas de Medición:

En este proceso usamos estándares de medición la cual nos permite controlar la orientación del sondaje, es importante realizar una medición cada 25m en los sondajes ya que nos permite controlar, posibles desviaciones al inicio de la perforación, ya que es ahí donde más ocurren constantes desviaciones, esto debido al tipo de roca (caliza y hornfels), avance constante del operador de la máquina de perforación, etc.

Figura 24. *Estándar de medición de todos los sondajes de perforación implementada en el proyecto.*

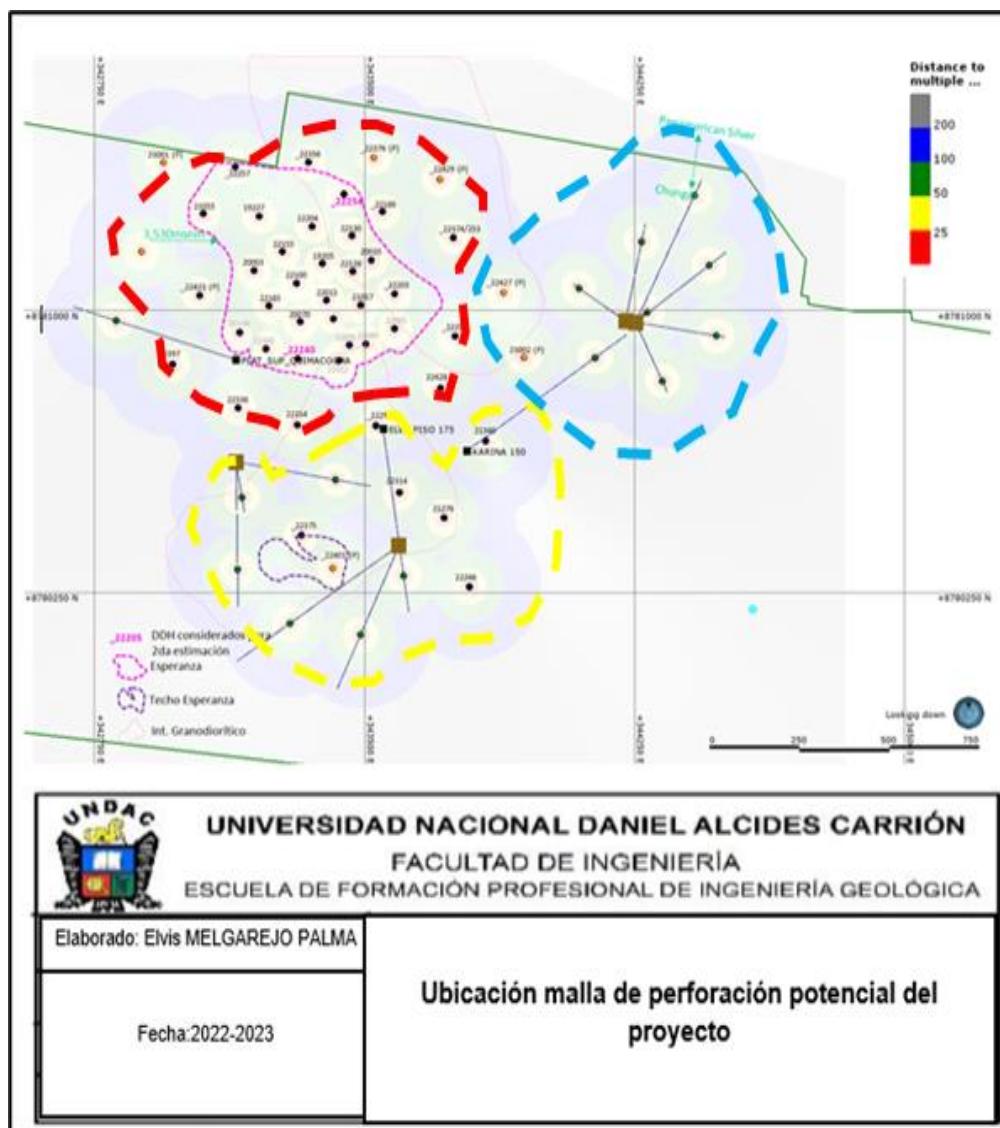
ID	Condición	Control de Survey									
1	< 500 m	25 m	50 m	100 m	Final						
2	500 - 900 m	25 m	50 m	100 m	Mitad	Final					
3	> 900 m	25 m	50 m	100 m	300 m	600 m	900 m	1200 m	1500 m	1800 m	Final

Nota. Estándar de medición de todos los sondajes de perforación implementada en el proyecto. se utilizan cortos al inicio debido al tipo de roca (caliza – hornfels y margas). Elaboración propia.

Datos del proyecto de perforación:

Para la exploración geología del Manto Esperanza, se realizó la ubicación y designación de los targets de perforación, para la cual se creó una malla en base a nuestros objetivos a corto, mediano y largo plazo y a la clasificación de recursos (inferidos y potenciales), esta a su vez estuvo regida a ubicar estratégicamente las cámaras de perforación.

Figura 25. Ubicación de cámaras y generación de la malla de perforación.



Nota. Ubicación de cámaras y generación de la malla de perforación, basados en los targets de corto (contorno rojo), mediano (contorno amarillo) y largo plazo (contorno azul). Elaboración Propia.

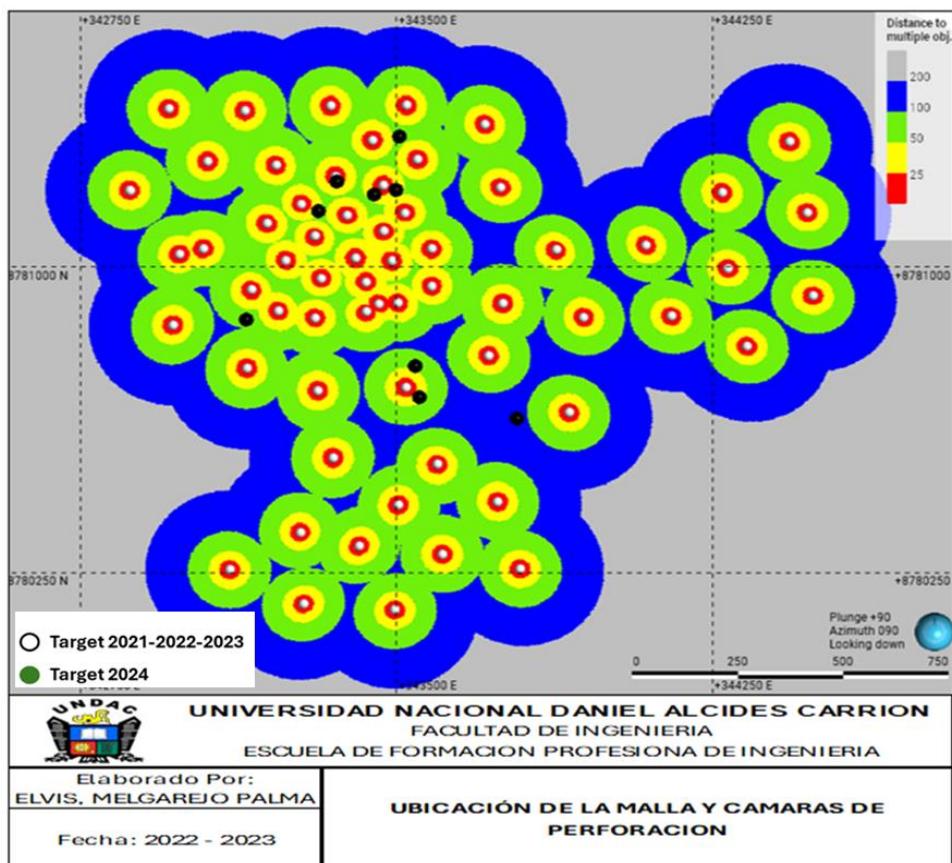
Luego continuamos con enviar los datos del proyecto a la empresa especializada para que se realice a proyección del Sondaje Orientado y el tipo de método a usar, para este caso en particular presentaremos:

- Perforación direccional Con Cuña.
- Perforación direccional Curva DEVICO

El área de Exploraciones encargado de la exploración en el Manto Esperanza será la encargada de enviar los targets de perforación, mediante una

malla, adjuntando también las coordenadas de las cámaras de perforación, tal y como se muestra en la Figura 28.

Figura 26. Ubicación de cámaras y malla de perforación y los targets.



Nota. Ubicación de cámaras y malla de perforación y los targets. Realizados

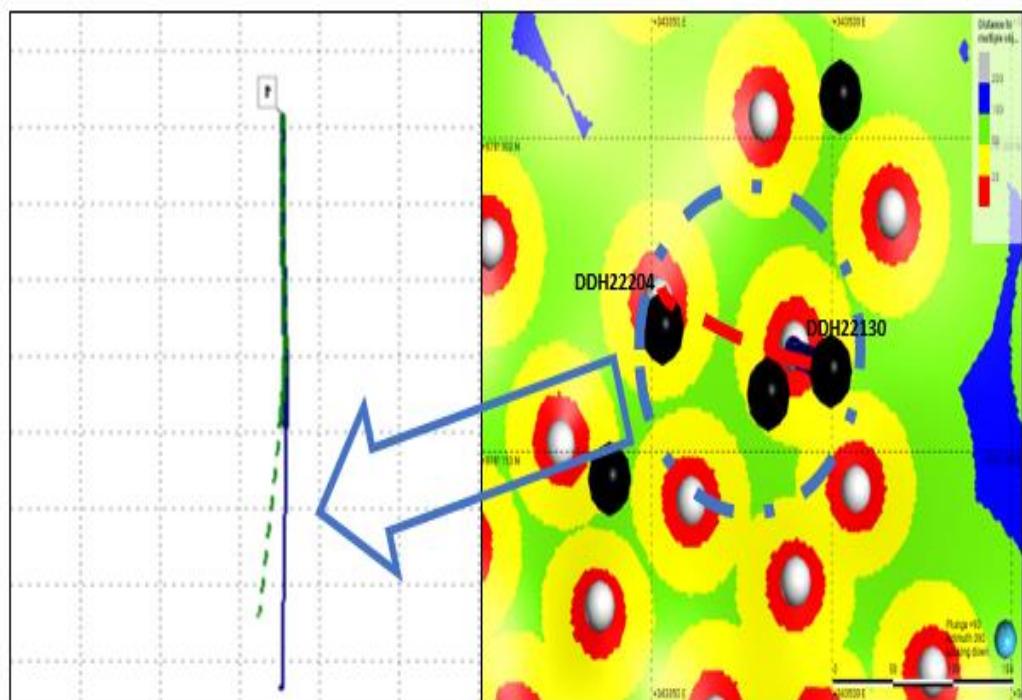
en el software Leapfrog geo. Elaboración propia.

Posterior a esto la empresa especialidad envía la propuesta del sondaje Direccionado; la cual será direccionado con cuña y direccionado con DeviDrill; Todo esto tiene una evaluación previa de la litología en donde iniciara la perforación direccional.

Perforación direccional con cuña.

Para este caso se recepción la propuesta de la empresa especializada dando como datos al sondaje madre “DDH22130” la cual será desviado con cuña hacia el sondaje DDH22204.

Figura 27. Vista en del plan de perforación con cuña en el Sondaje



Nota. Vista en del plan de perforación con cuña en el Sondaje. DDH22130.
Elaboración propia.

Vista en del plan de perforación con cuña en el Sondaje DDH22130, en la cual muestra en azul como se realizar primero la perforación del Pozo Madre y en rojo entre punteado la desviación con cuña. A la derecha se carga el proyecto en Leapfrog para ver la proyección del sondaje

Posterior se realizará el inicio de perforación en la Cámara Nancy NV 4225, la cual al inicio debe de realizarse con perforación convencional, al iniciar, esta se realizará con perforación convencional, ya que para el pozo madre DDH22130 será de manera recta.

1. Recolección y procesamiento de datos

1.1. Levantamiento topográfico.

Levantamiento topografía de collar y Survey del sondaje de perforación. Estas fueron realizadas directamente con el área de Planeamiento encargado de toda el área de topografía mina y superficie

Figura 28. Certificado de los datos del levantamiento topográfico

<u>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</u>	
A	: Ing. Elvis MELGAREJO
DE	: Ingeniería y Planeamiento
REF	: Levantamiento de punto de Perforación DDH
FECHA	: 5/08/2022
UBICACIÓN	: CAM-4225-Nancy
NIVEL	: NV 4225
OBJETIVO	: CUERPO ESPERANZA
CATEGORIA	: POTENCIAL
PROYECTO	:
SONDAJE	: DDH22130
COLLAR	:
	X 343497.600
	Y 8781188.081
	Z 4221.197
AZIMUT	: 293.16
INLINACIÓN	: -86.72
EQUIPO	: Estación Total LEICA - TS 11



Nota. Certificado de los datos del levantamiento topográfico del sondaje de perforación otorgado por el área de Planeamiento. Elaboración propia.

1.2. Perforación de pozo madre (mother hole).

La perforación con cuña requiere una perforación convencional inicial.

En línea de tiempo se explica y se realiza mediciones de survey para controlar la perforación convencional.

A continuación, se explica el tiempo que demora la perforación del pozo Madre.

Figura 29. Línea de Tiempo



Nota. Línea de Tiempo en realizar la perforación direccional. Elaboración propia.

1.3. Medición de la trayectoria.

Posteriormente se realiza la medición de la trayectoria del sondaje madre para analizar y verificar que no tenga desviación con respecto al programa.

Figura 30. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22130

Hole ID	Service	Device ID	Record Date	Record Time	Measured Depth	Dip	Azimuth	North	East	Elevation	CD	CB	DLS/30m
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:20:09	0	86.72	293.16	8781188.081	343497.5998	4221.1965	0.606	276.404	0.4776
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:16:51	25	87.12	293.12	8781188.609	343496.3639	4196.2327	1.9323	287.9611	0.1992
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:13:51	50	87.28	292.30	8781189.081	343495.2364	4171.2626	3.152	289.8058	0.3541
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:10:51	75	87.10	287.45	8781189.496	343494.0845	4146.2926	4.3763	289.8031	0.2391
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:07:51	100	87.21	284.11	8781189.833	343492.8925	4121.3234	5.6128	288.9222	0.2307
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:05:09	125	87.39	285.55	8781190.134	343491.7557	4096.351	6.7861	288.2089	0.2956
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:02:09	150	87.64	284.96	8781190.419	343490.7107	4071.3745	7.8681	287.8038	0.2056
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:59:09	175	87.63	280.80	8781190.648	343489.7063	4046.3958	8.8951	287.234	0.21
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:56:09	200	87.80	282.46	8781190.849	343488.73	4021.4157	9.8874	286.6673	0.2816
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:53:09	225	87.91	288.00	8781191.094	343487.8262	3996.4332	10.8235	286.5368	0.661
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:50:09	250	87.99	303.25	8781191.475	343487.0257	3971.4491	11.7001	287.2102	0.3746
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:47:09	275	88.14	295.10	8781191.887	343486.2926	3946.4632	12.5236	288.0181	0.2298
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:44:27	300	88.23	289.79	8781192.189	343485.5631	3921.4757	13.3109	288.2844	0.0812
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:41:09	325	88.18	291.00	8781192.462	343484.8296	3896.488	14.093	288.402	0.167
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:37:51	350	88.31	292.86	8781192.748	343484.1179	3871.4998	14.8588	288.5823	0.3316
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:34:51	375	88.29	302.17	8781193.09	343483.4622	3846.5107	15.5896	289.005	0.0788
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:31:33	400	88.35	303.16	8781193.484	343482.8464	3821.5214	16.3012	289.6117	0.2272
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:27:57	425	88.47	308.58	8781193.889	343482.2844	3796.531	16.9677	290.2628	0.5965
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:24:57	450	88.00	303.48	8781194.339	343481.6586	3771.543	17.7116	290.926	0.3206
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:21:21	475	88.21	298.68	8781194.767	343480.9516	3746.5567	18.5255	291.3827	0.3317
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:18:03	500	88.26	307.53	8781195.186	343480.3079	3721.5685	19.2782	291.8441	0.0907
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:14:45	525	88.28	309.94	8781195.659	343479.7186	3696.5799	20.0023	292.4727	0.1775
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:11:45	550	88.27	305.04	8781196.116	343479.1218	3671.5912	20.7297	293.0112	0.4267
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:08:45	575	88.37	316.71	8781196.592	343478.5692	3646.6019	21.4252	293.6036	0.6808
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:05:45	600	88.58	336.64	8781197.134	343478.2029	3621.6106	21.981	294.5173	0.6979
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:02:27	625	89.05	353.82	8781197.624	343478.058	3596.6159	22.3194	295.507	0.2264
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:59:09	650	89.23	356.91	8781197.997	343478.0267	3571.6187	22.5107	296.3299	0.5363
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:56:09	675	88.99	381.63	8781198.369	343478.0988	3546.6217	22.6138	297.2545	0.4271
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:52:51	700	89.22	399.45	8781198.705	343478.2882	3521.6247	22.6026	298.232	0.458
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:49:33	725	89.35	428.52	8781198.889	343478.5282	3496.6265	22.4797	298.9334	0.1848
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:45:39	750	89.42	441.31	8781198.959	343478.784	3471.628	22.2908	299.4106	0.3829
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:42:39	775	89.37	471.74	8781198.928	343479.035	3446.6298	22.0568	299.6594	0.3905
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:39:39	800	89.32	443.34	8781198.894	343479.3097	3421.6308	21.8019	299.9404	0.1894
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:36:39	825	89.16	444.58	8781198.929	343479.6397	3396.633	21.5341	300.4583	0.5278
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:33:21	850	88.76	434.67	8781199.018	343480.0832	3371.6372	21.199	301.2732	0.0799
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:30:21	875	88.82	436.22	8781199.151	343480.5953	3346.6428	20.8338	302.3174	0.1349
DDH22130	GYRO_MS	14715	19/6/2022	12:27:03	900	88.78	431.21	8781199.299	343481.099	3321.6483	20.4908	303.419	0

Nota. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22130 pozo madre, donde se valida la información mediante un Excel que muestra cada detalle de la medición como tiempo de medición, dip, azimuth, coordenadas en cada profundidad y Dogled(giro)tipo de medición

1.4. Instalación de la cuña.

El proceso de instalación de la cuña esta supervisada y validada por la empresa de perforación encargada de realizar los sondajes de perforación Direccionada con cuña, para este proceso se realiza una serie de pasos que iinicia con el análisis de la calidad de roca en la profundidad en la que será instalada, segundo la empresa de perforación y empresa especialista se encargarán de instalar y orientar la cuña siguiente una serie de pasos para una correcta instalación,

Paso1. Validación de la calidad de la litología del tramo. En caso encontramos zonas con alto fracturamiento, estas podrían complicar la instalación de la cuña y/o en su mayor consecuencia perder la cuña.

Paso 2. Instalación de Cuña.

Figura 31. La instalación de la cuña



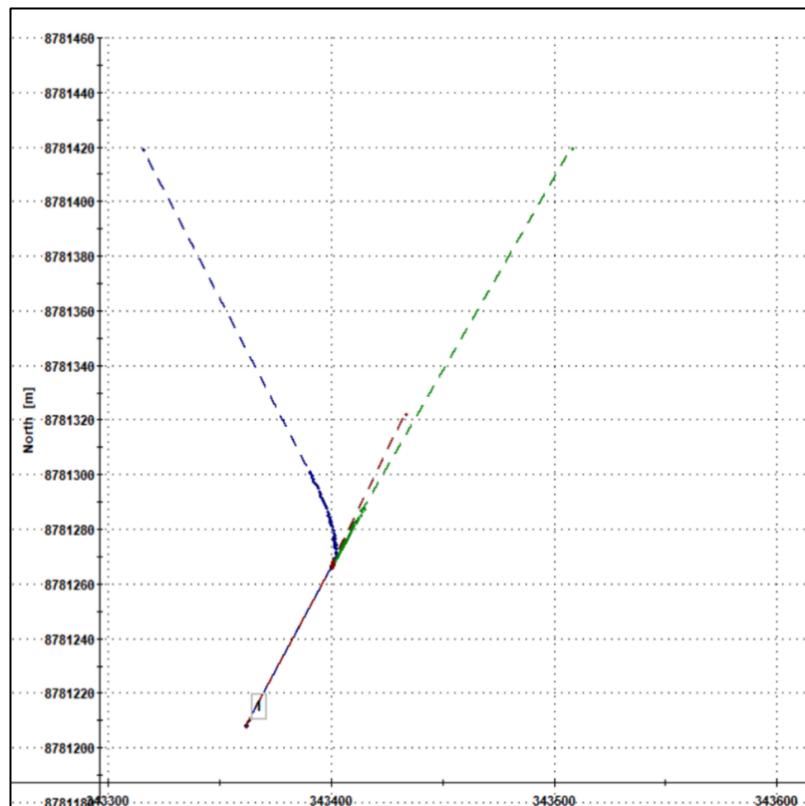
Nota. La instalación de la cuña en un sondaje de perforación. Elaboración propia.

Paso 3. Direccionar y asegurar la cuña; se coloca una medición puntual en el fondo del pozo y posteriormente se realiza el cementado de la cuña para asegurar su correcta instalación.

Para este Proyecto, Primero se realiza la recepción de la Propuesta de Perforación direccional, para evaluar la calidad de la roca y así

también generar un plan de trabajo de todo el proceso de trabajo para la instalación de la cuña.

Figura 32. Propuesta de sondajes



Nota. Propuesta de sondajes desviado con cuña enviado por la empresa de perforación. Elaboración propia.

Para este proyecto realizaremos una evaluación del tiempo de instalación, que se muestra en el siguiente cuadro.

1.5. Medición del survey del sondaje desviado con cuña.

Figura 33. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22204, Excel que detalla los resultados de la medición del pozo Branch o hijo

Hole ID	Service	Device ID	Record Date	Record Time	Measured Dep	Dip	Azimuth	North	East	Elevation	CD	CB	DLS/30m
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:20:09	0	86.72	293.16	8781188.081	343497.5998	4221.1965	0.606	276.404	0.4776
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:16:51	25	87.12	293.12	8781188.609	343496.3639	4196.2327	1.9323	287.9611	0.1992
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:13:51	50	87.28	292.30	8781189.081	343495.2364	4171.2626	3.152	289.8058	0.3541
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:10:51	75	87.10	287.45	8781189.496	343494.0845	4146.2926	4.3763	289.8031	0.2391
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:07:51	100	87.21	284.11	8781189.833	343492.8925	4121.3234	5.6128	288.9222	0.2307
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:05:09	125	87.39	285.55	8781190.134	343491.7557	4096.351	6.7861	288.2089	0.2956
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	14:02:09	150	87.64	284.96	8781190.419	343490.7107	4071.3745	7.8681	287.8038	0.2056
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:59:09	175	87.63	280.80	8781190.648	343489.7063	4046.3958	8.8951	287.234	0.21
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:56:09	200	87.80	282.46	8781190.849	343488.73	4021.4157	9.8874	286.6673	0.2816
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:53:09	225	87.91	288.00	8781191.094	343487.8262	3996.4332	10.8235	286.5368	0.661
DDH22204	GYRO_MS	14715	19/6/2022	13:50:09	250	87.99	303.25	8781191.475	343487.0257	3971.4491	11.7001	287.2102	0.3746
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	17:14:40	275	88.14	295.10	8781191.887	343486.2926	3946.4632	12.5236	294.4189	0.147
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	17:11:04	300	88.23	289.79	8781192.189	343485.5631	3921.4757	13.3109	294.5064	0.1539
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	17:07:46	325	88.18	291.00	8781193.739	343485.6312	3921.51	13.8134	294.4888	1.7676
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	17:04:28	325	86.45	278.94	8781194.184	343484.148	3896.5583	15.3492	293.7064	1.154
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	17:00:52	350	79.95	274.81	8781194.488	343481.2081	3871.7472	18.1855	290.8563	7.8134
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:57:52	375	76.17	278.25	8781195.1	343476.0759	3847.2921	23.2333	287.7594	4.6234
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:54:34	400	74.95	277.66	8781195.962	343469.9016	3823.0824	29.3954	285.6882	1.4687
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:51:34	425	74.99	279.41	8781196.924	343463.4919	3798.9373	35.8357	284.3979	0.5457
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:48:16	450	74.91	279.27	8781197.977	343457.087	3774.7946	42.3052	283.6229	0.1067
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:44:58	475	74.91	279.79	8781199.055	343450.6677	3750.6569	48.8	283.0776	0.1636
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:41:58	500	74.87	281.60	8781200.265	343444.2632	3726.5215	55.3127	282.7971	0.5666
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:38:40	525	74.85	282.36	8781201.62	343437.8746	3702.3896	61.8429	282.7107	0.2399
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:35:04	550	74.88	283.93	8781203.104	343431.5184	3678.2568	68.37	282.7519	0.4935
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:31:28	575	74.64	284.01	8781204.691	343425.142	3654.1358	74.9393	282.8588	0.2892
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:28:06	600	74.53	285.06	8781206.359	343418.7092	3630.0352	81.5823	282.9954	0.3611
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:24:48	625	74.33	286.72	8781208.197	343412.2548	3605.9529	88.2853	283.2156	0.5854
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:21:12	650	74.62	287.23	8781210.149	343405.8554	3581.8649	94.9628	283.48	0.3896
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:17:36	675	74.60	286.49	8781212.073	343399.5075	3557.7609	101.5849	283.7004	0.2368
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:14:18	700	74.81	286.38	8781213.938	343393.1838	3533.6459	108.1709	283.867	0.2542
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:10:42	725	75.19	285.88	8781215.736	343386.9687	3509.4977	114.6361	283.995	0.4746
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:07:06	750	75.22	286.22	8781217.501	343380.8336	3485.3265	121.0162	284.1034	0.1093
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	16:03:12	775	75.14	286.41	8781219.297	343374.6976	3461.1578	127.405	284.2142	0.1103
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:59:36	800	75.00	285.74	8781221.08	343368.5101	3437.0014	133.8409	284.3036	0.265
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:56:18	825	75.42	285.49	8781222.798	343362.3639	3412.8297	140.2212	284.3635	0.5003
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:52:24	850	75.48	285.51	8781224.477	343356.3115	3388.6315	146.5009	284.4122	0.0805
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:49:06	875	75.57	285.71	8781226.157	343350.2944	3364.4247	152.747	284.4611	0.1246
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:45:48	900	75.63	285.12	8781227.81	343344.3011	3340.2101	158.9631	284.4983	0.1872
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:42:48	925	75.59	285.34	8781229.442	343338.3051	3315.9948	165.1769	284.5259	0.0825
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:39:12	950	75.32	286.65	8781231.173	343332.269	3291.7963	171.4543	284.58	0.5098
DDH22204	GYRO_MS	14715	28/7/2022	15:35:54	975	75.40	286.69	8781232.986	343326.2144	3267.6083	177.7703	284.6542	0.0955

1.6. Resultados

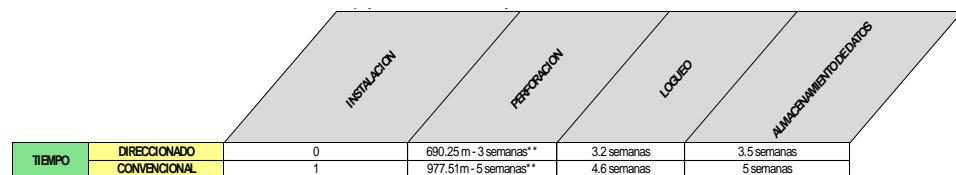
Análisis de Tiempo y Costo.

Finalmente se realizó un análisis de tiempo y costo que se obtuvo como resultado de la perforación direccional, esto en comparación a una posible perforación convencional del pozo DDH22204.

Tabla 4. Análisis de costo para el sondaje Con cuña DDH22204 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de 53,750 \$

Parámetro	Perforación Convencional	Perforación Direccional
Número de perforaciones	1	1
Longitud por perforación (m)	875	550
Costo por metro (USD/m)	150	150
Costo plataforma (USD)	10,000	0
Costo equipos especializados	0	5,000
Costo logístico total	100,000	60,000
Costo personal (USD)	30,000	70,000
TOTAL	\$ 271,250.00	\$ 217,500.00

Figura 34. Análisis de costo para el sondaje con cuña DDH22204 en relación con una perforación Convencional.



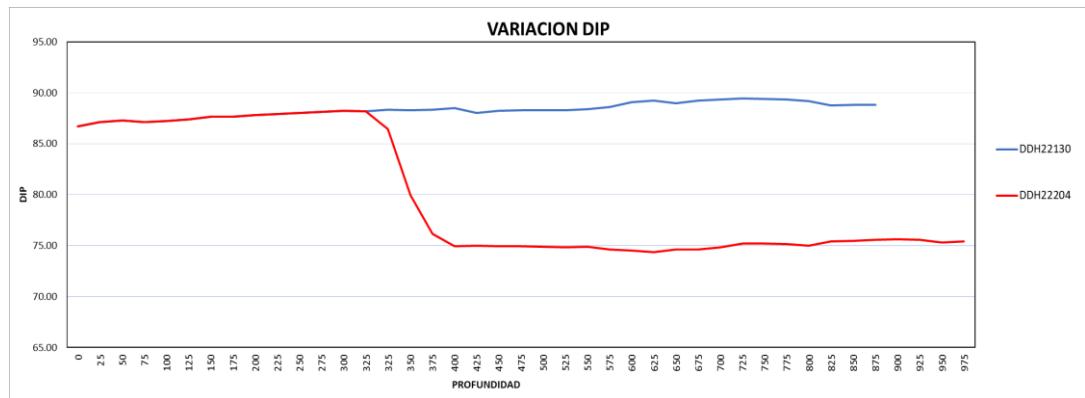
Nota. Análisis de costo para el sondaje con cuña DDH22204 en relación con una perforación Convencional. Elaboración propia.

Análisis de las mediciones de Survey.

Análisis estadístico.

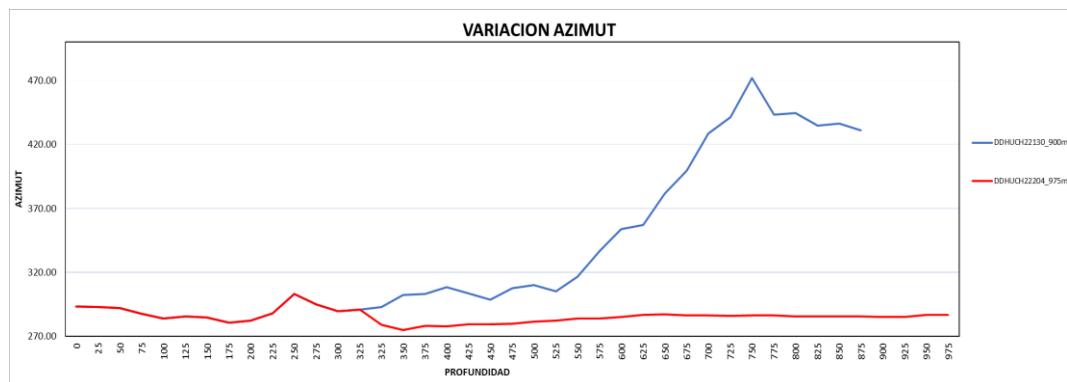
Se realiza un análisis mediante gráficos de las mediciones de survey de ambos sondajes. Para Validar la orientación en Azimut y Dip

Figura 35. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en DIP entre los sondajes DDH22130



Nota. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en DIP entre los sondajes DDH22130 poso madre y DDH22204 en Branch o pozo hijo, en la cual apreciamos el cambio de inclinación entre ambos pozos ala profundidad 325m, justo donde se coloca la cuña

Figura 36. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en AZIMUT entre los sondajes DDH22130

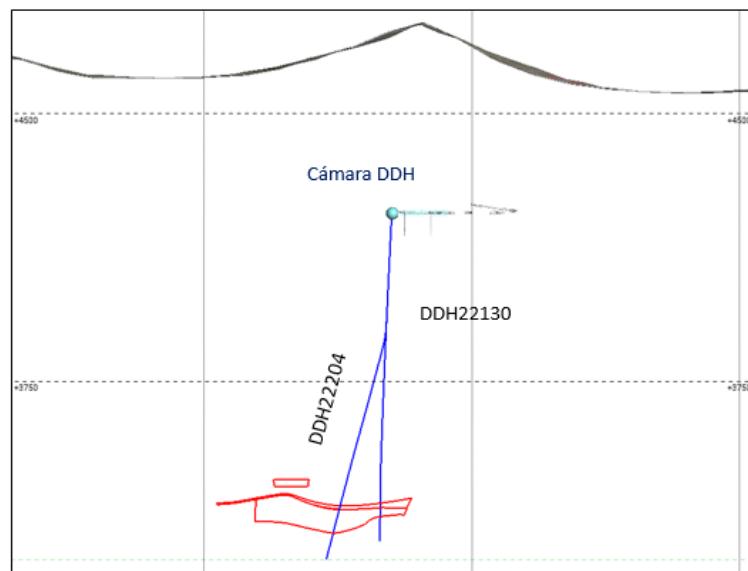


Nota. Pozo madre y DDH22204 branch o pozo hijo, donde validamos el cambio de dirección entre ambos pozos a la profundidad de 325m justo donde se coloca la cuña.

Análisis 3D

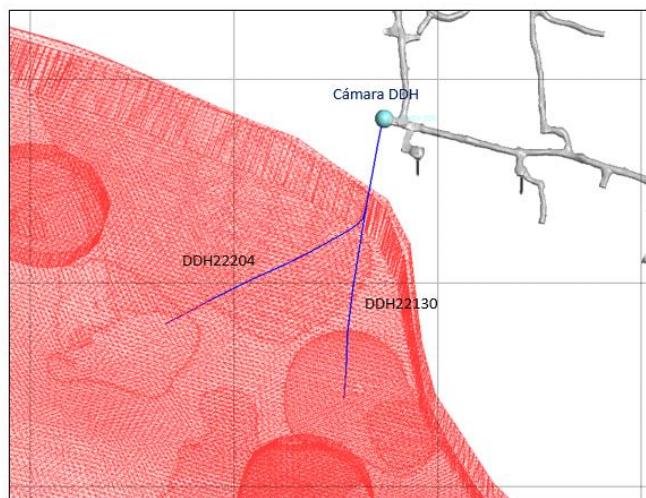
Posteriormente se carga las mediciones finales del sondaje para corroborar que se llegó a los objetivos planeados y se realizará el análisis 3D de los resultados que ayudan incrementar el potencial del Manto Esperanza.

Figura 37. Vista en sección de Sondaje desviado con Cuña (DDH22130) sondaje madre y DDH22204



Nota. Sondaje desviado con cuña) la cual se realiza la validación 3D en el software Leapfrog. Como apreciamos se ve un cambio de dirección e inclinación entre el pozo madre DDH22130 y Pozo desviado con cuña DDH22204.

Figura 38. Vista Isométrica de los sondajes de la validación 3D entre los pozos DDH22130 y DDH22204



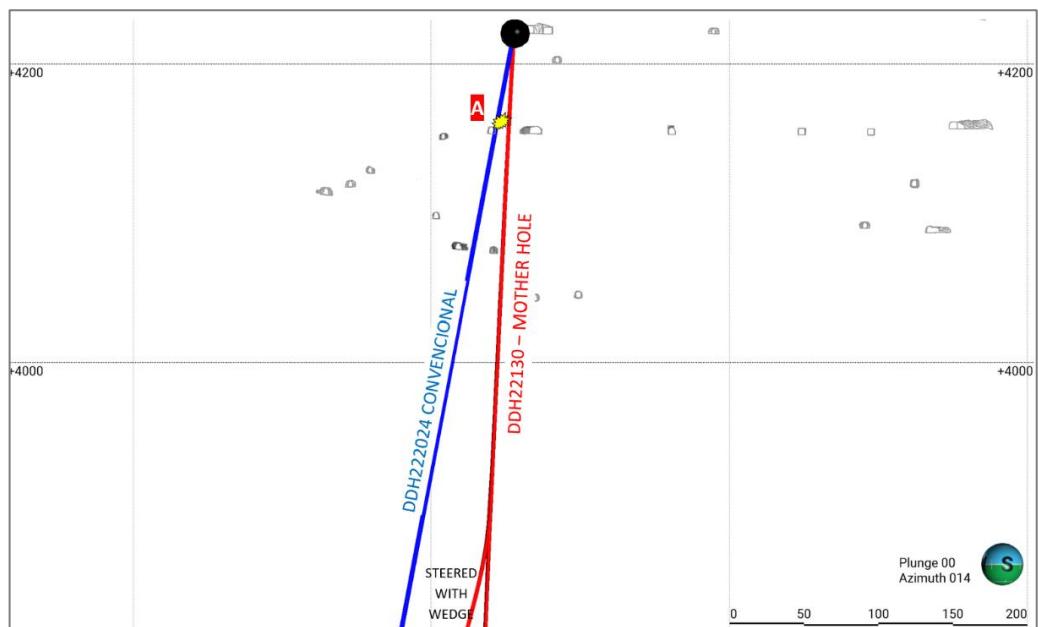
Nota. Vista Isométrica de los sondajes de la validación 3D entre los pozos DDH22130 y DDH22204 para verificar la variación de inclinación y azimut entre ambos sondajes.

Otros Aportes.

Con el sondaje convencional con Cuña se pudo direccionar el sondaje, evitando impactar con la operación minera cotas debajo de la cámara de perforación.

En este **ejemplo** pudimos evitar impactar con una labor subterránea que se encuentra cotas debajo

Figura 39. Con la perforación con cuña se evita la perforación de gran tramo de sondaje. y además se puede llegar a evitar daños en la operación como observamos en el punto A, alejándose de labor de operación minera.

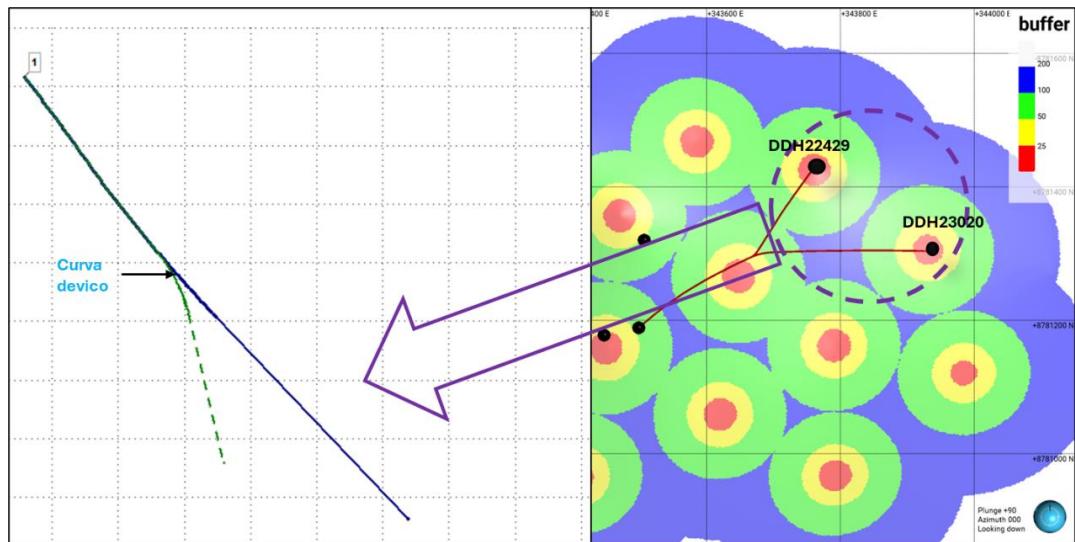


Nota. Con la perforación con cuña se evita la perforación de gran tramo de sondaje y además se puede llegar a evitar daños en la operación como observamos en el punto A, alejándose de labor de operación minera.

2. Perforación direccional con curva devico

Para este caso se realizó la propuesta de la desviación de 2 sondajes las cuales fueron asignadas como es DDH22429 y DDH23020. Ambas serán desviadas usando la curva Devico con el equipo DeviDrill.

Figura 40. Vista del plan de perforación con curva devico de los Sondajes DDH224299 y DDH23020. vista en leapfrog de la proyección de ambos sondajes.



Nota. Se da inicio de perforación en la Cámara Nancy NV 4225, los primeros 700 m se realizan en convencional, siempre controlando la medición del survey iniciando con el DDH22429 y luego se realiza otra curva para finalizar en realizará la desviación del DDH23020.

2.1. Recolección y procesamiento de datos

Levantamiento topográfico.

Figura 41. Datos del Collar de los sondajes direccionados con Devidrill.

<u>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</u>	
A :	Ing. Elvis MELGAREJO
DE :	Ingeniería y Planeamiento
REF :	Levantamiento de punto de Perforación DDH
FECHA :	25/11/2022
UBICACIÓN :	CAM-4225-Nancy
NIVEL :	NV 4225
OBJETIVO :	CUERPO ESPERANZA
CATEGORIA :	POTENCIAL - DIRECCIONADO
PROYECTO :	
SONDAJE :	DDH22429
COLLAR :	
X	343499.025
Y	8781188.590
Z	4220.881
AZIMUT :	48.27
INLINACIÓN :	-74.69
EQUIPO :	Estacion Total LEICA - TS 11



Nota. Datos del Collar de los sondajes direccionados con Devidrill. Elaboración propia.

Desviación de con Curva DEVICO.

Con el equipo DEVIDRILL, se realiza la desviación del sondaje DDH22429, iniciando con perforación convencional alrededor de 700m y una curva de 75m, está a su vez sirve como un sondaje madre, para

luego poder realizar un segundo sondaje desviado; la perforación del sondaje DDH22429 finaliza a los 1250m.

Figura 42. Tiempo de desviación de la curva. devico (Devidrill) sondaje madre DDH22429.

22429 MOTHER HOLE

EXPLORACIONES BROWNFIELD
PROYECTO ESPERANZA

PERFORACION	SEMANA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PERFORACION DE 22429 MOTHER HOLE								
INSTALACION								
ALINEAMIENTO DEL SONDAJE								
PERFORACION CONVENCIONAL								
PERFORACION CURVA DEVICO								
PERFORACION BRANCH								

Nota. Tiempo de desviación de la curva devico (Devidrill) sondaje madre DDH22429. Elaboración Propia.

2.2. Medición de la trayectoria.

Posteriormente se realiza la medición de la trayectoria del sondaje DDH22429 para analizar y verificar que no tenga desviación con respecto al programa.

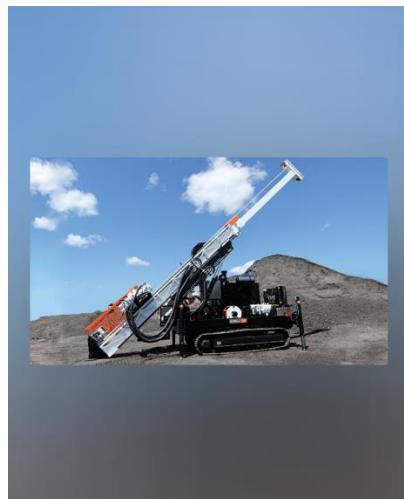
Figura 43. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH22249, donde se valida la información mediante un Excel que muestra cada detalle de la medición como tiempo de medición, dip, azimuth, coordenadas en cada profundidad y Dogled(giro)tipo de medición.

Hole ID	Service	Device ID	Record Date	Record Time	Measured Depth	Dip	Raw Tool Azimuth	North	East	Elevation	CD	CB	DLS/30m
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:21:23	0	-73.718	50.131	8781188.59	343499.025	4220.881	89.622	-6.642	0.625
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:18:01	25	-73.905	48.386	8781193.138	343504.306	4196.872	93.707	-3.111	0.256
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:15:13	50	-73.878	49.148	8781197.71	343509.522	4172.854	98.141	0.076	0.591
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:12:12	75	-73.699	50.79	8781202.198	343514.866	4148.848	102.775	3.053	0.408
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:09:12	100	-73.568	49.675	8781206.704	343520.28	4124.861	107.687	5.803	0.601
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:06:19	125	-73.749	51.333	8781211.178	343525.708	4100.87	112.795	8.317	0.293
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:03:25	150	-73.878	52.073	8781215.497	343531.177	4076.861	117.957	10.643	0.372
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	16:00:36	175	-74.121	52.773	8781219.7	343536.638	4052.83	123.182	12.779	0.327
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:57:48	200	-74.038	53.72	8781223.803	343542.132	4028.789	128.476	14.764	0.413
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:55:03	225	-74.051	54.971	8781227.809	343547.716	4004.752	133.844	16.639	0.185
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:52:22	250	-73.939	55.359	8781231.746	343553.374	3980.721	139.302	18.405	0.319
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:49:41	275	-73.731	54.766	8781235.732	343559.079	3956.709	144.945	20.048	0.511
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:46:14	300	-73.786	56.274	8781239.69	343564.843	3932.707	150.694	21.59	0.643
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:43:27	325	-73.865	58.177	8781243.46	343570.697	3908.696	156.406	23.077	0.359
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:40:14	350	-73.783	59.212	8781247.078	343576.648	3884.686	162.118	24.51	0.32
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:37:14	375	-74.015	58.738	8781250.652	343582.589	3860.667	167.88	25.85	0.214
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:34:21	400	-73.993	59.378	8781254.194	343588.498	3836.635	173.685	27.094	0.119
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:31:42	425	-73.906	59.557	8781257.705	343594.452	3812.609	179.561	28.275	0.696
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:28:54	450	-73.504	61.046	8781261.179	343600.545	3788.613	185.545	29.424	0.092
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:26:00	475	-73.457	61.256	8781264.609	343606.771	3764.645	191.627	30.542	0.604
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:22:49	500	-73.174	62.706	8781267.98	343613.107	3740.698	197.786	31.627	0.333
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:19:55	525	-72.934	63.188	8781271.294	343619.597	3716.783	204.046	32.69	0.296
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:16:51	550	-72.786	62.515	8781274.656	343626.153	3692.893	210.448	33.698	0.354
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:13:57	575	-72.501	62.258	8781278.113	343632.761	3669.032	217.02	34.643	0.339
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:11:10	600	-72.346	63.041	8781281.581	343639.466	3645.199	223.714	35.551	0.665
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:07:54	625	-72.017	64.498	8781284.961	343646.329	3621.398	230.482	36.451	0.412
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:04:53	650	-71.865	65.49	8781288.237	343653.352	3597.63	237.318	37.345	0.206
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	15:01:58	675	-71.895	64.947	8781291.496	343660.411	3573.869	244.219	38.198	0.442
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:58:59	700	-72.149	64.082	8781294.816	343667.376	3550.09	251.158	38.978	8.078
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:55:57	725	-74.645	42.016	8781298.954	343673.045	3526.11	257.947	39.379	3.39
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:51:56	750	-73.147	33.365	8781304.441	343677.254	3502.089	264.859	39.33	0.501
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:48:39	775	-73.367	32.134	8781310.498	343681.15	3478.148	272.015	39.156	0.264
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:45:24	800	-73.222	31.56	8781316.602	343684.942	3454.203	279.144	38.968	0.278
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:42:10	825	-73.214	32.362	8781322.726	343688.763	3430.268	286.31	38.792	0.212
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:38:14	850	-73.299	31.822	8781328.828	343692.589	3406.328	293.464	38.628	0.389
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:35:04	875	-73.132	32.786	8781334.929	343696.448	3382.393	300.64	38.476	0.256
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:31:28	900	-72.94	32.467	8781341.073	343700.38	3358.481	307.897	38.338	0.519
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:28:10	925	-73.21	31.306	8781347.252	343704.225	3334.564	315.13	38.189	1.072
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:24:41	950	-72.326	31.743	8781353.564	343708.098	3310.686	322.487	38.037	0.565
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:21:37	975	-72.013	32.894	8781360.033	343712.191	3286.887	330.104	37.905	0.716
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:18:22	1000	-71.584	34.223	8781366.539	343716.508	3263.138	337.891	37.804	1.059
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:14:50	1025	-71.045	36.404	8781373.073	343721.139	3239.455	345.892	37.747	1.106
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:11:28	1050	-70.829	33.66	8781379.757	343725.824	3215.826	354.046	37.684	0.821
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:07:57	1075	-70.793	35.739	8781386.512	343730.501	3192.214	362.251	37.617	0.634
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:04:28	1100	-70.265	35.683	8781393.278	343735.365	3168.644	370.579	37.574	0.103
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	14:00:58	1125	-70.348	35.622	8781400.124	343740.276	3145.106	378.999	37.531	0.128
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	13:58:04	1150	-70.347	35.938	8781406.945	343745.191	3121.563	387.403	37.493	0.375
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	13:54:48	1175	-70.091	35.406	8781413.818	343750.125	3098.038	395.86	37.454	0.407
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	13:51:04	1200	-69.819	35.998	8781420.777	343755.126	3074.552	404.425	37.417	0.374
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	13:47:34	1225	-70.117	36.265	8781427.693	343760.175	3051.065	412.986	37.39	0.501
DDHUCH22429_1250m_Final	GYRO_MS	14507	28/02/2023	13:43:00	1250	-70.296	37.379	8781434.47	343765.248	3027.542	421.451	37.379	0

2.3. Desviación del 2do sondaje con curva devico.

El proceso de desviación del sondaje 23020. Se realiza desde un punto donde la calidad de la roca es estable y compacta, el sondaje se encuentra con caising de línea NQ

Figura 44. Línea de tiempo de la desviación. del sondaje 23020



Perforación del Sondaje

- 1
- 2
- 3

Inicio
Perforación vertical inicial hasta alcanzar la zona de interés.

Desviación
Introducción de un motor de fondo para desviar la perforación.

Avance
Avance del sondaje siguiendo la trayectoria planificada.

Nota. Línea de tiempo de la desviación. del sondaje 23020. Elaboración propia.

2.4. Medición del Survey del sondaje desviado.

Figura 45. Data de medición con champ Pilote del sondaje DDH23020, Excel que detalla los resultados de la medición del pozo Branch o hijo.

Hole ID	Service	Device ID	Record Date	Record Time	Measured Depth	Dip	Raw Tool Azimuth	North	East	Elevation	CD	CB	DLS/30m
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	13:14:59	0	-73.776	49.247	8781188.59	343499.03	4220.88	233.768	122.302	0.154
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	13:11:27	50	-74.003	48.821	8781197.686	343509.507	4172.844	238.134	119.103	0.41
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	13:08:13	100	-73.731	51.077	8781206.623	343520.141	4124.812	243.425	116.047	0.204
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	13:05:03	150	-73.876	52.178	8781215.28	343531.074	4076.797	249.764	113.16	0.132
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	13:01:53	200	-74.049	52.668	8781223.704	343542.022	4028.743	256.798	110.47	0.264
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:58:44	250	-74.014	54.264	8781231.892	343553.073	3980.672	264.541	107.971	0.407
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:55:25	300	-73.94	56.706	8781239.71	343564.443	3932.614	273.163	105.675	0.521
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:51:58	350	-73.777	59.775	8781247.022	343576.259	3884.584	282.749	103.601	0.149
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:48:24	400	-73.732	58.899	8781254.156	343588.291	3836.58	292.929	101.691	0.567
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:45:13	450	-73.656	62.253	8781261.049	343600.514	3788.59	303.642	99.949	0.324
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:41:57	500	-73.143	61.655	8781267.766	343613.12	3740.674	315.021	98.35	0.395
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:38:24	550	-72.712	63.352	8781274.54	343626.141	3692.877	327.033	96.844	0.182
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:34:26	600	-72.423	63.033	8781281.296	343639.51	3645.174	339.603	95.443	0.396
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:30:51	650	-71.944	64.519	8781288.053	343653.234	3597.572	352.715	94.139	0.353
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:26:53	700	-71.651	66.152	8781294.569	343667.427	3550.074	366.479	92.963	3.298
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:22:56	750	-68.309	78.963	8781299.524	343683.707	3503.079	382.524	92.096	3.895
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:18:58	800	-63.033	88.202	8781301.65	343704.129	3457.519	402.865	91.687	0.036
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:14:56	850	-62.973	88.172	8781302.369	343726.815	3412.967	425.523	91.5	0.276
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:11:15	900	-62.517	88.292	8781303.075	343749.702	3368.518	448.385	91.334	0.47
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:07:06	950	-62.01	89.577	8781303.505	343772.967	3324.263	471.634	91.216	0.446
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	12:03:02	1000	-61.312	89.039	8781303.793	343796.699	3280.256	495.356	91.124	0.249
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	11:58:21	1050	-61.027	89.665	8781304.065	343820.808	3236.453	519.455	91.042	0.39
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	11:54:28	1100	-60.406	90.059	8781304.123	343845.264	3192.843	543.907	90.989	0.291
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	11:50:35	1150	-59.921	90.08	8781304.093	343870.141	3149.471	568.78	90.949	0.361
DDHUCH23020_1200m	GYRO_MS	14899	19/04/2023	11:44:19	1200	-60.348	90.93	8781303.875	343895.037	3106.111	593.677	90.93	0

2.5. Resultados.

Análisis de Costo y Tiempo.

Finalmente se realizó un análisis de costo y tiempo que se obtuvo como resultado de la perforación direccional, esto en comparación a una posible perforación convencional de los pozos DDH222429 y DDH23020.

Tabla 5. Análisis de costo para el sondaje Con DeviDrill DDH22429 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de - \$2,578.82

Parámetro	Perforación Convencional	Perforación Direccional
Número de perforaciones	1	1
Longitud por perforación (m)	1266	1250
Costo por metro (USD/m)	150	150
Costo plataforma (USD)	10,000	10,000
Costo equipos especializados	0	5,000
Costo logístico total	100,000	60,000
Costo personal (USD)	30,000	70,000
TOTAL	\$ 329,921.18	\$ 332,500.00

Tabla 6. Análisis de costo para el sondaje Con DeviDrill DDH23020 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de \$110,000.00

Parámetro	Perforación Convencional	Perforación Direccional
Número de perforaciones	1	1
Longitud por perforación (m)	1200	500
Costo por metro (USD/m)	150	150
Costo plataforma (USD)	10,000	0
Costo equipos especializados	0	5,000
Costo logístico total	100,000	60,000
Costo personal (USD)	30,000	70,000
TOTAL	\$ 320,000.00	\$ 210,000.00

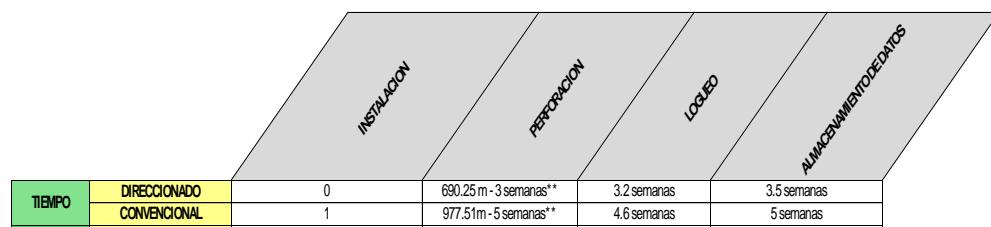
Por lo tanto, el ahorro total de la perforación seria:

Tabla 7. Análisis de costo para ambos sondajes es de \$ 107,421.18

COSTO DIRECCIONAL - DDH22429	COSTO DIRECCIONAL - DDH22429	AHORRO EN LA PERFORACIÓN
\$ -2,578.82	\$ 110,000.00	\$ 107,421.18

Para verificar el Ahorro de Tiempo se verifica un versus de cuánto tiempo cuesta realizar una perforación convencional vs Direccionado con Cuña

Figura 46. Análisis de tiempo para el sondaje con cuña.

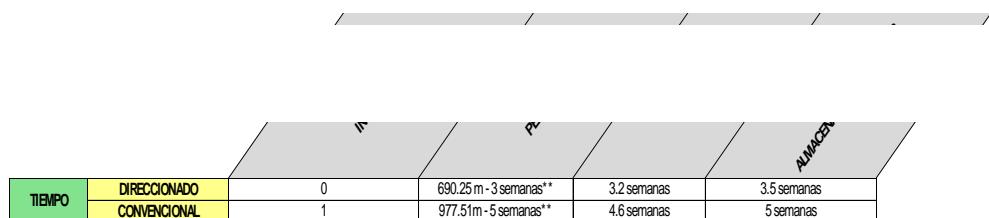


Nota. Análisis de tiempo para el sondaje con cuña DDH22429 en relación con una perforación convencional. Elaboración propia.

Tabla 8. Análisis de costo para el sondaje Con DeviDrill DDH23020 en relación con una perforación Convencional. Ahorro de 53,750 \$

Parámetro	Perforación Convencional	Perforación Direccionada
Número de perforaciones	1	1
Longitud por perforación (m)	875	550
Costo por metro (USD/m)	150	150
Costo plataforma (USD)	10,000	0
Costo equipos especializados	0	5,000
Costo logístico total	100,000	60,000
Costo personal (USD)	30,000	70,000
TOTAL	\$ 271,250.00	\$ 217,500.00

Figura 47. Análisis de tiempo para el sondaje con cuña. DDH23020 en relación con una perforación Convencional.



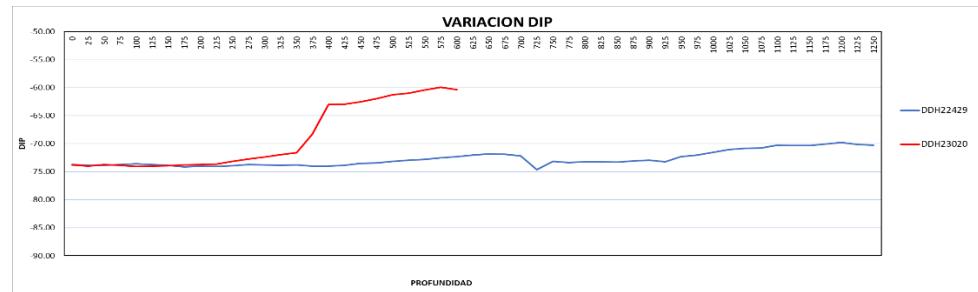
Nota. Análisis de tiempo para el sondaje con cuña DDH23020 en relación con una perforación Convencional. Elaboración propia.

Análisis de las mediciones de Survey.

Análisis estadístico.

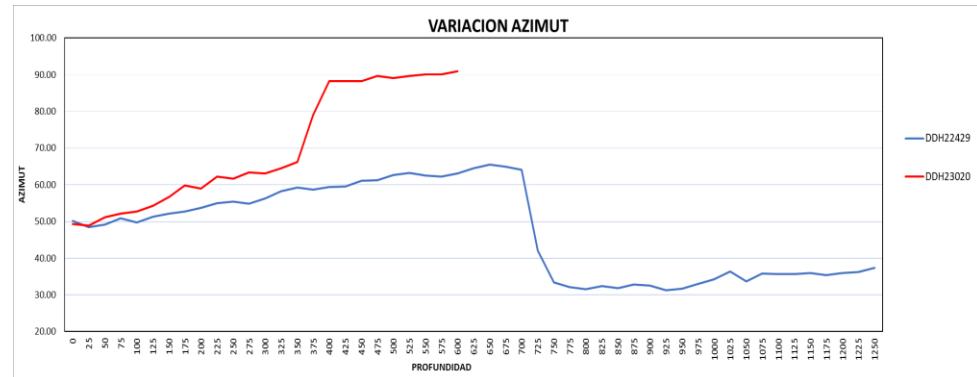
Se realiza un *análisis* mediante gráficos de las mediciones de survey de ambos sondajes. Para Validar la orientación en Azimut y Dip

Figura 48. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en DIP entre los sondajes DDH22429 y DDH23020



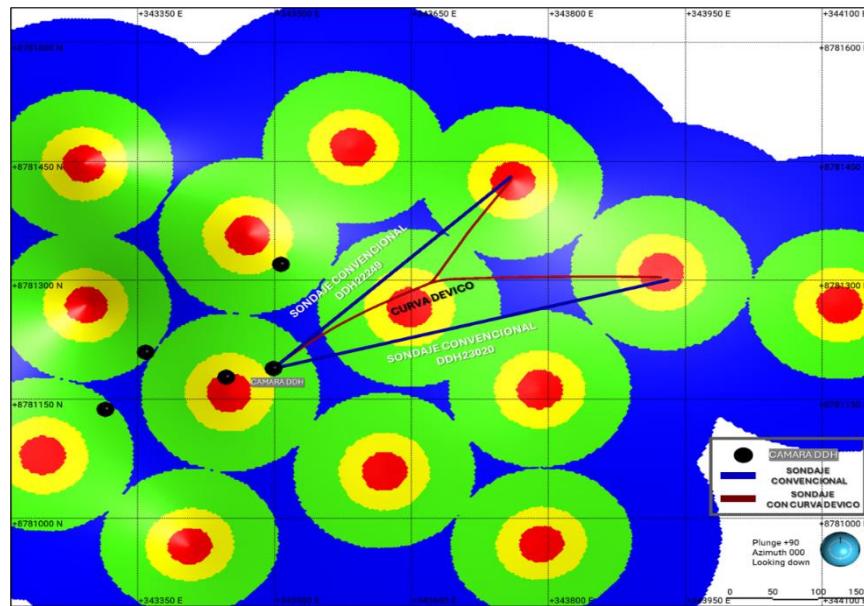
Nota. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en DIP entre los sondajes DDH22429 y DDH23020. Elaboración propia.

Figura 49. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en AZIMUT entre los sondajes DDH22429 y DDH23020



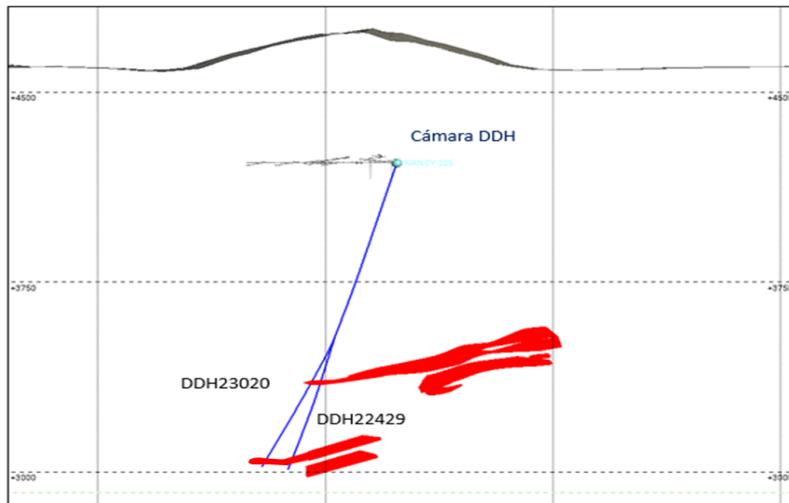
Nota. Gráfico Estadístico que verifica la Variación en AZIMUT entre los sondajes DDH22429 y DDH23020. Elaboración propia.

Figura 50. Vista en planta de la proyección comparando los sondajes convencionales. de los DDH22429 y DDH23020.



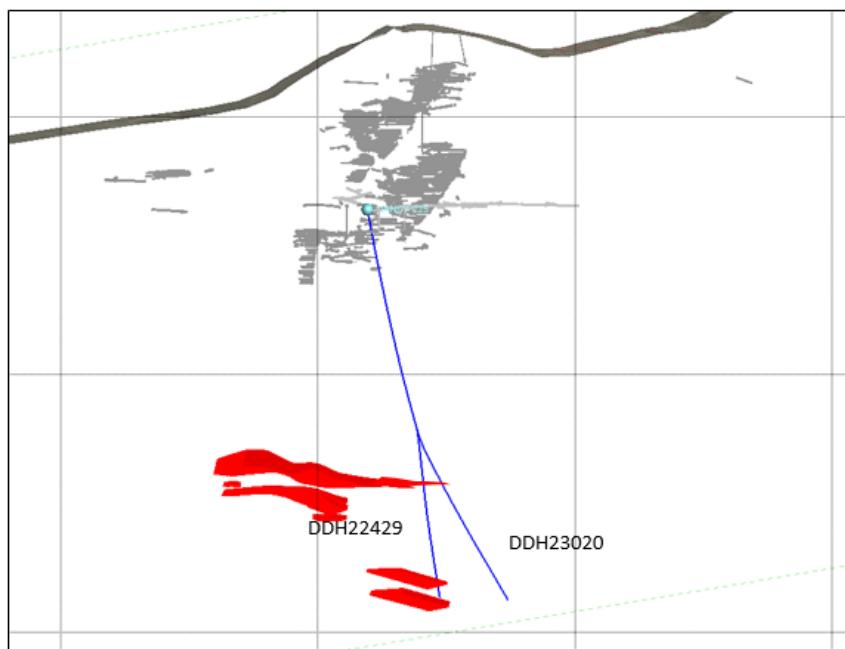
Nota. Vista en planta de la proyección comparando los sondajes convencionales de los DDH22429 y DDH23020. Elaboración propia.

Figura 51. Vista en sección donde se aprecia la desviación con curva devico.



Nota. Vista en sección donde se aprecia la desviación con curva devico, esta ayudo a extender los límites de la mineralización del Manto Esperanza.
Elaboración propia.

Figura 52. Vista en sección de la desviación DEVICO.



Nota. Vista en sección de la desviación DEVICO de los sondajes DDH23020 y DDH22429 después. Elaboración propia.

Como menciona el objetivo específico es optimizar costos con la perforación direccional en la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

Logros:

- De un programa de perforación 34 Km se realizaron 20 km con perforación direccional con la cual se obtuvo un ahorro de aproximadamente el 59% de metros de perforación y un 14% del costo de perforación. con un ahorro de \$14,150,000.00 a su vez se redujo el tiempo de preparación de nuevas cámaras de perforación ya que solo se realizaron perforaciones desde las cámaras ya asignadas (5 cámaras de perforación).

Tabla 9. Análisis general de precio entre sondajes direccionales vs convencional, realizados en el proyecto de exploración geológica del Manto Esperanza

Parámetro	Perforación Convencional	Perforación Direccional
Número de perforaciones	20	20
Longitud por perforación (m)	34000	20000
Costo por metro (USD/m)	150	220
Costo plataforma (USD)	10,000	0
Costo equipos especializados	0	50,000
Costo logístico total	100,000	60,000
Costo personal (USD)	30,000	70,000
TOTAL	\$ 102,330,000.00	\$ 88,180,000.00

$$CT_{conv} = (N_{conv} \times L_{conv} \times C_{metro_conv}) + (N_{conv} \times C_{plataforma})$$

$$+ C_{logistica_conv} + C_{personal_conv} \quad P.$$

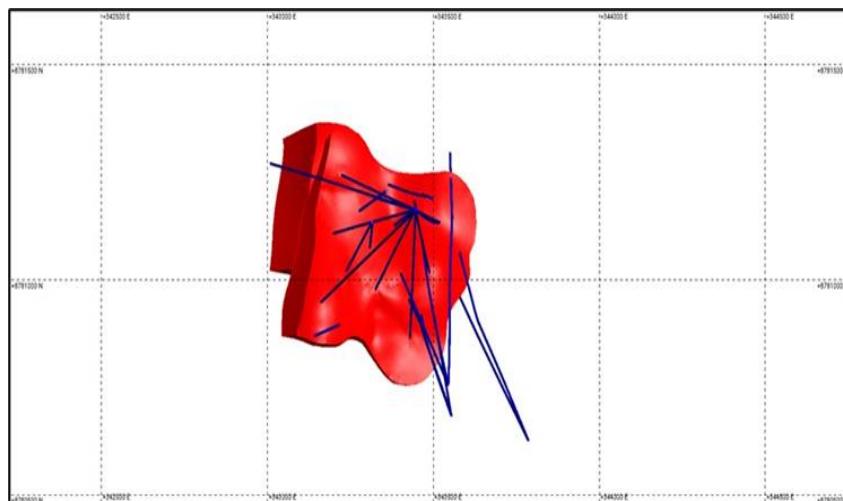
CONVENCIONAL

$$CT_{dir} = (N_{dir} \times L_{dir} \times C_{metro_dir}) + (N_{dir} \times C_{plataforma}) + C_{equipos_especializados} + C_{logistica_dir} + C_{personal_dir} \quad P.$$

DIRECCIONAL

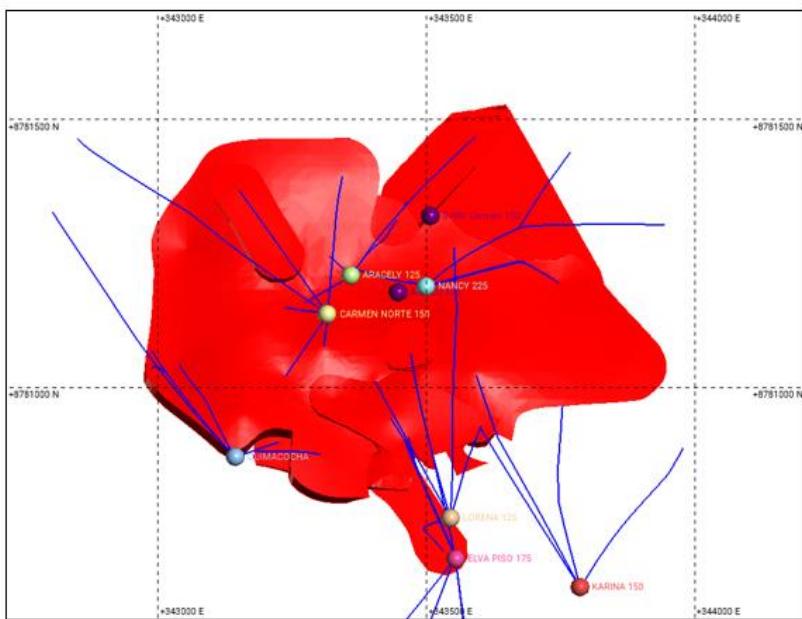
- Extensión del Manto Esperanza del 2021 al 2023 desde las mismas cámaras de perforación

Figura 53. Vista del Manto Esperanza antes de la devición DEVICO



Nota. Vista del Manto Esperanza antes de la devición DEVICO, extensión del Manto Esperanza diciembre 2022. Elaboración propia.

Figura 54. Vista del Manto Esperanza antes de la deviación DEVICO después



Nota. Vista del Manto Esperanza antes de la deviación DEVICO después, extensión del Manto Esperanza diciembre 2022. Elaboración propia.

1. Se optó por realizar la perforación direccional por las operaciones mineras que se desarrollaban niveles debajo de la perforación, ya que se corre el riesgo de accidentes personales, accidentes de inestabilizar una labor que se encuentre por debajo de nuestras labores de perforación.
2. Se opta por la perforación direccional debido a que se contaba con acuíferos y estas son muy riesgosas que pueden debilitar labores mineras que estaban por debajo de nuestra zona de perforación
3. Se realizó la perforación direccional para ahorrar en costos de habilitación de nuevas Cámaras de perforación y/o en diseñar nuevos accesos para cámaras de perforación.

4.3. Prueba de hipótesis

Con los resultados obtenidos del desarrollo de perforación direccional para la exploración geológica del Manto Esperanza Unidad Minera Chungar

H₀: El desarrollo de Perforación Direccional **no optimizará** la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023

H₁: El desarrollo de Perforación Direccional **optimizará** la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

Aceptamos la hipótesis alterna porque los resultados obtenidos del desarrollo de perforación direccional optimizarán la exploración geológica en el Manto Esperanza - Unidad Minera Chungar 2023.

Tabla 10. *Diferencias entre perforación convencional y perforación direccional.*

Convencional	Direccional Devico
1. El costo es más bajo	1. El costo es un 20%, ¿más elevado que la convencional
2. No te permite direccionar tu objetivo	2. Te permite direccionar el target para evitar complicaciones con labores, acuíferos, etc.
3. Se tiene complicaciones con desviaciones muy altas en Sondajes que alcanzan altas profundidades	3. Te permite controlar mucho mejor las desviaciones y lograr llegar a una distancia aceptable a tu Target
4. Peligro de cortar labores por debajo de tu operación de perforación	4. Permite realizar maniobras de desviación en caso esté cercano a una labor minera, que se encuentre por debajo de la perforación 5. Te permite corregir una perforación convencional para lograr objetivos de extensión en una zona de exploración

4.4. Discusión de resultados

Desde el inicio, se destacó que el diseño de un sondaje direccional es probablemente la fase más crítica en el desarrollo de cualquier programa de perforación. Este trabajo se ha centrado en establecer un criterio sólido en el campo de la perforación direccional, con el objetivo de demostrar la optimizar del costo y tiempo en la perforación hacia un objetivo geológico como el la del Manto Esperanza

El análisis de los resultados ha demostrado que la perforación direccional no solo ofrece una mayor precisión en la orientación del pozo, sino

que también presenta claras ventajas en términos de costos y tiempo en comparación con la perforación convencional. A medida que los desafíos geológicos se vuelven más complejos y profundos. Estos desafíos incluyen problemas como alto torque, pérdida de potencia al fondo del pozo y un mayor riesgo de desviaciones la que conlleva a la generación de un sidetrack(perforación de un pozo secundario lejos del pozo original), lo que puede aumentar significativamente los costos y tiempos si no se manejan adecuadamente.

Sin embargo, la perforación direccional ha demostrado ser una solución efectiva para mitigar estos riesgos. Al reducir el tiempo necesario para alcanzar el objetivo y disminuir la cantidad de materiales e insumos requeridos, se logra una optimización significativa en los costos operativos. En el caso específico de la exploración geológica en el Manto Esperanza de la Unidad Minera Chungar, la aplicación de técnicas de perforación direccional ha resultado en una reducción considerable del tiempo estimado para la perforación, así como en un ahorro tangible en recursos materiales tal y como se demuestra en la perforación con **cuña del Sondaje DDH22204 y los sondajes Direccionalados con Curva Devico DDH22429 y DDH23020**.

Esta optimización no solo tiene beneficios directos en términos de eficiencia y reducción de costos, sino que también mejora la viabilidad económica del proyecto en su conjunto. En resumen, la perforación direccional se presenta no solo como una herramienta técnica avanzada, sino como un enfoque estratégico para maximizar la rentabilidad y minimizar el tiempo y los costos asociados a la exploración geológica, marcando una clara diferencia frente a los métodos convencionales.

CONCLUSIONES

1. Como principal resultado OBTUVO el ahorro en costos operativos en la perforación las cuales podemos definir como

Directos:

- costo de una nueva máquina de perforación / traslado de máquina de perforación.
- costo de habilitación de cámaras y plataformas de perforación
- costos de materiales para perforación.

Indirectos:

- Tratamiento y almacenamiento de data geológica como logueo geológico, almacenamiento de cajas con Cores, etc.

2. Como segundo resultado se OBTUVO ahorro de Tiempo, las cuales fueron:

Directos:

- Movimiento de máquina de perforación.
- Habilitación de una nueva cámara/plataforma de perforación.

Indirecto:

- Logueo y almacenamiento de cajas con testigos de perforación.

3. La perforación direccional optimiza la exploración geológica en el Manto Esperanza-Unidad Minera Chungar. Se optó por realizar la perforación direccional por las operaciones mineras que se desarrollaban niveles debajo de la perforación, ya que se corre el riesgo de accidentes personales, accidentes de inestabilizar una labor que se encuentre por debajo de nuestras labores de perforación.

4. Se logra la extensión del Manto Esperanza los tramos NE y NW; con el menor número de cámaras de perforación y desarrollando perforaciones muy profundas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una programación previa a la revisión de la litología de la zona así evitar zonas fracturadas; también para este caso evitar cruce de labores subterráneas; esto dificulta la perforación direccional.
2. Realizar una ubicación correcta y estratégica de las cámaras y/o plataformas de perforación, para evitar movimientos excesivos de la máquina de perforación y generar gastos innecesarios en habilitar una nueva cámara de perforación.
3. Realizar mediciones constantes de la desviación, realizando un control estricto de la desviación del Survey de los sondajes; estas también dependerán del tipo de roca y de la cantidad de recursos económicos que se tenga.
4. Considerar la necesidad de utilizar procedimientos operativos que sean compatibles con la protección del medio ambiente y de respeto a las comunidades directamente involucradas en el área de operación.
5. Se recomienda usar perforación direccional en cuerpos horizontales y tabulares como en Mantos y vetas; esto permitirá analizar bien la extensión de la mineralización de estas estructuras

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ananea S.A. Región Puno – Peru [UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN].

http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1655/1/T026_46068152_T.pdf

Boart Longyear. (2022). Directional drilling accuracy in mineral exploration.
<https://www.boartlongyear.com>

Boart Longyear. (2020). Directional drilling handbook: Principles and applications.

Doe, J., & Brown, R. (2018). Advanced directional drilling techniques. Springer.

Epiroc. (2023). Underground directional drilling applications. <https://www.epiroc.com>

Espinosa, J. (2019). Evaluación geológica preliminar prospecto Paraíso, Chaparra, Caraveli, Arequipa.

Gamarra, J., Vilcas, N., & Silva, P. (2020). Perforación direccional, la perforación del futuro hoy. 59–63.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.

IADC. (2019). Directional drilling well profiles. <https://www.iadc.org>

International Council on Mining and Metals. (2020). Sustainable drilling practices.
<https://www.icmm.com>

Joint Ore Reserves Committee. (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. <http://www.jorc.org>

JORC. (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Mining Technology. (2021). Multilateral drilling applications. <https://www.mining-technology.com>

Liberato, R. (2019). Proyecto desarrollo - preparación del Manto urbiola - Minera Resources and Ore Reserves. Joint Ore Reserves Committee. <http://www.jorc.org>

Salazar, O. (2011). Perforación direccional. In Investigación y Ciencia (Scientific American): Vol. JULIO (Issue 214). INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA CIENCIAS DE LA
TIERRA UNIDAD TICOMÁN.

Sandvik. (2021). Directional drilling in mineral exploration: Technology and case studies.

<https://www.rocktechnology.sandvik>

Sandvik. (2021). Digital solutions for directional drilling.

Society for Mining, Metallurgy & Exploration. (2021). Directional drilling in mineral exploration. *Mining Engineering*, 73(5), 28-35.

SME. (2022). Best practices in controlled trajectory drilling. SME.

Smith, A., & Johnson, B. (2020). Directional drilling in hard rock. *Journal of Mining Engineering*, 15(3), 45-60.

Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME). (2019). Advances in directional drilling for mineral resources. *Mining Engineering Magazine*, 71(3), 45–52.

Velez, J. (2017). ESTUDIO GEOLÓGICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL YACIMIENTO MINERO JARWATUNA - PROVINCIA CARAVELI REGIÓN AREQUIPA [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. In Tesis. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anglo American. (n.d.). Anglo American plc. <https://www.angloamerican.com/>

Yanez, E. (2013). Optimización de trayectorias direccionales de alta tasa de construcción, para pozos horizontales, mediante la aplicación de sistemas de rotación continua. Bloque 16. Octubre 2013.

Yatto, A. (2022). Perforación direccional, herramientas y aplicación en sondajes diamantinos.

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Figura 55. Vista del sondaje DDH130, DIRECCIONAL CON CUÑA

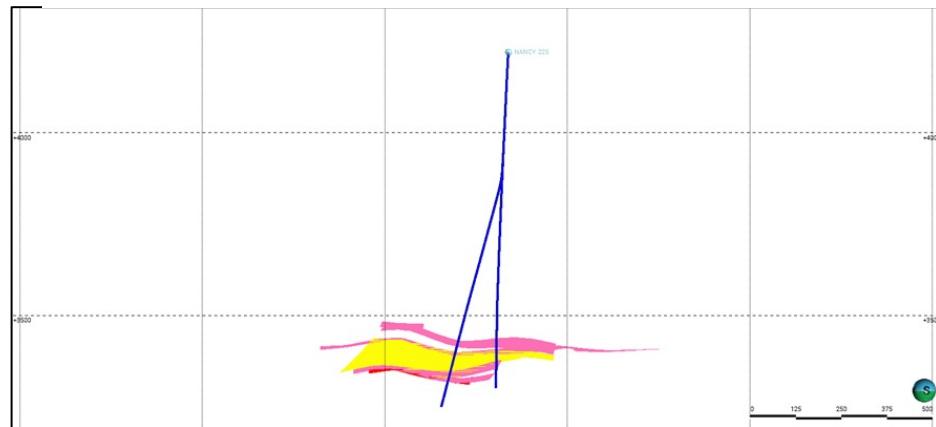


Figura 56. Malla de perforación POTENCIAL a 100 metros

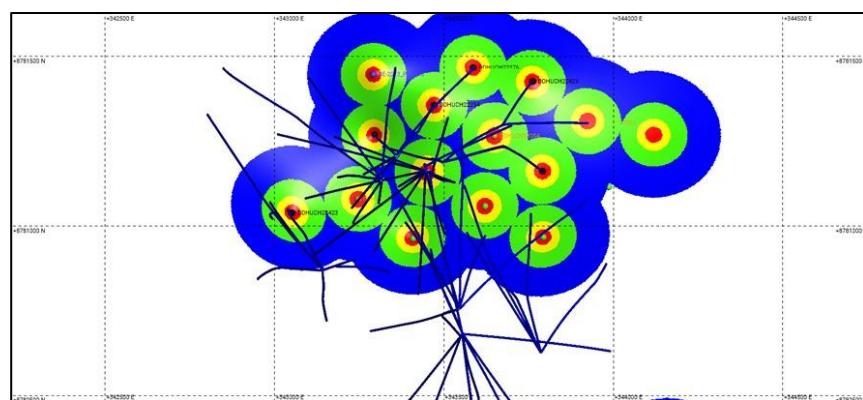


Figura 57. Vista sección de los sondajes perforados

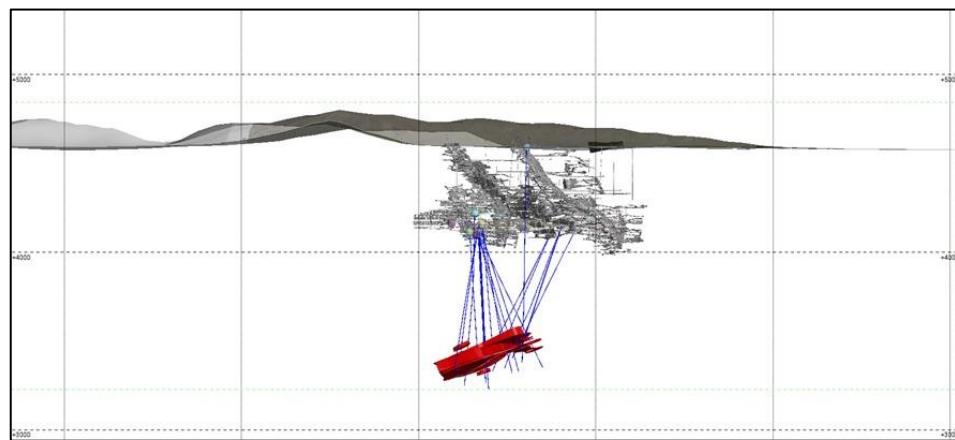


Figura 58. Vista sección de la ubicación de las cámaras diamantinas

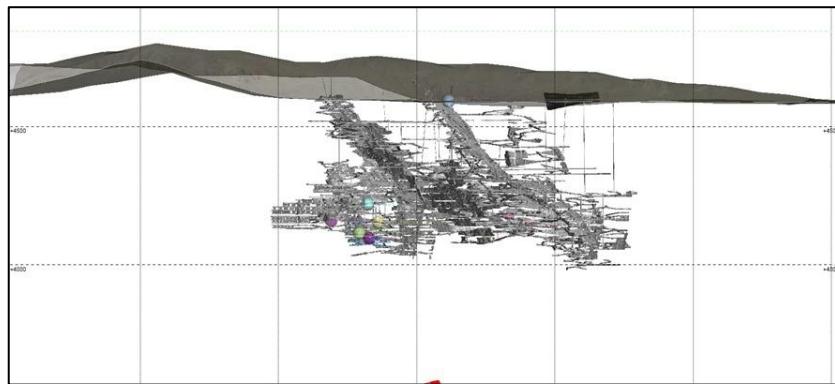


Figura 59. Extensión del Manto Esperanza con sondaje Direccionales (DCD) 2022-2023

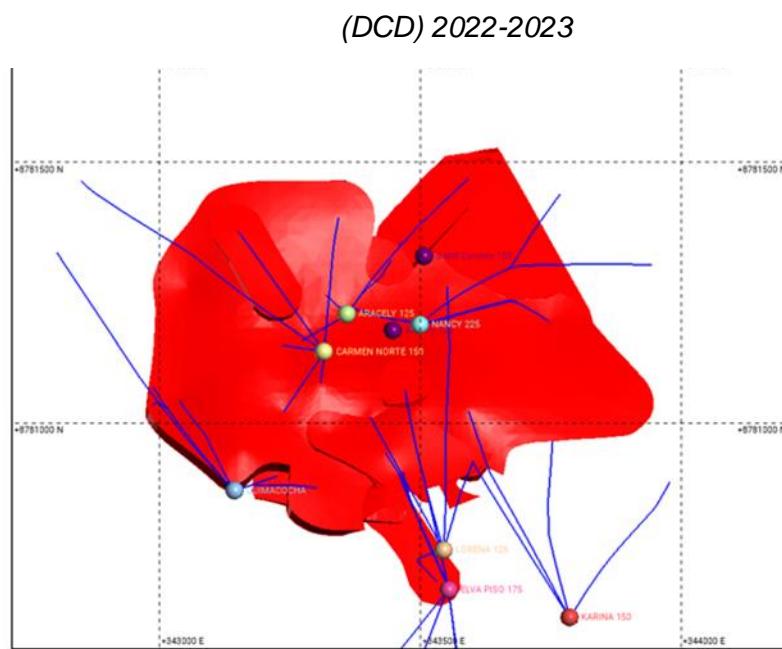


Figura 60. Manto Esperanza - sondajes convencionales 2020 - 2021

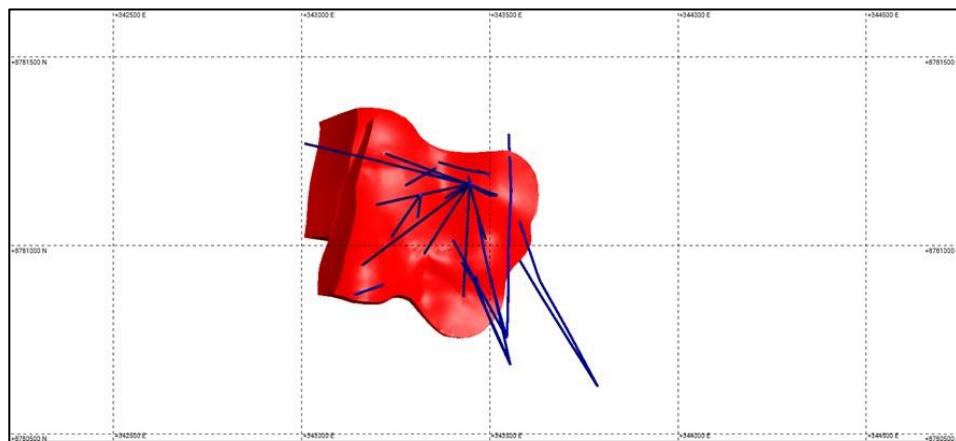


Figura 61. Armado del equipo de medición Champ Pilot

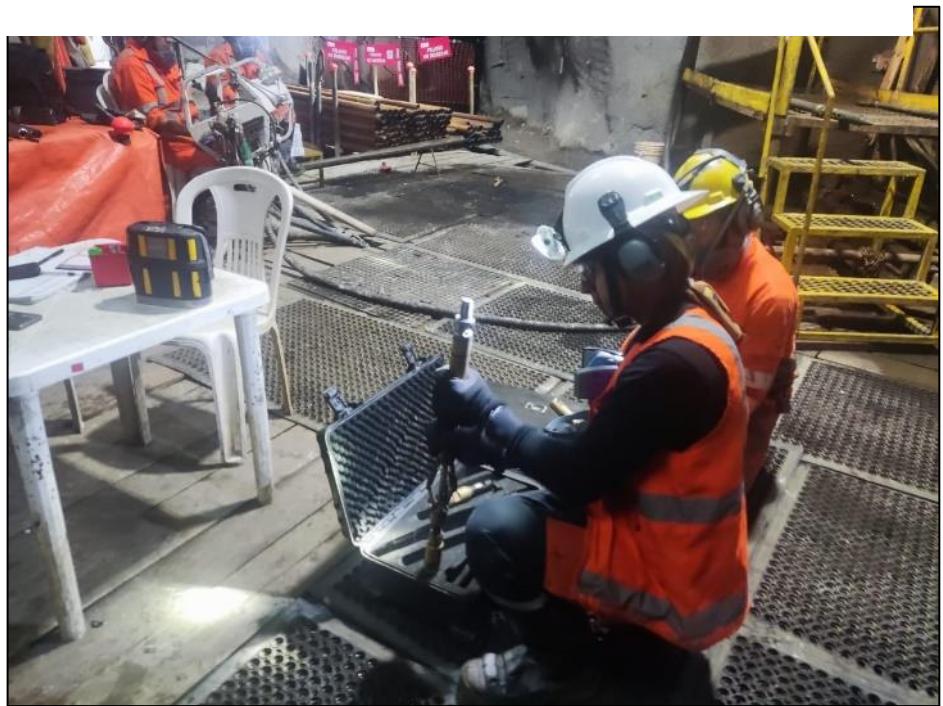


Figura 62. Vista de medición de la deviación de los sondajes en campo

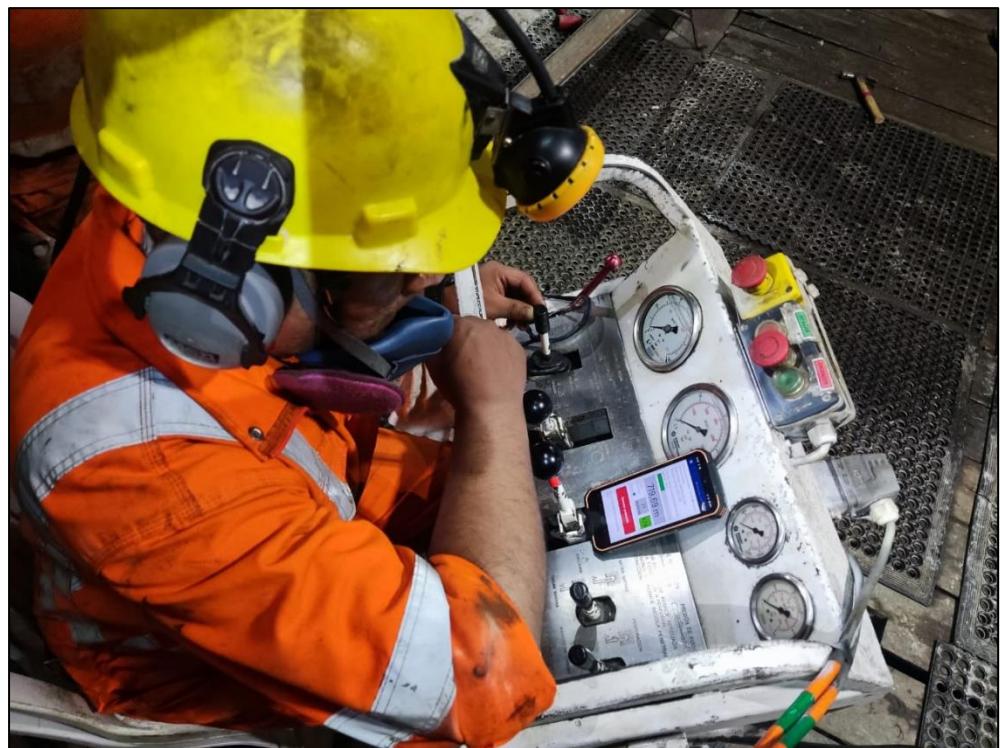


Figura 63. Vista del proceso de medición de los sondajes con el equipo ya instalado en la máquina de perforación así también supervisando el contó metro



Figura 64 Armado de equipo devidrill para realizar la desviación de sondajes.

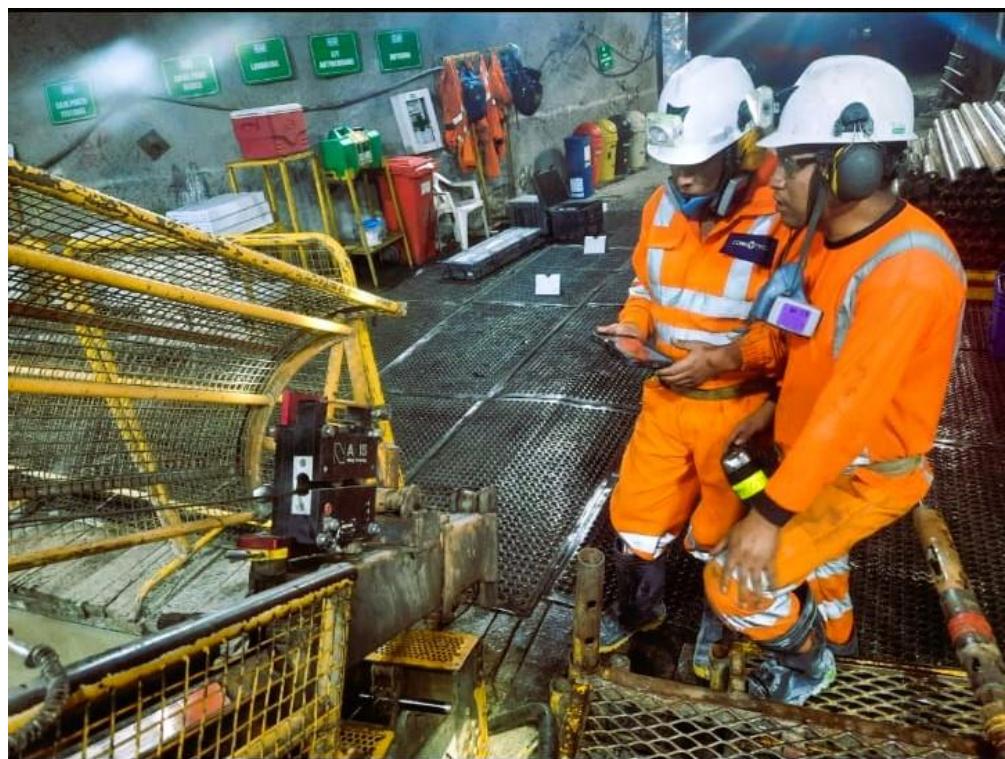


Figura 65. Inserción del equipo devidrill en el sondaje de perforación.



Figura 66. Vista en planta de la malla de perforación programada para 2024 y sondajes ejecutados desde el 2022 - 2023.

