



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Portada

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos
Naturales no Renovables**

Carrera de Ingeniería en Minas

**Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes
del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza-Zamora
Chinchipe.**

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero en Minas**

AUTOR:

Anthony Sebastián Villacís Rodríguez

DIRECTOR:

Ing. Hernán Luis Castillo García.PhD.

Loja – Ecuador

2025

Certificación



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **CASTILLO GARCIA HERNAN LUIS**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado "**EVALUACIÓN DEL SOSTENIMIENTO POR CALIDAD DE ROCA EN LABORES PERMANENTES DEL NIVEL 1170 SUR EN LA MINA "FRUTA DEL NORTE", YANTAZA-ZAMORA CHINCHIPE**", perteneciente al estudiante **ANTHONY SEBASTIAN VILLACIS RODRIGUEZ**, con cédula de identidad N° **1104346182**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 26 de julio de 2024



HERNAN LUIS
CASTILLO GARCIA

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-001355

1/1

Autoría

Yo, **Anthony Sebastián Villacís Rodríguez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de este. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1104346182

Fecha: 13/01/2025

Correo electrónico: anthony.villacis@unl.edu.ec

Teléfono: 0995668900

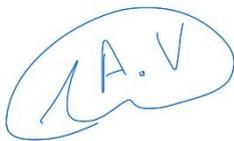
Carta de autorización del Trabajo de Integración Curricular por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo.

Yo, **Anthony Sebastián Villacís Rodríguez**, declaro ser autor del trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza-Zamora Chinchipe**, y como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Minas**, autorizó al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de sus contenido en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tiene convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de enero de dos mil veinticinco.

Firma:



Autor: Anthony Sebastián Villacis Rodríguez.

Cédula de identidad: 1104346182

Dirección: Loja, Perpetuo Socorro.

Correo electrónico: anthony.villacis@unl.edu.ec

Teléfono: 0995668900

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Integración Curricular: Ing. Hernán Luis Castillo García

Dedicatoria

Dedicado a mis padres Fabián Villacís y Paulina Rodríguez cuyo amor y apoyo incondicional me han guiado y sostenido en cada paso de este arduo camino. A mis hermanos Fabian Andrés y Juan Ignacio por su constante ánimo, comprensión y fuerza que me han brindado para seguir adelante; y a mi familia que han creído en mí incluso en los momentos más difíciles

En especial, dedico este logro a la memoria de mi querido hermano Fabian Andrés (+), cuya ausencia ha dejado un vacío imposible de llenar. Aunque ya no estés físicamente con nosotros, tu espíritu y legado continúan inspirándome a ser mejor cada día.

Anthony Sebastián Villacís Rodríguez

Agredecimiento

Primero y, ante todo, agradezco a Dios, cuya guía y fortaleza han sido mi refugio a lo largo de este desafiante viaje. Sin su gracia y bendiciones, nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres, por su amor incondicional. Su paciencia y su apoyo constante. Su sabiduría y sacrificio han sido importante para llegar hasta aquí. A mis hermanos y demás familiares, por su ánimo y compañía en los momentos de dificultades, y por ser mi inspiración en cada paso que doy.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi director Ing. Hernán Castillo, quien, con su conocimiento, su experiencia y su dedicación supo orientarme en cada una de las dudas o inquietudes que se presentaron en el desarrollo del presente trabajo, También agradezco a cada uno de los docentes de la Carrera de Minas, quienes fueron parte esencial en mi formación académica desde el primer ciclo hasta la culminación de mis estudios.

Agradezco a la empresa Lundingold por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones. En especial, quiero agradecer al Departamento de Servicios Técnicos, cuyas enseñanzas, apoyo y colaboración fueron de gran ayuda en el desarrollo de este proyecto.

Anthony Sebastián Villacís Rodríguez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas	xii
Índice de anexos.....	xiii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teorico.....	6
4.1. Minería.....	6
4.2. Yacimientos	6
4.3. Métodos de explotación.....	7
4.3.1. Tipos de métodos de explotación.....	8
4.4. Sistemas de explotación.....	9
4.4.1. Sistemas de explotación a cielo abierto.....	9
4.4.2. Sistemas de explotación subterráneos	10
4.5. Fases del ciclo minero	13
4.5.1. Perforación.....	14
4.5.2. Voladura	15
4.5.3. Ventilación	16
4.5.4. Carguío y transporte	16
4.5.5. Limpieza	17
4.5.6. Sostenimiento	17
4.6. Caracterización geológica del macizo rocoso.	19
4.7. Clasificaciones geomecánicas	20
4.7.1. RMR de Bieniawski	20

4.7.2.	Q de Barton.....	24
4.8.	Pruebas QA/QC (Control de calidad).....	26
5.	Metodología.....	29
5.1.	Área de estudio.....	29
5.1.1.	Descripción del área de estudio.....	29
5.1.2.	Ubicación.....	30
5.1.3.	Acceso.....	29
5.2.	Geología.....	30
5.2.1.	Geología regional.....	30
5.2.2.	Geología local.....	31
5.2.3.	Reservas Minerales.....	34
5.3.	Topografía.....	34
5.3.1.	Topografía superficial.....	35
5.3.2.	Topografía subterránea.....	35
5.4.	Materiales y equipos.....	36
5.5.	Procedimiento.....	37
5.6.	Metodología para el primer objetivo.....	38
5.6.1.	Recopilación de datos geomecánicos.....	38
5.6.2.	Análisis estadístico y geoespacial.....	39
5.6.3.	Aplicación de las clasificaciones Q de Barton y RMR de Bieniawski.....	40
5.7.1.	Recopilación de datos.....	41
5.7.2.	Descripción del sostenimiento colocados en el Nivel 1170 Sur.....	42
5.7.3.	Diseño de secciones con los elementos de sostenimiento.....	43
5.8.	Metodología para el tercer objetivo.....	44
5.8.1.	Procedimiento general para realizar pruebas QA/QC.....	44
5.8.2.	Prueba QA/QC pull Test.....	45
5.8.3.	Control de espesor del concreto proyectado (Shotcrete).....	53
6.	Resultados.....	58
6.1.	Resultados para el primer objetivo.....	58
6.1.1.	Descripción de la zona de estudio.....	58
6.1.2.	Caracterización de la masa rocosa.....	59
6.1.3.	Distribución de discontinuidades.....	63
6.1.4.	Clasificación del macizo rocoso.....	65

6.1.5.	Propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso.....	70
6.1.6.	Sobre- excavación.....	71
6.2.	Resultados para el segundo objetivo	72
6.2.1.	Análisis de sostenimiento.....	72
6.2.2.	Descripción de los elementos de sostenimiento	74
6.2.3.	Secciones de sostenimiento según el tipo de roca	29
6.3.	Resultados para el tercer objetivo.....	31
6.3.1.	Resultados de la prueba Pull Test	31
6.3.2.	Resultados de la prueba “control de espesores de shotcrete”	34
7.	Discusión.....	36
8.	Conclusiones	39
9.	Recomendaciones	41
10.	Bibliografía	42
11.	Anexos	45

Índice de figuras:

Figura 1. Sistemas de explotación subterránea según las necesidades de sostenimiento.	10
Figura 2. Sistema de cámaras y pilares.....	11
Figura 3. Sistema de explotación de corte y relleno.	12
Figura 4. Sistema de explotación por taladros largos.	13
Figura 5. Ciclo de minado subterráneo horizontal.....	14
Figura 6. Perforación con martillo perforador manual.	15
Figura 7. Perforación mecanizada con jumbo.	15
Figura 8. Efecto escala en los macizos rocosos	20
Figura 9. Orientación de las excavaciones.....	23
Figura 10. Sostenimientos según el índice Q.....	26
Figura 11. Mina Fruta del Norte	29
Figura 12. Mapa de ubicación de la concesión minera "La Zarza"	30
Figura 13. Acceso a la mina Fruta del Norte	30
Figura 14. Mapa de geología regional.	31
Figura 15. Mapa de geología local de la mina Fruta del Norte	34
Figura 16. Topografía superficial del área de estudio.	35
Figura 17. Topografía subterránea del área de estudio.....	36
Figura 18. Procedimiento de recopilación de datos	38
Figura 19. Sección ejemplo de los elementos de sostenimiento.....	43
Figura 20. Equipo de protección personal para las pruebas QA/QC	46
Figura 21. Perforaciones con Boltec.....	54
Figura 22. Marcación de la medición obtenida de espesor.....	54
Figura 23. Taladro para perforación manual marca Hilti.	55
Figura 24. Medición del espesor de shotcrete con varilla centimétrica.....	56
Figura 25. Diagrama de ubicación de espesores medidos en campo.....	56
Figura 26. Vista en planta del nivel 1170 Sur.....	59
Figura 27. Perfil geológico relacionado al nivel 1170 sur.....	60
Figura 28. Litologías predominantes en el nivel 1170 sur.....	60
Figura 29. Porfido de feldespatos.....	61
Figura 30. Roca freatomagmática	61
Figura 31. Brecha Hidrotermal	62
Figura 32. Mapa geológico local del nivel 1170	62
Figura 33. Análisis geoespacial de las fallas principales.....	63

Figura 34. Estructuras presentes en el nivel 1170	64
Figura 35. Nivel de alteración de arcillas en el nivel 1170.....	65
Figura 36. Zonificación por tipo de roca en el nivel 1170 Sur.	69
Figura 37. Calidad de las rocas en el nivel 1170 Sur.....	69
Figura 38. Registro fotográfico.....	70
Figura 39. Sobre excavación de la galería	72
Figura 40. Sostenimiento en base al índice Q de Barton.	73
Figura 41. Sostenimiento para la sección de 5x 5.5 m de roca mala	29
Figura 42. Sostenimiento para la sección de 5x 5.5 m de roca media.	30
Figura 43. Sostenimiento para la sección de 5x 5.5 m de roca buena.	31

Índice de tablas:

Tabla 1. Ejemplo de los diferentes tipos de sustancias minerales y las principales características de su explotación.	7
Tabla 2. Sistemas de explotación a cielo abierto.	9
Tabla 5. Tipos de carga en minería.	16
Tabla 6. Tipos de sostenimiento aplicados en minería.	18
Tabla 7. Clases de macizos rocosos en función del índice RMR.	21
Tabla 8. Significado de la clase de macizos rocosos según el índice RMR	21
Tabla 9. Plantilla con los parámetros para el cálculo del RMR.	22
Tabla 10. Sistema de sostenimiento en función del índice RMR.	23
Tabla 12. Valores del índice ERS.	25
Tabla 13. Tipos de pruebas QA/QC.	27
Tabla 14. Datos generales de la concesión minera "La Zarza"	29
Tabla 15. Coordenadas de la concesión minera "La Zarza"	30
Tabla 17. Materiales y equipos	37
Tabla 18. Softwares empleados para el análisis geoespacial.	39
Tabla 19. Elementos de sostenimientos en el nivel 1170 Sur.	42
Tabla 21. Equipo de protección personal.	46
Tabla 22. Matriz para el chequeo del equipo de tracción.	47
Tabla 23. Tabla de comprobación de aprobación o fallo de la prueba de tracción.	52
Tabla 24. Materiales y equipos de la prueba de control de espesores de shotcrete	53
Tabla 25. Perforación manual para el control de espesor de Shotcrete.	55
Tabla 27. Características de las discontinuidades.	64
Tabla 28. Clasificación del macizo rocoso.	66
Tabla 36. Resultados de la prueba de espesor de shotcrete.	34

Índice de anexos:

Anexo 1. Mapa de ubicación.	45
Anexo 2. Mapa de geología regional.	46
Anexo 3. Mapa de geología local	47
Anexo 4. Topografía superficial del área de estudio.	48
Anexo 6. Esquema general de la mina “Fruta del Norte”	50
Anexo 7. Zonificación de la geomecánica del nivel 1170 Sur.	51
Anexo 8 . Estructuras presentes en el nivel 1170	52
Anexo 9. Nivel de alteración de arcillas en el Nivel 1170	53
Anexo 10. Mapa geológico local de la galería del nivel 1170 Sur	54
Anexo 11. Sobre excavación la galería del 1170.....	56
Anexo 12. Propiedades de las litologías	57
Anexo 13. Discontinuidades tomadas en campo durante los mapeos geomecánicos.....	58
Anexo 14. Mapeo geomecánico en el nivel 1170 sur.....	59
Anexo 15. Evaluación geomecánica del nivel 1170 sur.....	60
Anexo 16. Parámetros mecánicos del macizo rocoso.....	68
Anexo 17. Malla minera ARMEX 3 x 2 m.....	69
Anexo 18. Ficha técnica del perno helicoidal.....	70
Anexo 19. Resultados de la prueba QA/QC “Pull Test”	71
Anexo 20. Resultado de la prueba QA/QC “control de espesor de shotcrete”	72
Anexo 21. Certificado de traducción del resumen.....	73

1. Título

Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza – Zamora Chinchipe.

2. Resumen

El presente Trabajo de Integración Curricular denominado “Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza – Zamora Chinchipe”, se desarrolló mediante un estudio detallado del sistema de sostenimiento aplicado a lo largo del nivel 1170 sur, este nivel es uno de los principales abarcando un total de 1218. 20 m.

Se realiza la clasificación geomecánica en el nivel de estudio en base a los índices RMR de Bieniawski de 1989 y el índice Q de Barton, en base a estos índices se determina la calidad del macizo rocoso, el mismo se caracteriza por presentar mayoritariamente con un 64 % roca de calidad buena (I), por su parte, el 31% se caracteriza por ser roca de calidad media o regular (II), y finalmente el 5% corresponde a roca de calidad mala (III). En función del tipo de roca se estable un sistema de sostenimiento esto con la finalidad de garantizar que las operaciones mineras subterráneas se lleven a cabo bajo un ambiente de seguridad. En sistema de sostenimiento en el nivel se caracteriza por la presencia de elementos de sostenimiento permanentes tales como pernos de anclaje, mallas electrosoldadas y hormigón proyectado o mejor conocido como Shotcrete.

Para corroborar que el sostenimiento colocado a lo largo del nivel 1170 Sur, se realizan una serie de pruebas de control de calidad denominadas pruebas Q_A/Q_C . Dichas pruebas son un conjunto de operaciones, procedimientos y ensayo destinadas a verificar que la calidad y confiabilidad de los elementos de soporte empleados en las labores mineras estén acordes a las especificaciones técnicas establecidas en la fase de diseño y planificación de cada uno de los sistemas de sostenimiento, además, verifican que los procedimientos de instalación estén acordes a normas y estándares técnicos internacionales. Las pruebas realizadas corresponden a la denominada “Pull Test” una prueba que permite delimitar la carga máxima que soportara un perno de anclaje, en el estudio lo mínimo a soportar serán de 12 toneladas. Por su parte, también se realiza la prueba de “control de espesores de shotcrete” una prueba esencial para asegurar la durabilidad del sostenimiento en las labores internas. La importancia del sostenimiento radica en la seguridad de los trabajadores, la estabilidad de las excavaciones, optimización de la producción, reducción de costos y cumplimiento de la normativa local e internacional.

Palabras clave: *Clasificación geomecánica, calidad de la roca, sostenimiento, perno de anclaje, malla electrosoldada, hormigón proyectado, pruebas Q_A/Q_C .*

Abstract

The present Integrated Curriculum Work titled "Assessment of Rock Quality Support in Permanent Works at Level 1170 South in the 'Fruta del Norte' Mine, Yantzaza - Zamora Chinchipe," was developed through a comprehensive study of the support system implemented throughout the southern section of Level 1170, which spans a total length of 1218.20 m.

A geomechanical classification was conducted at the study level based on the RMR indices established by Bieniawski (1989) and the Q index proposed by Barton. Utilizing these indices, the quality of the rock mass was assessed, revealing that 64% is classified as good quality rock (I), while 31% is categorized as medium or fair quality rock (II), and 5% corresponds to poor quality rock (III). Based on the rock type, an appropriate support system was established to ensure safe underground mining operations. The support system at this level is characterized by permanent support elements, including anchor bolts, welded mesh, and shotcrete. To verify the effectiveness of the support installed along Level 1170 South, a series of quality control tests, known as Q_A/Q_C tests, were conducted. These tests encompass a range of operations, procedures, and trials aimed at ensuring that the quality and reliability of the support elements used in mining operations comply with the technical specifications established during the design and planning phase of each support system. Additionally, these tests ensure adherence to international technical standards during installation procedures. Among the tests performed is the "Pull Test," which determines the maximum load an anchor bolt can withstand; in this study, a minimum load capacity of 12 tons is specified. Furthermore, a "shotcrete thickness control test" is conducted to ensure the durability of the support in internal workings. The significance of support systems lies in their contribution to worker safety, excavation stability, production optimization, cost reduction, and compliance with local and international regulations. Keywords: geomechanical classification, rock quality, support, anchor bolt, welded mesh, shotcrete, Q_A/Q_C tests.

Keywords: *geomechanical classification, rock quality, support, anchor bolt, electrowelded mesh, shotcrete, Q_A/Q_C tests.*

3. Introducción

El trabajo de integración curricular se centra en la evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza – Zamora Chinchipe. La mina Fruta del Norte está bajo la dependencia de la empresa canadiense LundinGold y actualmente es uno de los proyectos estratégicos más importantes del Ecuador, por ello es indispensable la evaluación de los sistemas de sostenimiento; este proceso no solo garantiza la estabilidad física de las excavaciones internas, sino que además se relaciona con la seguridad de los trabajadores mineros y la eficiencia de las operaciones.

La mina “Fruta del Norte” sin duda alguna es un hito significativo para la industria minera ecuatoriana, se destaca por la extracción del mineral aurífero bajo condiciones geológicas, geotécnicas y topográficas de carácter complejo. Bajo esta primicia, la evaluación de los sistemas de sostenimiento por calidad de roca a lo largo del nivel 1170 Sur es por tanto un estudio de importancia que está destinado a determinar la resistencia y características geotécnicas propias de la roca que puedan tener incidencia en las operaciones de soporte.

Por lo tanto, el presente trabajo de integración curricular busca profundizar en cada uno de los métodos para evaluar la condición de calidad de la roca en las labores mineras internas, para ello, se realizan pruebas de control de calidad (Q_A/Q_c) en los elementos de sostenimiento teniendo en cuenta estándares internacionales y prácticas adaptadas a las condiciones locales. Cada una de estas pruebas proporcionará información para elaborar una base sólida sobre los sistemas de sostenimiento para la toma de decisiones estratégicas y técnicas para mejorar la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras internas que se realizan en el nivel 1170 Sur.

La evaluación de los sistemas de sostenimiento influye directamente en la planificación minera, al relacionarse con el diseño de soportes estructurales y la reducción de accidentes geomecánicos, contribuyendo de esta manera al desarrollo sostenible y seguro de la mina “Fruta del Norte”. Es así como el presente trabajo no solo se centra en generar conocimiento sobre el contexto geológico y geotécnico del nivel de estudio, sino también proporcionar una serie de recomendaciones y observaciones aplicables y prácticas que fortalezcan el desarrollo de las actividades mineras subterráneas de forma segura, esto está relacionado al alto nivel de peligrosidad a los cuales están expuestos día a día los trabajadores mineros.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el sostenimiento que se coloca en labores permanentes por calidad de roca en el nivel 1170 Sur en la mina Fruta del Norte, con la finalidad de garantizar la calidad de este.

Objetivos Específicos

- Analizar los datos de la caracterización del macizo rocoso en base a la clasificación geomecánica utilizada por el Proyecto Fruta del norte en el Nivel 1170 Sur.
- Establecer las características del sostenimiento actualmente colocado en el Nivel 1170 Sur.
- Realizar pruebas de Q_A/Q_C al sostenimiento de acuerdo con la calidad de roca en la zona de estudio, para el mejoramiento del tipo de sostenimiento.

4. Marco Teórico

4.1. Minería

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, ya que esta se desarrolló hace más de 700.000 años, teniendo evidencias del uso de herramientas de piedra en esa época. Puede decirse que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas (Costa, 2021).

En la actualidad la minería se ha incrementado debido al desarrollo de la sociedad, tecnología, crecimiento de la población, incremento de los niveles de vida de la población y el desarrollo de los países. Por ende, la minería se ha convertido en una de las actividades más relevantes, ya que es uno de los sectores que provee diversos materiales y recursos económicos que son usados para distintos fines (Costa, 2021).

Se puede definir a la minería como una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales (Banco Central del Ecuador, 2010).

Debido a que los minerales explotados por la actividad minera son concebidos como recursos naturales no renovables, la minería es una actividad que se maneja con responsabilidad y tecnología para lograr el mayor aprovechamiento de los recursos minerales (Estudios Mineros del Perú S.A.C, 2020).

4.2. Yacimientos

Un yacimiento mineral es una acumulación natural de uno o varios minerales que contienen elementos químicos de interés, entre ellos, los metales, concentrados por encima de su abundancia media en la corteza terrestre o en las rocas que la constituyen. El factor de concentración o grado de enriquecimiento para considerar una acumulación mineral como yacimiento depende para cada elemento en función del valor económico del metal o mineral de interés y de la tecnología disponible para su extracción y concentración (Zappettini, 2014).

Si bien usualmente se asocia el concepto de yacimientos minerales con la presencia de minerales metálicos, existen muchas otras sustancias minerales aprovechables y requeridas por la industria provienen de otros yacimientos no metálicos.

En la tabla 1 se visualizan diferentes tipos de sustancias minerales y las características para su explotación.

Tabla 1. Ejemplo de los diferentes tipos de sustancias minerales y las principales características de su explotación.

Tipo de yacimiento	Principales sustancias y elementos	Características de su explotación
Metales	Hierro, aluminio, manganeso, cobre, níquel, zinc, plomo, plata, oro.	Pequeña minería y minería artesanal: riesgo derivado de la operación con metales y compuestos químicos. Gran minería: extrae y puede acumular grandes volúmenes de roca. Moviliza metales. Es mecanizada a gran escala.
Minerales y rocas industriales	Arcillas, calizas, sales, carbón, fosfatos.	Moviliza grandes volúmenes.
Minerales y rocas ornamentales	Granitos, mármoles, travertino, gabros.	Impacta el relieve y el paisaje.
Áridos	Arenas, gravas, cantos rodados, triturados de basaltos y granitos.	Posibilidad de equilibrar agradación y degradación en los depósitos de áridos naturales. Impacto al relieve en áridos de trituración.
Gemas	Diamantes, zafiros, aguamarinas, jades.	Diferentes técnicas según se trate de yacimientos sedimentarios (placers) o magmáticos (en rocas).

Nota: Recursos minerales, minería y medio ambiente. Eduardo Zappettini. (2014)

4.3. Métodos de explotación

Para la explotación de los yacimientos minerales, es necesario seleccionar un método idóneo. El método de explotación es un proceso iterativo tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan de forma cíclica (Herrera J. , 2006).

La elección del método de explotación de un yacimiento depende principalmente de una decisión económica y ambiental, considerando inversiones, costos y beneficios del proyecto, los cuales están directamente relacionados con los siguientes factores propios del yacimiento, tal como establece Portal minero (2006).

- Tipo de mineral.

- Ubicación.
- Tamaño.
- Forma.
- Topografía superficial.
- Profundidad del cuerpo mineral.
- Complejidad, calidad y distribución de la mineralización.
- Características del macizo rocoso.
- Calidad de la información de reservas.
- Inversiones asociadas.

4.3.1. Tipos de métodos de explotación

En principio existen tres métodos principales considerados para la explotación de yacimientos minerales, los mismos se describen a continuación:

Minería a cielo abierto. Este tipo de minería es aquella que se desarrolla sobre la superficie de la tierra, de manera progresiva por capas o terrazas en terrenos previamente delimitado (Banco Central del Ecuador, 2010).

Los depósitos muy grandes con leyes bajas y cubiertos por un encape de poco espesor, generalmente son explotados por métodos a cielo abierto (López, 2012).

Este método se caracteriza por los grandes volúmenes de materiales que se deben mover (Herrera, 2006)

Minería subterránea. Este método se caracteriza por desarrollar la actividad de explotación en el interior de la tierra a través de túneles, ya sean verticales u horizontales. En las minas se trabaja desde una chimenea de acceso y se establecen niveles a intervalos regulares (Banco Central del Ecuador, 2010).

Adicionalmente, en minería subterránea la extracción de estéril suele ser insignificante a lo largo de la vida de la mina, pues solo procederá de las labores de acceso y preparación. Por lo tanto, el control del terreno o de las labores, una vez extraído el mineral, es una de las consideraciones más importantes que intervienen en la forma de explotar un yacimiento. Los tipos de control de macizos rocosos se fundamentan en diferentes grados de sostenimiento (Herrera, 2020).

Método de explotación mixto. Este método hace referencia a aquellas explotaciones que se llevan a cabo combinando labores de superficie con labores subterráneas.

4.4. Sistemas de explotación

Un sistema de explotación representa un conjunto de actividades, operaciones y labores dirigidas a la preparación y desarrollo de un yacimiento mineral. De este modo en función de este grupo de actividades se extrae y transporta los minerales de interés (Banco Central del Ecuador, 2010).

4.4.1. Sistemas de explotación a cielo abierto

En función de las características y parámetros técnicos se presentan los siguientes sistemas de explotación a cielo abierto según Herrera (2006), los más comunes se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Sistemas de explotación a cielo abierto.

Sistema	Descripción	Características
Cortas	Aplicado en yacimientos masivos o capas inclinadas, la explotación se lleva a cabo por banqueo descendente con secciones verticales en forma troncocónica.	Sistema más tradicional de la minería metálica. Aplicado ampliamente en la minería de carbón. La extracción en cada nivel se realiza por bancos o tajos. Profundidades grandes rondando los 300 m.
Descubiertas	Aplicado en yacimientos tumbados u horizontales, con recubrimientos inferiores a los 500 m. Se desarrolla la explotación con avance unidireccional de un módulo con un solo banco, donde se arranca el material estéril.	La maquinaria que se utiliza depende del volumen de reservas a extraer. El mineral es extraído desde el fondo de la explotación.
Terrazas	Sistema que desarrolla la explotación mediante banqueo con dirección unidireccional. Aplicado en yacimientos sub horizontales.	Alcanza importantes profundidades. Los equipos y sistemas mineros que se utilizan son muy variados, aplicando maquinaria convencional hasta cintas transportadoras.
Contorno	Sistemas ampliamente aplicados en yacimientos de carbón con capas tumbadas, de reducida potencia y topografía desfavorable.	Se excava el estéril y mineral en sentido transversal al afloramiento. Alcanza pocas profundidades, permitiendo usar el material estéril como relleno natural. Uso de maquinaria convencional.

Continuación Tabla 2.

Cantera	Son explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción.	Más común debido a la explotación de materias primas con fines de construcción. Explotación por banqueo con uno o varios niveles. Se presentan dos variables, canteras todo en uno y canteras con explotación cuidadosa en bloques.
Gravera	Explotación de materiales detríticos como las arenas y gravas.	Los materiales explotados se encuentran poco cohesionados. Arranque mecánico. Explotaciones en un solo banco. Profundidades pequeñas, máximo 20 m.

Nota: Minería a cielo abierto. Herrera. (2006)

4.4.2. Sistemas de explotación subterráneos

En la actualidad se presenta una gama variada de sistemas de explotación empleados en la minería subterránea y están en dependencia de diferentes parámetros y características técnicas. Por ejemplo, en la figura 2, se enlistan los sistemas de explotación subterránea en función del tipo de sostenimiento.

Figura 1. Sistemas de explotación subterránea según las necesidades de sostenimiento.



Nota: Introducción a la minería subterránea. (2020).

A continuación, se describen los sistemas de explotación subterráneos en función de las necesidades de sostenimiento (Herrera, 2020).

4.4.2.1. Cámaras y pilares. El sistema de cámaras y pilares es ampliamente aplicado debido a su bajo coste de explotación, a la vez que permite una explotación moderadamente selectiva, sumado a esto la capacidad alta de mecanización.

Los pilares se pueden diseñar con secciones transversales circulares o cuadradas (Herrera, 2020).

Figura 2. Sistema de cámaras y pilares



Nota: Introducción a la minería subterránea. (2020).

Se presentan tres variables del sistema de explotación cámaras y pilares, en la tabla 3 se pueden observar las variables y algunas características de importancia.

Tabla 3. Variantes del método de cámaras y pilares.

Potencia	Buzamiento < 7°	Buzamiento > 7°
< 10 m	Convencional	Escalonado
10 – 20 m	Convencional pasada múltiple	Escalonada pasada múltiple
> 20 m	Cámaras y pilares con subniveles Cámaras y pilares con relleno	

Nota: Cámaras y pilares. Pérez (2019)

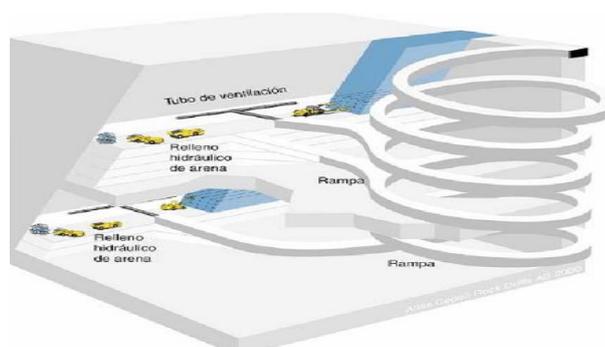
Las principales características donde suelen aplicarse el método de cámaras y pilares según Valenzuela (2023), son las siguientes:

- Cuerpos mineralizados mantiformes y de baja potencia.
- La calidad de la roca de caja y minera deben ser competentes.
- Se dejan pilares para mantener el techo y las paredes estables.

- Cuerpos mineralizados con potencias entre 10 y 30 metros.
- Dilución menor al 5%.
- Recuperación baja menor a 90%.
- Costo de producción de 10 – 25 USD/ton.

4.4.2.2. Corte y relleno. El sistema de corte y relleno es en forma de tajadas horizontales empezando del fondo del tajo y avanzando hacia el nivel inferior. Luego de cada corte de mineral y una vez que el mineral se extrajo completamente del tajo, se rellena con material estéril hasta llegar a una altura de perforación adecuada. De este modo, el relleno cumple dos funciones importantes, primero proporciona un nuevo piso para la perforación y segundo como sostenimiento de la labor (Guzmán, 2020).

Figura 3. Sistema de explotación de corte y relleno.



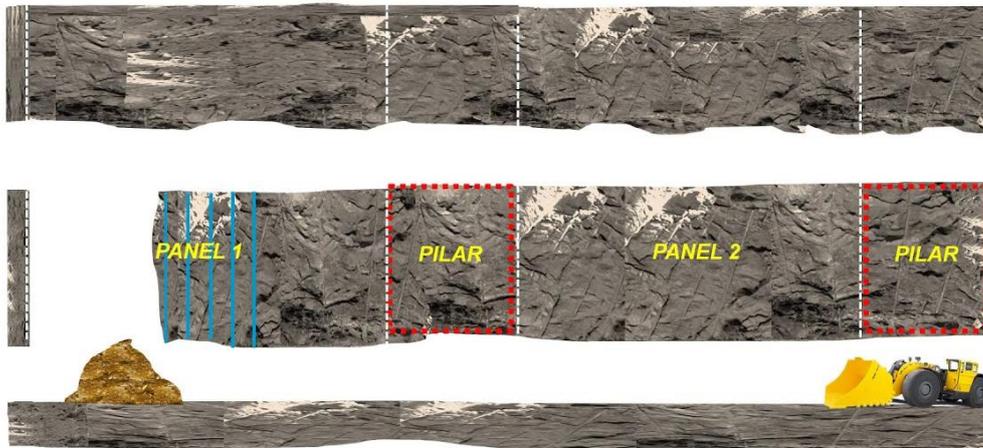
Nota: BSG Instituto. (2020).

Las principales características donde suelen aplicarse el método de corte y relleno según Rodríguez (2019) son las siguientes:

- Sistema más flexible.
- Buzamiento superior a los 50°.
- Aplicado en yacimientos con grandes longitudes.
- Profundidad hasta un máximo de 2000 m.
- Yacimientos de pequeña potencia, es decir, menores a 30 m.

4.4.2.3. Taladros largos. Se da forma ascendente o descendente, para ello, se construyen una rampa principal de nivel a nivel (aproximadamente cada 50 m), con la finalidad de efectuar subniveles de 7 metros cada uno. Los mismos llegan a ambos lados hasta comunicarse. Por uno de los extremos se perfora la chimenea slot, la cual genera la cara libre para comenzar con los taladros de producción y posteriormente la voladura de los bloques para la explotación del tajo o labor. La chimenea slot también se utiliza para generar el circuito de ventilación (Roig, 2020).

Figura 4. Sistema de explotación por taladros largos.



Nota: SEMINCO. (2021).

Ciertas características de importancia del sistema por taladros largos según Roig (2020), son las siguientes:

- Brinda mayor seguridad al personal
- No genera un excesivo consumo de sostenimiento
- Posee costos bajos, menor tiempo, y rendimiento en comparación con otros métodos de explotación
- Gracias a su característica se puede perforar taladros de 10 a 25 metros y hasta 40 metros dependiendo de la calidad de la roca y la geometría de la veta
- Alta adaptabilidad en vetas angostas y cuerpos pequeños e irregulares.
- El método permite que los tajeos sean de alta eficiencia (alta productividad), llegando a 50 toneladas por guardia en grandes tajeos.
- La recuperación de mineral puede ser superior al 90%, cuando es posible la buena recuperación de pilar.
- La dilución es generalmente baja y puede estar debajo del 20% para la mayoría de las operaciones

4.5.Fases del ciclo minero

El ciclo minero de desarrollo horizontal representa un conjunto de operaciones, excavaciones e infraestructura para el desarrollo de cruzados y conexiones en el nivel o frente de trabajo. Los desarrollos horizontales son los que presentan un gran número de operaciones y el mayor volumen de desarrollo dentro de una mina subterránea (Salvador, 2020).

En la figura 6, se visualiza un ejemplo de fortificación de galerías basada en la aplicación de pernos, mallas y Shotcrete, procedimiento aplicado comúnmente en las explotaciones subterráneas.

Figura 5. Ciclo de minado subterráneo horizontal.



Nota: Etapas del proceso productivo de una mina. (Canfield, 2012)

El ciclo de minado abarca una serie de operaciones de explotación denominadas operaciones unitarias, las mismas se describen a continuación.

4.5.1. Perforación

La perforación es una operación realiza en las explotaciones subterráneas con el objetivo de producir aberturas en el macizo rocoso, con una geometría definida y distribución regular en donde se colocarán las cargas explosivas para su posterior fragmentación (Enami, 2020).

La perforación de manera general se desarrolla en un ambiente húmedo esto para garantizar la calidad del aire, reduciendo el riesgo de exposición a gases tóxicos que puedan producir enfermedades. La inyección de agua adicionalmente favorece al barrido de mineral molido, refrigera las barras de perforación y ayuda en el sellado de las paredes.

Tipos de perforación. En el campo practico en función de las dimensiones de la explotación se pueden encontrar dos tipos de perforación, la perforación manual y perforación mecanizada.

Perforación manual. Operación donde los barrenos se realizan con ayuda de herramientas y equipos de dimensiones medianas que facilitan la perforación. Los equipos más

empleados son un martillo perforador manual, una unidad de potencia y empujadores (Epiroc, 2024).

Figura 6. Perforación con martillo perforador manual.



Nota: Revista de Seguridad Minera. (2024).

Perforación mecanizada. Perforación realizada con jumbos, que son equipos diseñados para trabajar en secciones medianas generalmente de 5x5 m, el fin principal de estos equipos es el avance de desarrollo horizontales. Estos equipos se integran de una o más maquinas perforadoras montadas sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico (Ise Academy, 2022).

Figura 7. Perforación mecanizada con jumbo.



Nota: Revista de Seguridad Minera. (2024).

4.5.2. Voladura

La voladura es un conjunto de técnicas cuyo objetivo es la fragmentación de la roca o el macizo rocosos, mediante el uso de explosivos. Los sistemas de iniciación de una voladura se conocen como detonadores, que inician la explosión (Cahuaya, 2020).

Explosivos empleados en la minería. Los tipos de explosivos mas comunes en la actividad minera según Lagos (2023), se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Explosivos más comunes en la actividad minera.

Explosivo	Descripción	Imagen
Pulverulentas	Explosivo a base de nitroglicerina, sensible al fulminante común. Esta dinamita se emplea en trabajos de minería superficial, subterránea o civil.	
Emulsiones	Es una mezcla de líquidos no miscibles denominados fases. La primera fase contiene el comburente, la segunda contiene los combustibles y agentes emulsificantes.	
Hidrogeles	Son explosivos a base de agua, tienen un desempeño con grandes ventajas en la seguridad, poseen alta velocidad de detonación, alta densidad generando poder de demolición y alta resistencia al agua.	
Anfos	Es un explosivo de alta potencia que consiste en una mezcla de nitrato de amonio y combustible derivado del petróleo.	

Nota: Tipos de explosivos. Lagos. (2023)

4.5.3. Ventilación

La ventilación interior mina representa un conjunto de actividades implementadas para conseguir un flujo de aire necesario para las condiciones aptas que los mineros necesitan, garantizando así la operatividad de las labores en un ambiente limpio, con temperatura y atmosfera idónea (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

4.5.4. Carguío y transporte

Esta operación permite cargar y transportar la roca o mineral luego de la voladura, antes de esta operación generalmente se riega con agua la zona para minimizar el polvo durante el desarrollo de la operación (Díaz, 2020). Referente a la operación de carga según Arriaga (2018), puede ser de dos tipos, los mismos se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Tipos de carga en minería.

Carga manual	Carga mecánica
Realiza por fuerza del hombre	Empleo de quipo mecánico
Bajo rendimiento	Es de alto rendimiento
Cada día se usa menos	Uso actual
Se efectúa como operación auxiliar o de limpieza de galerías	Principales elementos de cargue mecánico: - Pala cargadora -Scraper - Cargadora de brazos articulados - LHD o cargadoras de perfil bajo.

Nota: Carga y transporte minero. Castillo. (2020).

4.5.5. Limpieza

Posterior al proceso de voladura es indispensable que el material resultante sea limpia y evacuado a un lugar óptimo para continuar con el desarrollo de la labor minera. Según establece Castillo (2020), se pueden presentar dos tipos de limpieza, una manual y otra mecánica.

4.5.6. Sostenimiento

La actividad minera se considera de alto riesgo, debido a los riesgos a los cuales están expuestos los trabajadores mineros, atrapamientos, golpes, desprendimientos de rocas son los principales riesgos. Uno de los peligros que más accidentes mortales produce en el sector minero está relacionado al sistema de sostenimiento, generalmente debido al mal diseño ingenieril o condiciones naturales que producen daño en las estructuras de sostenimiento (Enami, 2020). Por ello, el departamento encargado del sostenimiento de labores internas en minería subterránea debe asegurar que el sostenimiento sea integro, garantizando un lugar seguro en el cual se pueda trabajar.

El sostenimiento según hace referencia a un conjunto de acciones y dispositivos aislados o estructura de diferentes materiales cuya misión será mantener abiertos los espacios en las labores mineras con una sección suficiente para el paso de personal, aire y maquinaria.

Uno de los principales objetivos del sostenimiento será proteger de accidentes a todo el personal minero que trabaje en una determinada labor (Ministerio de Minas y Energía, 2019).

Tal como establece Monsalve (2021), los accidentes geomecánicos son lesiones o muertes producidas por la inestabilidad del macizo rocoso, dentro de los principales tipos de inestabilidades se pueden mencionar las siguientes:

- Derrumbe
- Caída de bloques de roca

- Estallido de roca
- Deformaciones excesivas
- Influjo de agua
- Colapso de los elementos de soporte

Tipos de sostenimiento. En función de Enami (2020), los tipos de sostenimiento minero aplicados en las labores mineras son los detallados en la tabla 6.

Tabla 6. Tipos de sostenimiento aplicados en minería.

Tipos de sostenimiento	
Natural	Empleado cuando la roca del yacimiento es competente y resistente, por tanto, permite que las presiones mineras se distribuyan y no alteren el espacio abierto en el macizo rocoso.
Entibación	Tipo de sostenimiento que se caracteriza por el uso de madera, dispuesta de ciertas maneras, entre las más comunes destacan; la puerta alemana, vacilona, boca de pescado, tacos, canastas, cuadros y escaleras.
Fortificación	
Corresponde a un conjunto de operaciones que favorecen al estado de equilibrio de las labores mineras cuando su condición no es auto portante y presenta riesgos de accidentes geomecánicos, se utiliza principalmente el acero y se divide en fortificación rígida y arcos.	
Fortificación rígida	Corresponde al uso de elementos estructurales de acero, aportan mayor estabilidad a las labores evitando el movimiento de rocas, los más comunes son los pórticos.
Arcos	Son piezas metalizas que se disponen de tal manera que empalman unas con otras en sus extremos y se aseguran con tornillos o grapas.

Nota: Tipos de sostenimiento subterráneo. Enami. (2020)

Varios autores también definen dos tipos de sostenimiento en función del tipo de esfuerzo que se produce en el macizo rocoso. Estos son el sostenimiento activo y pasivo

Sostenimiento pasivo. Se caracteriza por ser aquel sostenimiento de soporte, que no ejerce esfuerzos sobre el macizo rocoso. De tal manera, desarrolla su capacidad resistente a medida que la roca se comienza a deformar (Epiroc, 2024).

Entre los elementos de sostenimiento activo según Compañía Peruana minera (2006), se destacan los siguientes:

- Malla

- Cimbras
- Cintas metálicas
- Shotcrete
- Cuadros de madera

Sostenimiento activo. Este tipo de sostenimiento se caracteriza por ejercer esfuerzos en el macizo rocoso, es decir, asume en lugares determinados las presiones ocasionadas por el terreno y que puedan producir un efecto de deformación (Epiroc, 2024).

Entre los elementos de sostenimiento activo según Compañía Peruana Minera (2006), se destacan los siguientes:

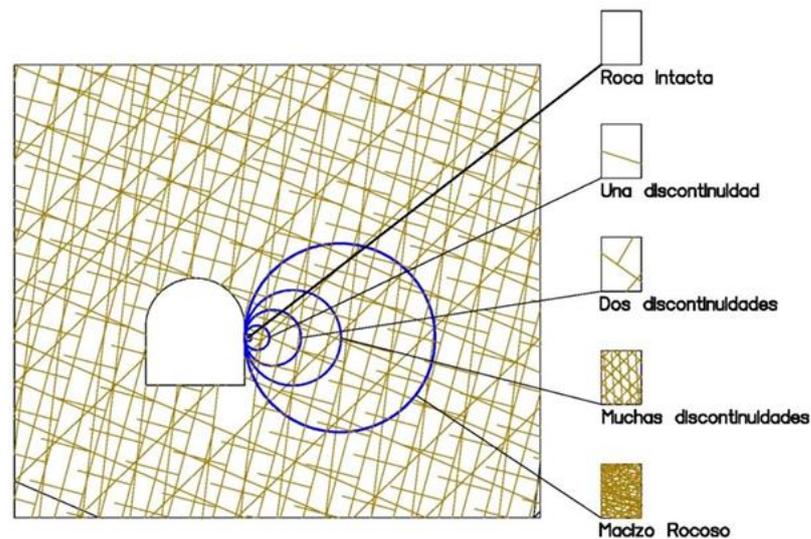
- Barra helicoidal
- Pernos de anclaje
- Pernos con resina
- Swellex
- Split set
- Cables

4.6. Caracterización geológica del macizo rocoso.

El macizo rocoso corresponde a un conjunto de bloques de matriz rocosa y un grupo de discontinuidades como fallas, juntas, planos de estratificación y pliegues. Por tanto, los macizos rocosos son de carácter discontinuo y heterogéneos, presentando una serie de propiedades tenso deformaciones de origen anisotrópicas y el efecto escala (Madariaga, 2015).

El efecto escala planteado por Cunha (1990) representa, la reducción de la resistencia y propiedades deformacionales de las rocas en función del incremento del volumen de la muestra. En dependencia de ello, la extrapolación de resultados en los ensayos realizados en un macizo rocoso solo tendrá validez si el volumen de la muestra que fue ensaya es de carácter representativa.

Figura 8. Efecto escala en los macizos rocosos



Nota: Clasificaciones geomecánicas. González. (2019)

En los casos donde el macizo de roca es competente, la predicción de la respuesta del macizo rocoso a las excavaciones o labores minera requieren de un conocimiento de todas las fuerzas, tensiones, desplazamientos y deformaciones (Madariaga, 2015).

4.7. Clasificaciones geomecánicas

Para la caracterización de un determinado macizo rocoso se emplean una serie de métodos empíricos fundamentados en clasificaciones geomecánicas, las mismas que se emplean para el diseño previo y estudios preliminares de labores mineras subterráneas (Madariaga, 2015).

Entre las variadas clasificaciones geomecánicas propuestas para el análisis de excavaciones subterráneas, se destacan la de Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Deere (1967), Wickham et al (1972), Barton (1974) y Bieniawski (1973).

4.7.1. RMR de Bieniawski

La clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating), fue postulada por el ingeniero Bieniawski en 1973 y ha sido objeto de varias modificaciones. Permite obtener una clasificación de las roca y macizos rocosos in situ, estimar el tipo y tiempo de mantenimiento, empleada comúnmente en varias ramas de la ingeniería civil para túneles, cimentaciones y taludes, dentro del campo de la minería se emplea para las galerías y demás labores mineras. Se compone de un índice de calidad de las rocas y un factor de corrección (González, 2019).

Los parámetros considerados para la clasificación geomecánica RMR según Madariaga (2015), son los siguientes:

- Resistencia a compresión simple de la roca.
- El RQD (rock quality designation).
- Discontinuidades.
- Espacio entre las discontinuidades.
- Presencia de agua.
- Orientación de las discontinuidades.

El valor de la clasificación RMR está comprendida entre un valor de 0 a 100, de este modo, si el valor es alto, la calidad de la roca será mejor. Los tipos de roca en función de la clasificación se describen en la tabla 7.

Tabla 7. Clases de macizos rocosos en función del índice RMR.

R.M.R.	81 – 100	61 – 80	41 – 60	21 – 40	< 20
Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala

Nota: Clasificación del macizo rocoso, Madariaga. (2015)

Cada uno de los tipos de macizos rocosos tienen ciertas condiciones y características propias según (Madariaga, 2015), se describen en la tabla 7.

Tabla 8. Significado de la clase de macizos rocosos según el índice RMR

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento	10 años para 5 m	6 meses para 4 m	1 semana para 3 m	5 horas para 1.5 m	10 min para 0.5 m
Cohesión (kPa)	> 300	200 - 300	150 - 200	100 – 150	< 100
Ángulo de fricción	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

Nota: Clasificación del macizo rocoso. Madariaga (2015)

Los parámetros de clasificación según González (2019), se detallan en la tabla 9.

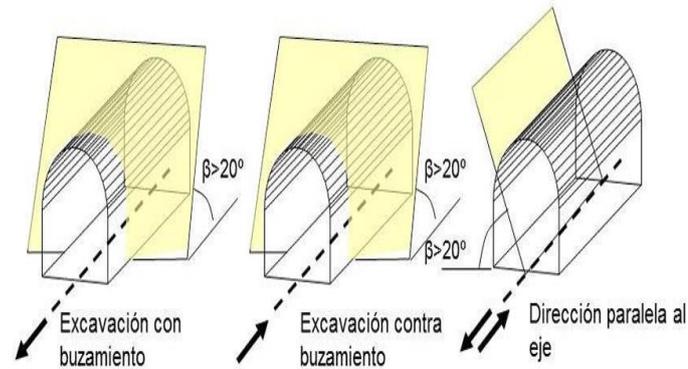
Tabla 9. Plantilla con los parámetros para el cálculo del RMR

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 a 4	4 a 2	2 a 1	Compresión simple		
		Compresión simple	> 250	250 a 100	100 a 50	50 a 25	25 a 5	5 a 1	< 1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	< 25		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
3	Separación entre diaclasas (m)		> 2	0,6 a 2	0,2 a 0,6	0,06 a 0,2	< 0,06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Longitud de la discontinuidad (m)		<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	> 20		
	Puntuación		6	4	2	1	0		
	Abertura (mm)		Nada	<0,1	0,1 a 1,0	1,0 a 5,0	> 5,0		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
	Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Ondulada	Suave		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
	Relleno (mm)		Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5		
	Puntuación		6	4	2	2	0		
	Alteración		Inalterada	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy alterada	Descompuesta		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 l/min	10 a 25 l/min	25 a 125 l/min	> 125 l/min		
		Relación presión de agua / tensión principal mayor	0	0 a 0,01	0,1 a 0,2	0,2 a 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables			
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12			
Orientación de las discontinuidades en el túnel									
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° a 20° cualquier dirección			
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento							
Buz. 45 a 90	Buz. 20 a 45	Buz. 45 a 90	Buz. 20 a 45	Buz. 45 a 90	Buz. 20 a 45				
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable			

Nota: Parámetros para la clasificación del macizo rocoso, González. (2019)

Adicionalmente, en la figura se describe la orientación de la excavación con relación a las capas.

Figura 9. Orientación de las excavaciones.



Nota: Clasificación del macizo rocoso. Madariaga. (2015)

La clasificación en función de Bieniawski también establece de forma implícita la forma de excavación y sostenimiento propicio para las excavaciones (Pérez, 2020). Esto se detalla en la tabla 10.

Tabla 10. Sistema de sostenimiento en función del índice RMR.

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunita	Cerchas
I 100 – 81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional	No	No
II 80 – 61	Sección completa. Avances de 1 – 1.5 m.	Bulonado local en calve, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2.5 m eventualmente con mallazo.	5 cm en clave para impermeabilización.	No
III 60 – 41	Avance y destroza. Avances de 1.5 a 3.0 m completar sostenimiento a 20 m del frente	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5-2 m en clave y hastiales. Mallazo en clave.	5 4 10 cm en clave y 3 cm en hastiales	No
IV 40 – 21	Avance y destroza. Avances de 1.0 a 1.5 m completar sostenimiento inmediato del frente, completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo.	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1.5 m cuando se requieran.

Continuación Tabla 10.

V ≤ 20	Fases múltiples. Avances de 0.5 a 1 m, gunitar inmediatamente el frente después de cada avance.	Bulonado sistemático de 5-6 m con separaciones de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo.	15-20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	Cerchas pesadas 0.75 m con blindaje de chapas y cerradas en solera.
Túneles en sección en herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 kp/cm ²				

Nota: Clasificación del macizo rocoso. Madariaga. (2015)

4.7.2. *Q de Barton*

La clasificación del macizo rocoso Q fue planteada en 1974 por Barton, en función de un análisis de datos recopilados de más de 200 túneles en los cuales considero la calidad de la roca en relación con el sistema de sostenimiento aplicado a lo largo de la excavación (Vega, 2018).

La clasificación permite caracterizar a los macizos rocosos en función del índice de Q, el mismo que se fundamenta en seis parámetros según Madariaga (2015), son los siguientes:

- RQD “Rock Quality Designation”
- J_n = número de familias juntas.
- J_r = rugosidad de las juntas.
- J_a = meteorización de las juntas.
- J_w = coeficiente reductor que tienen en cuenta la presencia de agua.
- SRF = representa el “Stress Reduction Factor”, un factor que depende de las tensiones presentes en el macizo rocoso.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

En dependencia del valor del índice Q se procede a catalogar los macizos rocosos tal como se detalla en la tabla 11.

Tabla 11. Tipos de macizos rocosos en función del índice Q de Barton.

Tipo de macizo rocoso	Índice Q de Barton
Excepcionalmente malo	10^{-3} a 10^{-2}
Extremadamente malo	10^{-2} a 10^{-1}
Muy malo	10^{-1} a 1
Malo	1 a 4
Medio	4 a 10
Bueno	10 a 40
Muy buena	40 a 100
Extremadamente bueno	100 a 400
Excepcionalmente bueno	400 a 1000

Nota: Caracterización geomecánica. González. (2019)

Adicionalmente, para estimar un sistema de sostenimiento, se debe considerar el Q del macizo rocoso y una valoración de la dimensión equivalente (De) de una determinada excavación, para ello se emplea la siguiente expresión matemática según Vega (2018):

$$De = \frac{Span (m)}{ESR}$$

El valor de la dimensión crítica de la cavidad (Span), hace referencia a la anchura, altura, diámetro o avance de la excavación.

Por su parte el ESR (excavation support ratio) representan un valor de seguridad que tiende a modificar el De en dependencia del tipo de excavación.

En la tabla 12 se describen los valores para cada tipo de excavación (Madariaga, 2015).

Tabla 12. Valores del índice ERS.

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal	2 – 5
B	Galerías mineras permanente, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión) túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1.6 – 2.0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1.2 – 1.3

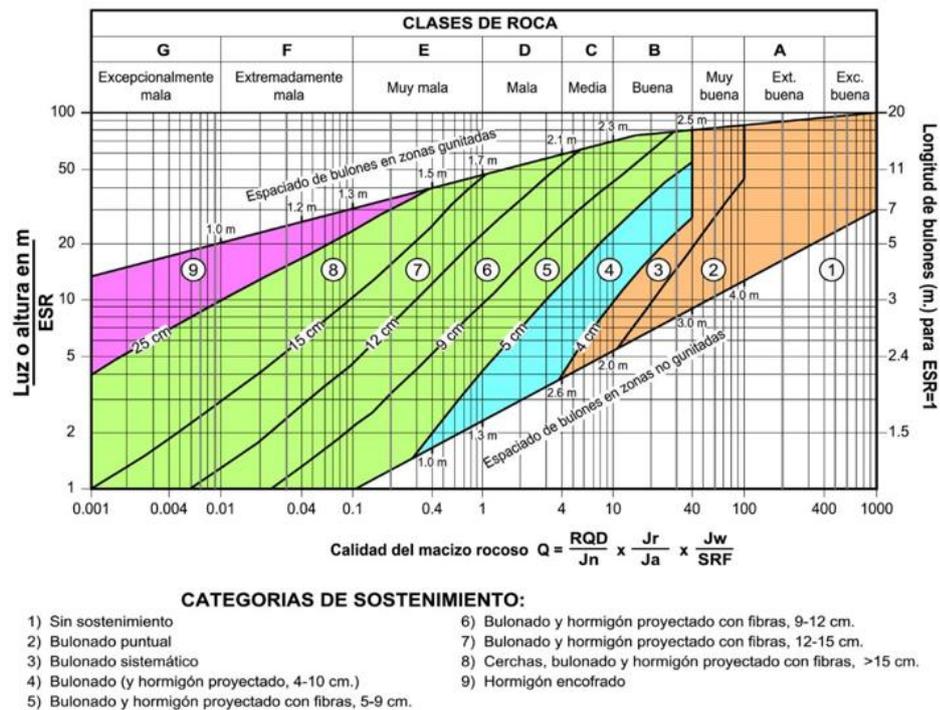
Continuación Tabla 12.

D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0.9 – 1.1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fabricas, túneles para tuberías de gas.	0.5 – 0.8

Nota: Caracterización geomecánica, González. (2019)

El sistema de sostenimiento en función del índice Q de Barton se determina en función del ábaco de la figura 10.

Figura 10. Sostenimientos según el índice Q



Nota: Caracterización geomecánica. González. (2019)

4.8. Pruebas QA/QC (Control de calidad)

En función de lo que establece la ISO 900:2005 referente a los “Sistemas de calidad, fundamentos y vocabulario”, se entiende por control de calidad (QC), a la parte de la gestión orientada al cumplimiento de los requisitos de calidad.

Por su parte, el aseguramiento de calidad (QA), hace referencia a la parte de la gestión orientada a proporcionar y garantizar la confianza en que se cumplirán una serie de requisitos de calidad.

Por lo tanto, en el contexto minero específicamente en el sostenimiento subterráneo, el control de calidad (Q_C) abarca un conjunto de actividades, operaciones y procedimientos enfocados a garantizar que los elementos de sostenimiento, materiales y procesos estén acordes a requisitos y estándares de calidad determinados por la empresa.

Por ende, la importancia de su realización recae sobre el rol que juega en la seguridad y reducción de riesgos debido a accidentes geomecánicos que se puedan presentar y que puedan perjudicar al recurso humano y material (Parra, 2020).

El control de calidad (Q_C) dentro de las excavaciones subterráneas inspeccionará y someterá a una serie de pruebas los principales elementos y materiales de sostenimiento como los pernos de roca, mallas, concreto proyectado (shotcrete), esto con la finalidad de acreditar que todos estos elementos cumplen con los requisitos y propiedades idóneas para soportar las cargas a las cuales estarán sometidos.

Adicionalmente, también se verifica que los procedimientos de instalación estén acordes al diseño y condiciones geomecánicas del macizo rocoso, garantizando de esta manera la operatividad para continuar con el avance de la excavación (Yanac, 2022).

Para garantizar la eficiencia de estas pruebas, es necesario capacitar a todos los actores involucrados, desde técnicos hasta ingenieros que estén inmersos en las actividades de mantenimiento, técnicas y uso de equipos para la recolección y análisis de datos. Esta eficiencia se logrará con la aplicación de programas sistemáticos para realizar las pruebas Q_A/Q_C (Inga, 2023).

En la tabla 13 se describen las principales pruebas Q_A/Q_C aplicadas en el contexto minero subterráneo, según Mendoza (2022) son las siguientes:

Tabla 13. Tipos de pruebas Q_A/Q_C

Prueba Q_A/Q_C	Descripción
Calidad del Shotcrete	Estas pruebas consisten en ensayos de compresión y flexión con la finalidad de valorar la resistencia mecánica del concreto proyectado después de su curación. Los ensayos se pueden complementar con pruebas de adherencia y penetración que permiten evaluar la densidad y uniformidad del shotcrete.
Prueba de anclaje y perno de roca	Se realizan ensayos de tracción para determinar la carga máxima soportada por los pernos y anclajes empleados en el sostenimiento. Adicionalmente, se verifica que el procedimiento de instalación sea el adecuado, así como de reportar cualquier daño o deterioro en la zona de trabajo.

Continuación Tabla 13.

Ensayo de cables y mallas	Para garantizar la resistencia y flexibilidad de los cables y mallas se someten los mismos a pruebas de tensión. Se complementa con inspecciones visuales para detectar cualquier daño en la integridad de los elementos de soporte.
Pruebas geomecánicas del macizo rocoso	Se realizan mediante ensayos de resistencia a la compresión (uniaxial y triaxial) y de corte para determinar el tipo de roca predominante en un macizo rocoso.
Prueba de presencia y calidad de agua	Análisis físico y químico del agua subterránea para determinar su potencial de corrosión, mismas que pueden afectar la integridad de los elementos de sostenimiento.
Inspección visual	Recorridos a lo largo de las zonas de estudio para detectar de forma temprana deterioros en los elementos de sostenimiento, empleo de tecnologías de vanguardia como fotogrametría y escaneo laser.

Nota: Pruebas de control de calidad. Mendoza. (2020)

5. Metodología

5.1. Área de estudio

LundinGold es una empresa canadiense que cuenta con 28 concesiones mineras metálicas y 3 concesiones de material de construcción en territorio ecuatoriano abarcando un total de 64 453 hectáreas (ha).

Específicamente, el estudio se centra en la concesión minera “Las Zarza”, dentro de ella se localiza la mina “Fruta del Norte”, actualmente una de las minas más importantes en cuanto a la producción de oro de alta ley en el mundo. En la figura 11 se puede visualizar un sobrevuelo de la mina “Fruta del Norte” realizado por la empresa.

Figura 11. Mina Fruta del Norte, localizada en la parroquia los encuentros, que cuenta con una superficie de 4 661. 92 hectáreas y es de titularidad de Aurelian Ecuador S. A



Nota: Proyecto Fruta del Norte, LundinGold. (2024)

5.1.1. Descripción del área de estudio

Los datos generales de la concesión minera “La Zarza” se describen en la tabla 14.

Tabla 14. Datos generales de la concesión minera "La Zarza"

Concesión minera Las Zarzas	
Nombre	La Zarza
Código	501436
Régimen	Minería a gran escala
Fase del proyecto	Explotación
Ubicación política	Provincia: Zamora Chinchipe Cantón: Yantzaza Parroquia: Los Encuentros
Ubicación geográfica	Se detallan las coordenadas en la tabla 14.
Superficie	4 661. 92 hectáreas (ha)
Titular	Aurelian Ecuador S. A

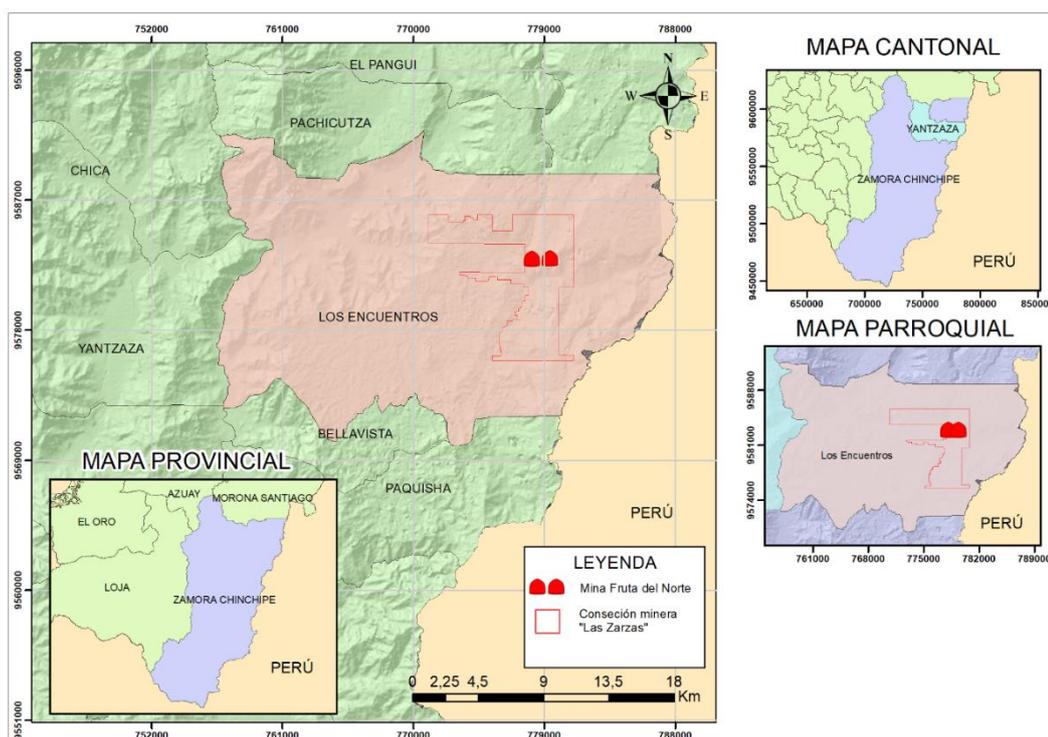
Nota: Concesión minera “La Zarza”. LundinGold. (2024)

5.1.2. Ubicación

La mina “Fruta del Norte” se encuentra ubicada geográficamente en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, parroquia Los Encuentros.

Dicha parroquia se encuentra en un camino de lastrado de 21 kilómetros que se conecta directamente con la mina. La ubicación se denota de manera detallada en la figura 12. Se puede visualizar de mejor manera en el anexo 1.

Figura 12. Mapa de ubicación de la concesión minera "La Zarza"



Nota: Informe de Exploración “Fruta del Norte”. LundinGold. (2022).

El yacimiento Fruta del Norte se encuentra dentro de la concesión “La Zarza”, las coordenadas se detallan en la tabla 15.

Tabla 15. Coordenadas de la concesión minera "La Zarza"

Datum	WGS84 (metros)				
Id	Latitud	Longitud			
PP	770737	9583631	7	780738	9575521
1	770740	9585625	8	775139	9575556
2	780736	9585623	9	775132	9575537
3	780733	9580628	10	775133	9575826
4	779746	9580622	11	775830	9575829
5	779743	9575935	12	775836	9576227
6	780729	9575910	13	775678	9576237
			14	775635	9576294
			15	775637	9576983

Continuación Tabla 15.

16	775636	9577177	43	777635	9580626
17	775722	9577231	44	777339	9580627
18	775734	9577317	45	777341	9580832
19	775717	9577425	46	776439	9580827
20	775837	9577427	47	776431	9581126
21	775835	9577827	48	775543	9581126
22	776036	9577831	49	775538	9581326
23	776036	9578026	50	774939	9581327
24	776136	9578028	51	774938	9581027
25	776137	9578227	52	774040	9581028
26	776239	9578232	53	774038	9581225
27	776237	9578307	54	773437	9581228
28	776838	9578329	55	773439	9581425
29	776839	9578725	56	772939	9581427
30	777137	9578731	57	772939	9581527
31	777136	9579025	58	772739	9581529
32	776938	9579030	59	772737	9581626
33	776937	9579325	60	777437	9581631
34	777238	9579331	61	777438	9581825
35	777241	9579521	62	777636	9581827
36	777338	9579530	63	777638	9581725
37	777339	9579627	64	777838	9581727
38	777439	9579629	65	777842	9582626
39	777433	9579928	66	777439	9582630
40	777536	9579930	67	777438	9583623
41	777536	9580027	68	771727	9583624
42	777636	9580027			

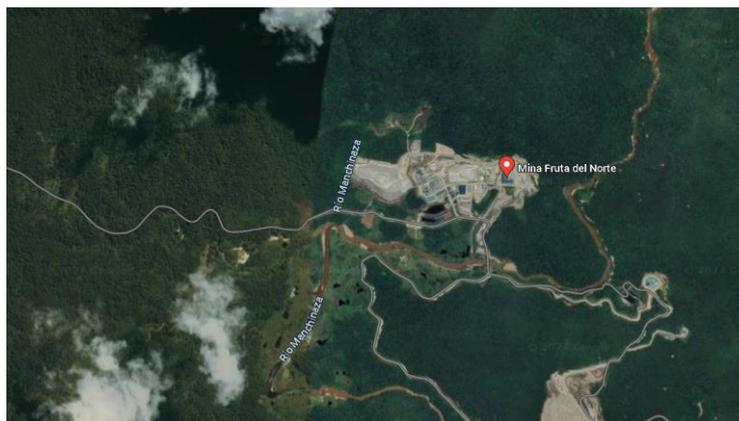
Nota: Geoportal. (2024).

5.1.3. Acceso

La mina FDN está situada a una distancia de 142 km en dirección este-noreste de Loja, una ciudad relevante en la región sur de Ecuador. El acceso principal se compone de una carretera pavimentada de 121 km (carretera 45) misma que conecta la parroquia Los Encuentros con el sitio de la mina por vehículos desde Loja.

La mina es accesible por un camino de lastrado de 21 km que se conecta directamente con las instalaciones de la FDN desde este punto. En la figura 13 se evidencia la ubicación de la mina y las vías de acceso principales.

Figura 13. Acceso a la mina Fruta del Norte



Nota: Google Maps. (2024).

5.2. Geología

Se analiza la geología bajo un contexto regional y local, las mismas se describen a continuación:

5.2.1. Geología regional

La concesión minera “La Zarza” se encuentra ubicada en la zona sub-Andina del Sur del Ecuador, con elevaciones que van desde 1400 a 2000 m.s.n.m, dentro de esta concesión se localiza el yacimiento epitermal de oro y plata (Au/Ag) Fruta del Norte. El mismo forma parte de una subprovincia metalogenética de cobre y oro de 150 km de largo de la era Jurásica, situado en la cordillera del Cóndor y zonas adyacentes del sur del Ecuador.

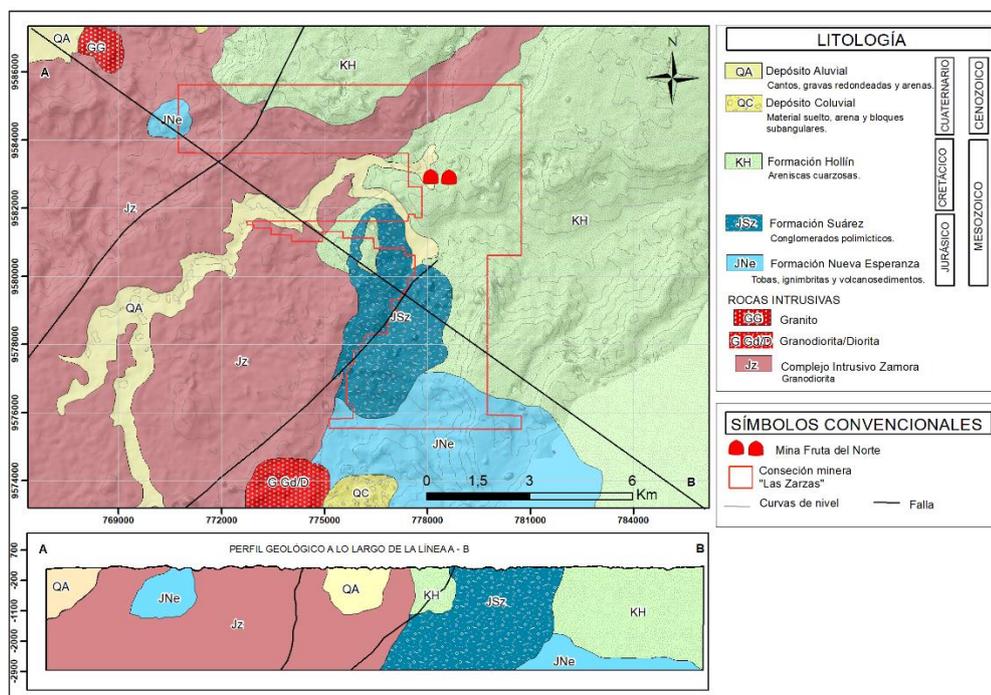
La cordillera del Cóndor colinda con rocas del basamento metamórfico del paleozoico al mesozoico de la cordillera Real al oeste. Por otra parte, al este se presentan unidades sedimentarias principalmente del mesozoico pertenecientes a la cuenca Santiago. Entre los dos, el compuesto tipo batolito Zamora (introducido entre 170 a 190 Ma), muestra un eje norte-noroeste de elongación que es paralelo a los Andes ecuatorianos, el batolito se considera como la expresión plutónica del arco magmático continental de subducción relacionada al Jurásico estableciendo en la margen occidental del cratón amazónico.

En los alrededores de FDN está formado por las fases de la monzonita, diorita y granodiorita con diques aplíticos, zonas de brechas y pórfidos locales. De los pórfidos destacan el de oro y cobre de Mirador pertenecientes al cinturón de cobre pórfido Corriente (Pangui) situado al norte de FDN. La formación Misuhualí y el batolito son discordantes rodeados con valores anormales de tipo mesa discontinuas de la arenisca de cuarzo pertenecientes a la formación Hollín con potencias de 110 m y frente a impresionantes escarpes verticales.

En la actualidad, el yacimiento FDN representa el sistema epitermal más extenso de la cordillera del Cóndor, caracterizado por una variedad de mineralización y alteraciones hidrotermales. El corredor mineralizador de la Cordillera del Cóndor y adyacente al cinturón de cobre Corriente se componen de yacimientos pórfido de cobre, Skarn de cobre – oro y epitermales de oro y plata. Algunos de los más importantes cercanos a FDN son: el Skarn de oro de Nambija, el yacimiento de cobre – oro del pórfido Mirador y sistemas epitermales de oro de Chinapintza y Jerusalén.

En la figura 14 se detallan las principales formaciones geológicas predominantes en la zona de estudio. El mapa a detalle se puede visualizar en el anexo 2.

Figura 14. Mapa de geología regional.



Nota: Informe de Exploración "Fruta del Norte". LundinGold. (2022).

5.2.2. Geología local

El yacimiento FDN se caracteriza por presentar una serie de formaciones geológicas que completan una geología local predominante, a continuación, se detallan las principales formaciones:

Formación Hollín

La formación Hollín perteneciente al Cretácico Inferior presenta areniscas que afloran como la meseta prominente que caracteriza la geografía de la Cordillera del Cóndor. Las mesetas generalmente presentan escarpes verticales con elevaciones de 1600 a 2400 m.s.n.m.

La estratigrafía exhibe una posición horizontal a su horizontal alcanzando un espesor de 100 a 110 m a lo largo de las partes altas de la meseta.

Esta importante formación consiste en areniscas de cuarzo con capas cruzadas agrupadas en intervalos de lutita y arenisca intercalada, con lutitas subordinadas con un espesor de 2 a 5 cm con lentes de lutitas oscuras. La formación esta inclinada por encima de la zona de falla “Las Peñas”, se considera el colapso de fragmentos y cortes sesgados de las mesetas de la Hollín para la distribución de trazas de roca prolíficas a través de la Cordillera del Cóndor y expresa el desarrollo horizontal de suelos arenosos delgados.

Formación Suárez

Esta formación se caracteriza por la secuencia volcano sedimentaria que cubren discordantemente a la formación Misahuallí, en esencia enterrando y preservando el sistema epitermal FDN. La litoestratigrafía de la formación Suárez se caracteriza por cuatro distintas subunidades, estas son: andesita Fruta, secuencia mixta (miembro superior), miembros de toba Machinaza y el conglomerado basal polimíctico.

La formación se limita a la cuenca separada que se extiende sobre un área de superficie de aproximadamente 14.4 km². El espesor máximo no se ha determinado, pero con las perforaciones cercanas a FDN donde se perforaron en vertical 500 m hasta atravesar la formación Suárez.

Cercanos a FDN los tipos de clastos típicamente son volcánicos a sub-volcánicos en apariencia, los conglomerados inferiores se encuentran por debajo y forman el límite oriental de la cuenca en toda la longitud. El miembro de toba volcánica como ignimbrita es de color gris a café, presenta importante susceptibilidad magnética.

La presencia de andesita Fruta demuestra la actividad volcánica intermedia. Existe una presencia de andesita Fruta no mineralizada y sin alteraciones la misma no se ve afectada por fallas próximas a FDN. Se presenta además un flujo de lava plagioclasa, de hornblenda masiva, demostrando la unión de columnas a lo largo de las orillas del río Machinaza y localmente interrelaciones de roca diorítica-monzonítica, similar al batolito de Zamora. Finalmente, la formación Suárez se interpreta como una secuencia de aluvial – fluvial que lleno una cuenca abierta, con movimientos horizontales en la zona de fallamiento de las Peñas.

Formación Misahuallí

La formación se caracteriza por una potente secuencia de andesitas basálticas plagioclasas y hornblenda de color verde grisáceo claro a verde oscuro, intrusivos andesíticos porfiríticos del feldespatos, zonas de brechas freáticas locales e intrusiones planas menores.

También se presentan areniscas volcanogenicas intraformacionales y otras brechas. En el yacimiento Fruta del Norte, la formación Misahuallí localmente aflora como rocas de paredes muy alteradas entre las cadenas de la zona de fallamiento de las Peñas. Se presentan también vetas calcedónicas y de carbonato de manganeso y stockworks, junto con brechas en la matriz, estos representan los principales indicios de mineralización en la superficie epitermal.

Unidades y diques andesíticos

Representa una unidad andesítica hornblenda afanítica de grano fino constituye la roca de caja predominante del yacimiento Fruta del Norte. Se han analizado rocas y presentan un conjunto de alteraciones de fuerte a intensa, propilítica de clorita epidota y carbonato piritita, además de una fuerte salificación. Esta alteración pervasiva es tan intensa que destruye algunas de las texturas originales volcánicas de las rocas. Por lo tanto, el tipo de roca predominante generalmente tiene textura afanítica. Las rocas volcánicas de grano fino se ven cortadas por diques de diorita porfirítica de grano grueso y un pórfido feldespático intrusivo. Los diques de diorita son masivos y con grano grueso, su potencia va desde menos de un metro hasta unas decenas de metros. Por lo tanto, el yacimiento Fruta del Norte, parece estar representado por una pila volcánica extrusiva con domos andesíticos en los cuales se presentan algunos diques de importancia.

Pórfido feldespático

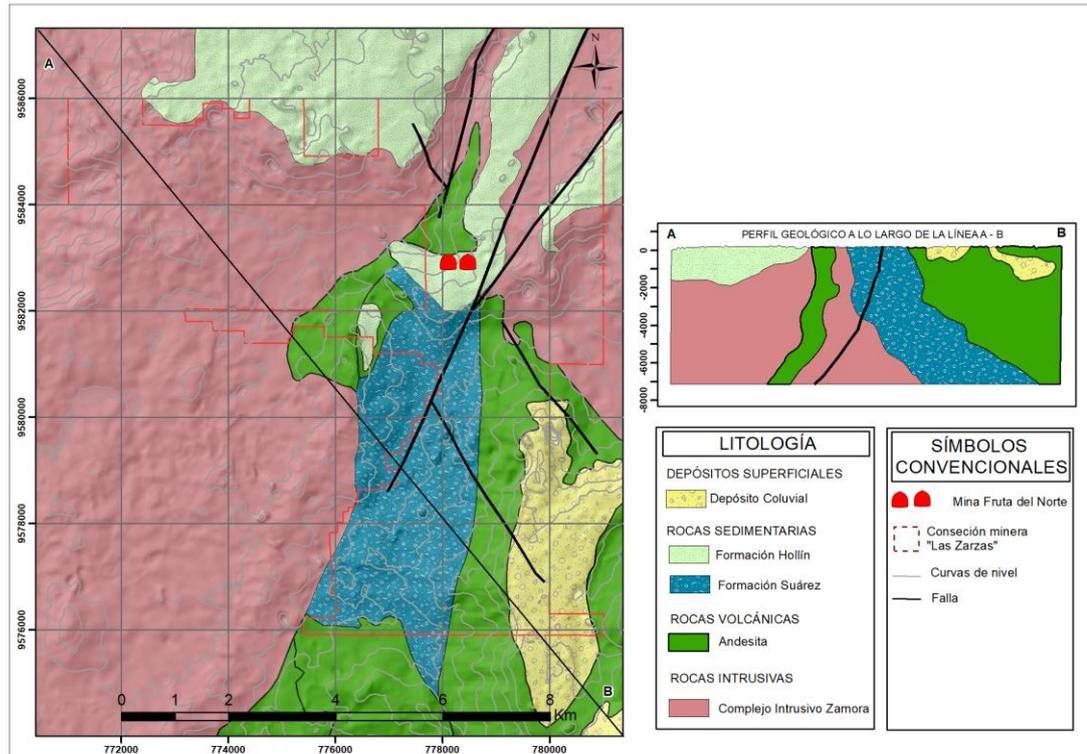
Corresponde a un Pórfido feldespático de grano medio y algunos diques de grano medio a grueso que flanquean a la formación Misahuallí. El pórfido también suele denominarse dacita con un color gris oscuro a claro, presenta una alteración illita – piritita a sílice – piritita, contiene fenocristales de plagioclasa como anfíboles y biotita en un 30 a 60% generalmente.

Batolito de Zamora.

Es la unidad geológica de mayor extensión y de mayor importancia debido a su metalogénesis que se relaciona directamente con el yacimiento de Fruta del Norte. Este batolito presenta una forma alargada que yace paralelamente en la Cordillera Andina del Ecuador a lo largo de 200 km y se adentra hacia el norte del hermano país de Perú. Se cataloga al batolito como tipo I comprendiendo fases que gradan entre diorita hornblendica, monzonita y sienita, además se ha identificado diques aplíticos y porfiríticos. El batolito también se encuentra delimitado por dolomitas y esquistos del Grupo Pucará del Triásico (en el Perú) y hacia el oeste por rocas metamórficas pertenecientes a las eras paleozoica y cretácea que dan origen a la

Cordillera Real. Cada una de las formaciones y unidades predominantes en la zona de estudio se describen en la figura 15. El mapa a detalle se puede visualizar en el anexo 3.

Figura 15. Mapa de geología local de la mina Fruta del Norte



Nota: Informe de exploración “Fruta del Norte”. LundinGold. (2022).

5.2.3. Reservas Minerales

En base a la clasificación CIM (2014), la empresa minera catalogo en reservas minerales probables y probadas, los valores se encuentran reflejados en la tabla 16. Se encontraron 10.75 millones toneladas con una ley de 9.95 g/t Au en reservas probadas

Tabla 16. Declaración de reservas minerales.

Categoría	Tonelaje	Calificación	Metal	Metal contenido de grado	
	(Mt)	(g/t Au)	(Moz de Au)	(g/t Ag)	(Moz de Ag)
Probado	10.75	9.95	3.44	11.6	4.00
Probable	7.23	6.81	1,58	11.2	2.60
Total	17.98	9.68	5.02	11.4	6.59

Nota: Informe de exploración “Fruta del Norte”. LundinGold. (2022)

5.3. Topografía

La topografía es una herramienta vital para un proyecto minero ya que proporciona datos precisos y concretos sobre el terreno del área de estudio, conocer la topografía superficial

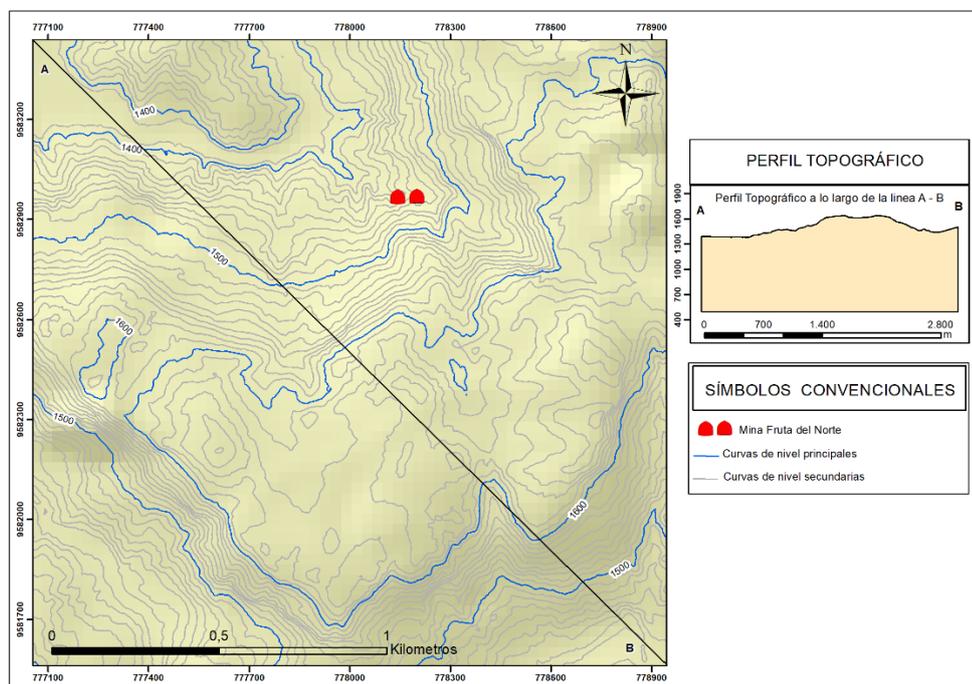
y subterránea facilita la planificación, diseño y operación de las labores mineras. Es por ello, que para el presente trabajo se considera la topografía superficial y subterránea, mismas que se detallan a continuación.

5.3.1. Topografía superficial

Para cartografiar la topografía superficial la empresa emplea métodos modernos como la fotogrametría con drones y sistemas GPS avanzados, a través de estos procedimientos se obtienen una serie de modelos digitales de elevación (DEM) los que son analizados posteriormente para entender el contexto topográfico de la zona de estudio. Específicamente la topografía del área de estudio se caracteriza por la presencia de terrenos montañosos y valles profundos. Uno de los beneficios importantes que determina la topografía, es la gestión de agua superficial y subterránea en la zona. Esta gestión permitirá la configuración del terreno tanto superficial como interior, de tal manera que se busca los sistemas de drenaje más idóneos.

En la figura 16 se visualiza la topografía de la zona de estudio. Se puede visualizar la topografía en el anexo 4.

Figura 16. Topografía superficial del área de estudio.



Nota: Informe de exploración “Fruta del Norte”. LundinGold. (2022).

5.3.2. Topografía subterránea

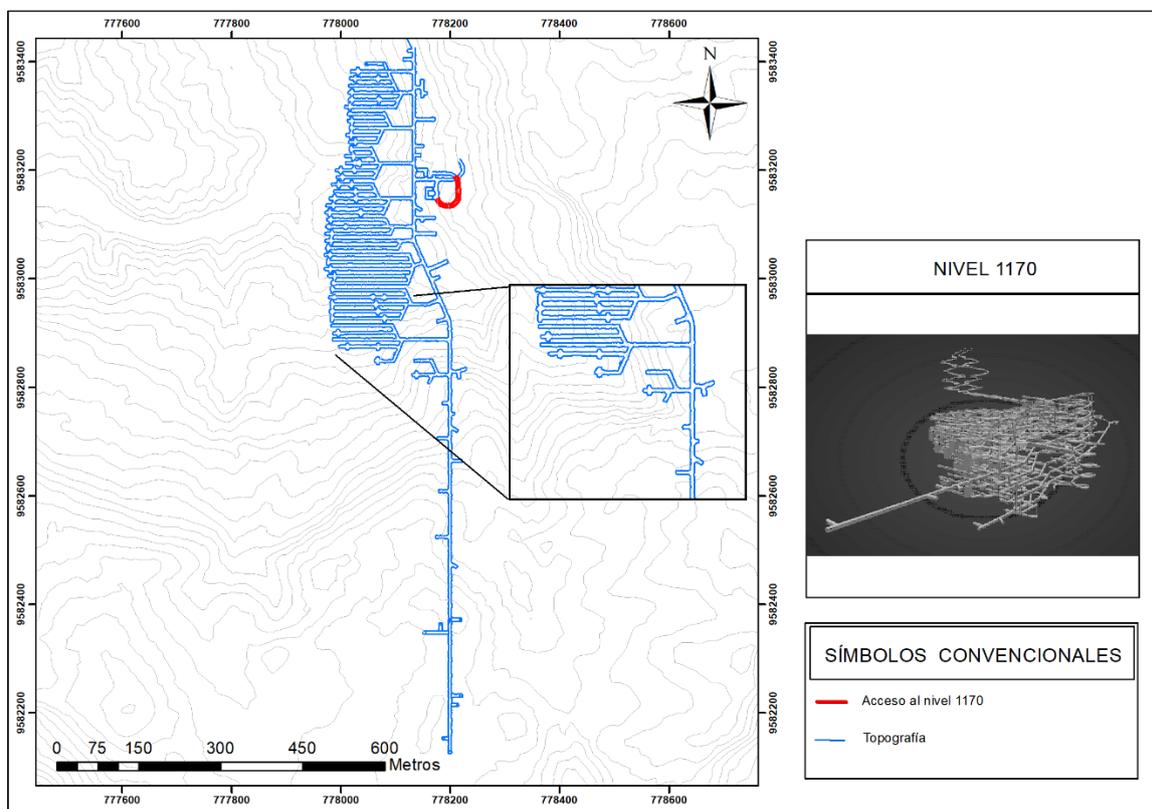
Con respecto a la topografía subterránea se obtiene mediante el uso de estaciones totales y sistemas GPS de alta precisión. Una gama variada de técnicas de levantamiento interno permite obtener una representación tridimensional detallada de las labores subterráneas, es así

como, se detallan las galerías, cámaras y demás estructuras subterráneas esenciales para el desarrollo de la explotación.

Otro aspecto importante en el levantamiento topográfico subterráneo a considerar son los collares de perforación y trayectos de los pozos, para garantizar la precisión en la toma de estos datos la empresa emplea equipamientos geodésicos como los modelos Trimble 5800 y Trimble R4, estos modelos aumentan la confianza geológica al orientar de manera precisa los agujeros de perforación.

El nivel interno de estudio corresponde al denominado “Nivel 1170 Sur” el mismo se detalla en la figura 17. Se puede visualizar la topografía en el anexo 4.

Figura 17. Topografía subterránea del área de estudio.



Nota: Informe de exploración “Fruta del Norte”. LundinGold. (2022).

5.4. Materiales y equipos

En la tabla 17 se describen todos los materiales y equipos empleados para el desarrollo del trabajo de integración curricular.

Tabla 17. Materiales y equipos

Materiales de campo	de	Equipos de oficina	Softwares	Equipo de protección personal
Brújula Brunton	tipo	Computadora portátil	Microsoft Word 2016 licencia propietario	Casco
Martillo geológico		Flash memory	Microsoft Excel 2016 licencia propietario	Orejas
Navaja de campo		Impresora	DeswikCAD 2023	Gafas
Ácido clorhídrico			Dips v7.016 con licencia de la empresa	Mascarilla
Cinta métrica			Unwedge 3.0 con licencia de la empresa	Guantes
Flexómetro			RS2 con licencia de la empresa	Overall rojo
Cámara fotográfica				Chaleco reflectivo
Libreta de campo				Cinturón de seguridad
Ficha de toma de datos				Autorescatador
Spray				Botas punta de acero
				Linterna

Nota: Elaboración del autor. (2024).

5.5.Procedimiento

El desarrollo del presente trabajo de integración curricular se fundamenta en un método cuantitativo, el mismo que integra una serie de actividades de campo y oficina descritas a continuación:

Actividades de campo. Estas actividades consisten en la visita al nivel 1170 Sur donde se realiza levantamientos geomecánicos, recopilación de información adicionales relacionados al sostenimiento del nivel como planos e informes, inspecciones in situ de los elementos de sostenimiento minero.

Actividades de oficina. En esta fase del trabajo se realiza el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en las pruebas realizadas en campo.

5.6. Metodología para el primer objetivo

“Analizar los datos de la caracterización del macizo rocoso utilizando la clasificación geomecánica utilizada en el Nivel 1170 Sur del Proyecto Fruta del Norte”

Para el desarrollo del primer objetivo se siguieron una serie de pasos, los mismos se detallan a continuación:

5.6.1. Recopilación de datos geomecánicos

El primer nivel del análisis del macizo rocoso es la recopilación de datos geomecánicos del Nivel 1170 Sur, el objetivo principal es determinar la calidad del macizo rocoso. En la figura 18 se visualiza el procedimiento para la recopilación de datos.

Figura 18. Procedimiento utilizado para la recopilación de datos geomecánicos



Nota: Elaborado por el autor. (2024).

El procedimiento sistemático para la recopilación de datos se describe a continuación:

Obtención de informes y documentos. Se procedió a compilar una serie de documentos e informes técnicos de los levantamientos geomecánicos realizados a lo largo del nivel 1170 Sur. En la gama variada de estos documentos se destacan estudios previos, resultados de perforaciones, informes de consultorías externas y ensayos, todos estos documentos permiten caracterizar geomecánicamente el Nivel 1170 Sur.

Validación de datos. Un trabajo en conjunto con el departamento de geomecánica garantiza una revisión para verificar la calidad y coherencia de los datos obtenidos de la litología presente en el área de estudio y propiedades físico-mecánicas de las rocas.

Análisis y preparación de datos. Una vez que los datos han sido recopilados y verificados, el siguiente paso en el procedimiento es el análisis.

Identificación de parámetros clave. En esta fase del proceso se identificaron los parámetros de importancia como la resistencia, ensayos de compresión uniaxial y triaxial, parámetros hidrogeológicos, discontinuidades y deformabilidad en la roca.

Normalización de datos. Este proceso consiste en la normalización de los datos para corroborar que los mismos sean uniformes en cuanto a escalas y unidades, esto se realiza con la finalidad de comparar y analizar de manera uniforme, para facilitar en una fase posterior la integración de los datos.

5.6.2. Análisis estadístico y geoespacial

Para agilizar el proceso de análisis se emplearon herramientas geoespaciales y estadística, además, se realiza el siguiente proceso:

Análisis estadístico. A lo largo del Nivel 1170 Sur se emplearon técnicas de zonificación geomecánica para determinar la calidad del macizo rocoso, en base al análisis se determinan de mejor manera las propiedades, el tipo y comportamiento de la roca en base a las condiciones internas en las labores mineras.

Mapeo geoespacial. Se procedió a mapear la distribución espacial de las propiedades geomecánicas en el nivel 1170 Sur.

El mapeo geoespacial representa una herramienta fundamental para la minería subterránea, ya que proporciona información detallada y precisa sobre las estructuras subterráneas. Permitiendo mejorar la planificación y el diseño de mina.

De manera general el mapeo se realiza empleando una serie de softwares detallados en la tabla 18.

Tabla 18. Softwares empleados para el análisis geoespacial.

Software	Descripción	Imagen
LeapFrog	Es un software empleado para la simulación y modelaje de cuerpos geológicos.	
DeswikCAD	Representa un software de dibujo asistido por computadora, se enfoca en proporcionar soluciones para la planificación y operación de minas. Permitiendo el diseño detallado de estructuras o labores mineras.	
Paquete Rocscience	Corresponde a un conjunto de softwares especializados, principalmente se empleó RS2, Unwedge y Dips.	

Nota: Softwares mineros y geológico. Capterra. (2024).

5.6.3. *Aplicación de las clasificaciones geomecánicas Q de Barton y RMR de Bieniawski*

Para determinar el tipo de roca a lo largo del nivel 1170 Sur, se aplicó las clasificaciones geomecánicas, específicamente el Q de Barton (1974) como criterio principal, RMR de Bieniawski (1989) y el índice de resistencia geológica (GSI), como criterio complementario.

La clasificación de Q de Barton caracteriza al macizo rocoso en base a varios factores que involucran las propiedades físicas y estructurales de la roca, adicionalmente considera los factores ambientales que puedan alterar la calidad de la roca. Una vez determinada la clasificación se pudo entender el comportamiento de la roca ante la excavación y definir el sistema de sostenimiento más adecuado en función de la calidad determinada.

Para obtener la clasificación geomecánica de manera general se siguen los siguientes pasos:

Aspectos generales. El sistema de clasificación geomecánica permite la integración de factores generales para proporcionar una clasificación precisa de la calidad de la roca.

Sistema Q de Barton. En función del índice Q de Barton se evaluó la calidad del macizo rocoso considerando una serie de parámetros como el tamaño de los bloques, las discontinuidades y esfuerzos subterráneos.

Sistema RMR (1989) de Bieniawski. El índice RMR de Bieniawski permitió evaluar la calidad del macizo de roca, determinando si es una roca mala, media y buena. Para esta caracterización se consideran parámetros como la resistencia, las discontinuidades, el tipo de excavación y las condiciones hidrogeológicas internas.

Se utilizó la correlación en base al índice Q de Barton $RMR = 9 \ln(Q) + 44$

Índice de Resistencia Geológica (GSI). A partir de la correlación de RMR a GSI ($GSI = RMR_{89} - 5$) se obtuvo los datos de calidad de roca como datos complementarios

Clasificación general. En combinación de las clasificaciones geomecánicas se pudo determinar la clasificación de las zonas internas, que van desde pobre hasta buena, permitiendo una visión más clara del tipo de roca donde se trabajara. Esto es de vital importancia para el diseño e implementación del sistema de sostenimiento.

5.7. Metodología para el segundo objetivo

“Establecer las características del sostenimiento actualmente colocado en el Nivel 1170 Sur”

Con el objetivo de establecer las propiedades y características del sostenimiento actualmente colocado en el nivel 1170 Sur en la mina Fruta del Norte, se llevó a cabo un procedimiento integrado de los siguientes pasos:

5.7.1. Recopilación de datos

Se investigó una gama variada de documentación relacionada al sostenimiento del nivel 1170 Sur, la documentación se compone de planos, informes y registros técnicos. De forma complementaria, se analizan estándares de sostenimiento y normativa vigente de índole local e internacional que pueda influir en el diseño e implementación del sistema de sostenimiento.

Inspección in situ. A fin de verificar el estado actual del sistema de sostenimiento se visitó y se recorrió el nivel de estudio para examinar las condiciones actuales e identificar cualquier daño o riesgo potencial que se presente en el sostenimiento.

El desarrollo de las visitas técnicas se fundamenta en inspecciones visuales a todos los elementos inmersos en el sostenimiento como son: los pernos de anclaje, estado del shotcrete y la integridad física de las mallas.

Finalmente, las visitas técnicas e inspecciones in situ permitieron identificar las zonas que presenten rasgos de corrosión, deformación, fragmentación o cualquier otra anomalía que pueda llegar a comprometer el sostenimiento actual.

Registro fotográfico. Empleando cámaras fotográficas de alta resolución se reporta visualmente a través de imágenes todas las áreas claves de sostenimiento, que puedan presentar algún daño o desgaste visible en la integridad de los elementos.

Las imágenes fueron tomadas desde diferentes ángulos con el fin de cubrir todas las perspectivas posibles y no pasar por alto detalles de importancia. De manera contigua también se capturan videos que aportan una visión dinámica del sostenimiento actual, permitiendo observar el comportamiento de todos los elementos de sostenimiento bajo condiciones propias de las excavaciones internas.

Las imágenes y videos se identifican con la ubicación de la captura, fecha y hora, esta información es relevante para el control sistemática y facilitar de esta forma el análisis posterior de cada captura tomada.

Como parte final se realiza un registro escrito con las observaciones detectadas en las visitas técnicas y el registro fotográfico. Dentro de estas anotaciones se describieron las zonas alteradas, posibles causas del deterioro, intensidad del daño y las medidas de mantenimiento oportunas para evitar mayores daños y percances al momento de la continuidad de la excavación.

5.7.2. Descripción del sostenimiento actualmente colocados en el Nivel 1170 Sur

Para el proceso de descripción durante las visitas técnicas al nivel 1170 Sur, se emplearon hojas de cálculo como se muestra en la tabla 19. Esta tabla permitió una evaluación sistemática de cada elemento de sostenimiento, permitiendo entender la condición actual y planificar la toma de decisiones ante los daños presentados en el sistema de soporte.

Tabla 19. Parámetros utilizados para describir y evaluar el sostenimiento dentro de mina

Hoja de campo					
Elemento de sostenimiento	Material	Parámetros técnicos de instalación	Condición actual	Ubicación	Observaciones
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Nota: Elaboración del autor. (2024).

Para describir y clasificar los elementos actuales de sostenimiento se lleva a cabo los siguientes pasos:

Identificación de elementos. Mediante inspecciones visuales y recorridos técnicos a lo largo del nivel 1170 Sur se identificaron los elementos de sostenimiento presentes como: hormigón lanzado, pernos helicoidales y fibra, se complementa la información con planos y mapas de la mina para garantizar que se cubran todas las áreas.

Registro de información. Todos los elementos identificados se registraron en la tabla 19, acotando la ubicación, tipo, material y estado actual del elemento de sostenimiento.

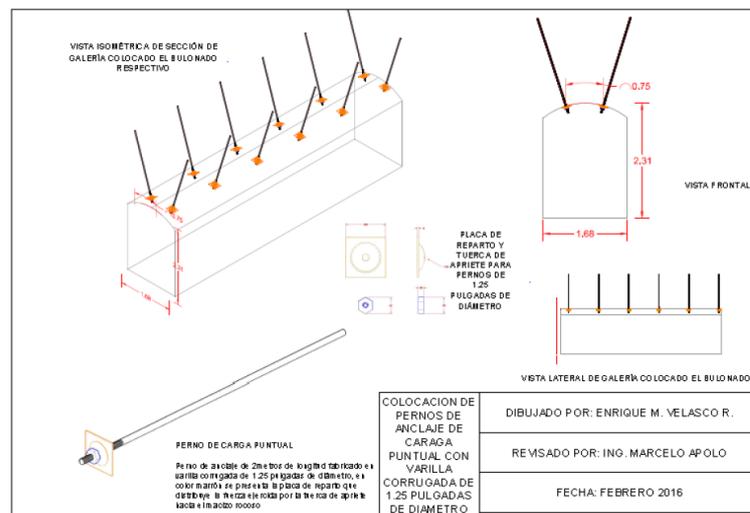
Evaluación del estado actual. En cada elemento de sostenimiento se evaluó la presencia de desgaste, corrosión, deformaciones o cualquier otro signo de deterioro. Cada elemento se categorizará en función de su estado.

Observaciones. Las observaciones adicionales relevantes como magnitud del daño, posibles causas del deterioro, sugerencias y medidas para futuras inspecciones se colocaron en la última columna de la tabla 19.

5.7.3. Diseño de secciones con los elementos de sostenimiento

El resultado de las inspecciones físicas y observaciones en el interior del nivel 1170 Sur enfocándose en los elementos de sostenimiento se verán reflejados en secciones donde se incorporan las características, observaciones y análisis de cada uno de los elementos en función de la calidad del tipo de roca y su sistema de sostenimiento idóneo. Un ejemplo de las secciones se visualiza en la figura 19 donde la finalidad es describir la sección y sus elementos de sostenimiento característicos.

Figura 19. Sección ejemplo de los elementos de sostenimiento.



Nota: Sostenimiento subterráneo. Álvarez. (2018).

Para el diseño de cada una de las secciones se procede con los siguientes pasos descritos a continuación:

Análisis de información. Una vez que se ha finalizado con las inspecciones físicas al nivel 1170 Sur y se registró fotográficamente todos los elementos y zonas de interés, fue necesario analizar toda esta información recopilada para proceder al diseño de cada una de las secciones.

Diseño de planos. Para el diseño se utilizaron softwares tipo CAD para crear cada una de las secciones con un nivel de detalle importante, considerando las medidas estándar para cada uno de los elementos de sostenimiento. El software empleado es AutoCAD en su versión 2023.

La primera fase del diseño es la importación de todos los datos, es decir, medidas y observaciones analizadas en campo. De igual manera, en cada sección se empleará código de colores para diferenciar las zonas en función de su estado, por ejemplo, para aquellas zonas

malas se usará un color rojo, zona media un color amarillo y finalmente zonas buenas representadas por el color verde.

Detalle de elementos y condiciones. En cada sección se denotará la información técnica de cada elemento de sostenimiento como la ubicación de los elementos de sostenimiento, esto incluye, a los pernos de anclaje, mallas electrosoldadas y shotcrete. En cada elemento se incluye su estado actual, en función de las observaciones y resultados de los análisis geomecánicos.

Documentación adicional. Cada sección incluirá una leyenda donde se explica los símbolos y colores empleados, adicionalmente, se incluyen todas las observaciones y recomendaciones. Se incluirán las fotografías tomadas en cada zona a estudiar.

Revisión y validación. Cada sección se someterá a revisiones técnicas por parte de los ingenieros del área de geomecánica de la empresa LundinGold, esto con la finalidad de que sean secciones fiables y con datos precisos.

Finalmente, las secciones realizadas se comparan en campo para asegurar que se integran los datos tomados en campo y el estado actual del sostenimiento.

5.8. Metodología para el tercer objetivo

“Realizar pruebas Q_A/Q_C al sostenimiento de acuerdo con la calidad de roca en la zona de estudio, para el mejoramiento del tipo de sostenimiento”

La importancia de realizar pruebas Q_A/Q_C control de calidad son fundamentales para garantizar la efectividad y seguridad con relación a las operaciones y labores mineras subterráneas. A continuación, se detalla el procedimiento general para la realización de este tipo de pruebas.

5.8.1. Procedimiento general para realizar pruebas Q_A/Q_C

Planificación y preparación. En esta fase de planificación se definen los objetivos de las pruebas de control y calidad (Q_A/Q_C), se consideran parámetros importantes como la seguridad, estabilidad y durabilidad del sostenimiento actual. Además, se verifica que el procedimiento de las pruebas este acorde a estándares y normas nacionales e internacionales. Finalmente, se elaboran procedimientos sistemáticos que incluyan las operaciones a realizar, personal involucrado, equipos necesarios y criterios de validación de datos.

Pruebas de materiales. Se establecieron las pruebas de control de calidad y los elementos a los cuales se someterán, por ejemplo; en los pernos de anclaje se realiza la prueba de tracción necesarias para determinar la capacidad de anclaje, carga y resistencia.

Por otro lado, en el concreto proyectado o Shotcrete se realizó la denominada prueba de espesor, la misma que permitirá definir si el ancho del shotcrete está acorde a las especificaciones técnicas establecidas en su diseño.

Revisión en campo. Se realizaron recorridos a lo largo del nivel 1170 Sur, la finalidad es identificar los elementos de sostenimiento que presentes señales de daño y registrarlos fotográficamente.

Documentación. Se mantuvo un registro controlado de cada elemento analizado con las pruebas Q_A/Q_C y sus resultados a través de hojas de cálculo. De igual manera, se detalla de forma escrita mediante informes los resultados, cualquier no conformidad y observaciones al momento de realizar las pruebas.

5.8.2. Prueba Q_A/Q_C pull Test

Una vez analizado el procedimiento general para las pruebas de control y calidad, a continuación, se detalla el procedimiento específico para la prueba denominada pull test.

Descripción de la prueba. La prueba de control y calidad de tracción o denominada también “Pull Test” permite garantizar que los pernos de roca como swellex, helicoidales (22 mm), split set y cables rígidos (25 mm) cumplan con las cargas máximas soportadas. Esta prueba cumple un rol importante dentro de las labores de sostenimiento, permitiendo reducir cualquier lesión, daño o costo relacionada con las fallas en el sistema.

Materiales y equipos. Para el desarrollo de la prueba pull test es necesario contar con los siguientes materiales y equipos descritos en la tabla 20.

Tabla 20. Materiales y equipos de la prueba "Pull Test"

Materiales	Equipos y maquinaria
Equipo de protección personal	Tekehandler / camión tijera
Barra para desate	Camioneta 4x4
Linterna, cámara, lápices, pintura spray.	
Monitor de gases (de ser necesario)	
Hojas de información de campo	
Barricada de segregación de actividad o conos	
Equipo de tracción	

Nota: Reporte técnico. LundinGold. (2024).

Equipo de protección personal. La prueba se realizará en el interior de la mina subterránea “Fruta del Norte” específicamente en el Nivel 1170 Sur, por ende, es indispensable contar con el equipo de protección personal (EPP) para evitar cualquier incidente o accidente al momento de los ensayos. El equipo de protección personal se compone de los siguientes elementos detallados en la tabla 21.

Tabla 21. Equipo de protección personal.

Parte del cuerpo a proteger	Equipo de protección personal
Cabeza	Casco minero Ansi/Isea Z89 Protectores auditivos Lampara minera
Cara	Respirador para media cara con filtros para material particulado Gafas claras
Manos	Guantes acordes al análisis de riesgo (AST)
Pies	Botas de protección de metatarsiano
Cuerpo	Overol Cinturón minero Auto rescatador

Nota: Reporte técnico. LundinGold. (2024).

En la figura 20 se visualiza el equipo de protección personal para desarrollar la prueba “Pull Test”, es importante mencionar que el mismo equipo se empleará en la prueba “espesor de Shotcrete”.

Figura 20. Equipo de protección personal para las pruebas Q_A/Q_C . Se emplea equipo de protección para: cabeza, cara, manos, pies y cuerpo, que ayudan a prevenir incidentes dentro de las zonas de trabajo.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

Procedimiento de la prueba. El procedimiento para la prueba “Pull Test” se describieron en los siguientes pasos.

Chequeo del equipo pull test (checklist). Se procedió a realizar en superficie un chequeo del equipo “Pull Test” y todos los equipos auxiliares que permiten el desarrollo de la prueba. Para cumplir con el chequeo se llenan matrices de control como la que se representa en la tabla 22.

Tabla 22. Matriz para el chequeo del equipo de tracción.

Proyecto / ubicación	FDN	FECHA	
Descripción	Si	No	Observación
Cilindro			
Muestra golpes, raspados o abolladuras notorias que afecten a su funcionamiento			
La manija de agarre tiene sus pernos de sujeción funcionando			
El embolo se observa limpio y se ve engrasado interiormente			
La cinta metálica agarradera que envuelve al cilindro para el anclaje de cadena o eslinga de seguridad está en buen estado			
La conexión y acoples hacia la maguera se observa en buen estado.			
Presenta fugas de aceite hidráulico.			
Bomba hidráulica			
Muestra golpes, raspados o abolladuras notorias que afecten a su funcionamiento			
Manómetro en buen estado, sin fugas, mantiene visibilidad, estado del vidrio			
Palanca de ejerción de presión operativa, pernos de agarre del mango			
La conexión y acoples hacia la maguera se observa en buen estado.			
Presenta fugas de aceite hidráulico.			
Manguera de aceite hidráulico			
Manguera limpia que permita revisar su condición a detalle.			
Muestra golpes, deterioro, dobleces que puedan causar fugas de aceite			
Conexiones acopladas hacia el cilindro y bomba en buen estado			

Continuación Tabla 22.

Eslingas y mosquetones
Los mosquetones tienen certificación
Mosquetones y eslingas sin fisuras, grietas, cortes o deformaciones.
Mosquetones sin señales de golpes
Eslingas y mosquetones sin corrosión
Los seguros de bloqueo de los mosquetones se abren y cierran fácilmente
Eslingas sin deformaciones o dobladuras.
Barra / tuerca / acoples
Hilos de barra R32, tuerca del sistema y acoples a hilo 32 mm sin desgaste, corrosión o deterioro.
Barra sin doblez o torcedura mayor que afecte a la trabajabilidad del sistema
Adaptador omega con resorte, cuña interna, empaque y rosca de cierre en buen estado (indicar el número de pruebas realizadas con el resorte y con la rosca interna, máximo 10 y 100 pruebas respectivamente.)
Mesa o castillo de apoyo
La mesa presenta deformaciones mayores que afecten a su superficie de trabajo
Otras herramientas
Estado de desgaste, operatividad de llave inglesa, martillo geológico, cepillo, lijas, placa y anillos de apoyo.

Nota: Reporte técnico. LundinGold. (2024).

Inspección del área de trabajo. Dentro del nivel 1170 Sur es indispensable segregar e inspeccionar las áreas de trabajo, este proceso se realiza para precautelar la seguridad al momento de realizar las pruebas de control de calidad. Por ende, una vez segregada el área, se debe verificar que la misma se encuentre ordenada y limpia para evitar cualquier percance.

Montaje e instalación del equipo para la prueba “Pull Test” en pernos cortos (swellex, helicoidales y split set). Como actividad previa se debe verificar que el área de trabajo designada para realizar la prueba se encuentre segregada por la barricada o cenefa de seguridad. Adicionalmente, para el traslado de la caja de almacenamiento del equipo desde superficie hasta la zona de prueba, en todo momento se deberá movilizar entre dos personas, esto en dependencia del peso de los equipos que en total ronda los 30 kg.

También se debe verificar que los pernos a ensayar cumplan con los requisitos mínimos necesarios para el ensayo, si se presentan algunas irregularidades en la zona del perno a ensayar

con ayuda del martillo geológico se procede a nivelar esta superficie. Estas recomendaciones técnicas son necesarias para realizar la prueba bajo condiciones seguras.

Parámetros técnicos que considerar en cada tipo de perno.

Perno swellex: comprobar que el cabezal de inyección se encuentre intacto y el perno instalado en su totalidad.

Perno helicoidal: verificar que la varilla este expuesta máximo 15 cm y su placa en contacto total con la superficie, además, verificar el estado de los hilos.

Perno split-set: corroborar que el collar de prueba este correctamente instalado y el perno no presente daño alguno en el cabezal.

Procedimiento general para montar el equipo de tracción. Para proceder al montaje del kit de tracción se deberá seguir el siguiente procedimiento detallado a continuación:

- 1) Se comienza por instalar la mesa de nivelación ajustable, con cuidado se ajusta las patas de soporte de manera que quede nivelada y paralela al perno a ensayar. Posterior a ello se sujeta con una eslinga de seguridad directamente en la malla o un perno cercano.
- 2) Se instala el cilindro hidráulico junto con la tuerca de retención, de igual manera con ayuda de eslingas se asegura.
- 3) Una vez sujetado el montaje se ajusta la tuerca de retención a la barra de conexión manualmente con ayuda de una llave inglesa #18. Al finalizar el ajuste el montaje quedara ajustado por el perno.
- 4) Sujetar las mangueras hidráulicas con eslingas de seguridad entre sus puntos de acople.
- 5) Como medida de seguridad todo el personal involucrado en las pruebas deberá estar a 1.5 m en sentido contrario al péndulo una vez que inicie la carga y posterior a la despresurización del equipo de tracción.
- 6) Inicia la carga con el equipo de tracción hasta un máximo de 15 ton.
- 7) Una vez finalizada la prueba, se descarga el cilindro hidráulico, de manera cuidadosa y paulatinamente se retiran las piezas restantes, siempre se debe verificar la disminución de la presión en los manómetros del equipo y el ingreso del embolo a su posición original.

Montaje e instalación del equipo para la prueba “Pull Test” en pernos cables.

Previo a realizar la prueba igualmente se considera las mismas condiciones de seguridad

establecidas anteriormente, segregar la zona con eslingas y quitar las imperfecciones en la superficie con ayuda del martillo geológico.

Parámetros técnicos a considerar

- Verificar que la cola del cable este entre 0.6 m a 0.8 m fuera del macizo rocoso.
- Señalar los pernos cables instalados con el fin de facilitar su identificación de otros anclajes en la zona de estudio.
- Cerciorarse que la cola del cable esté libre de residuos producidos por el hormigón proyectado, en caso de presencia se deberá limpiar con un cepillo de cerdas de acero.

Procedimiento del equipo de tracción

- 1) En primera instancia se coloca la placa de apoyo en la superficie del macizo rocoso, verificando que la carga aplicada se distribuya de forma uniforme.
- 2) Se coloca el cilindro de seguridad de aluminio.
- 3) Instalar el gato de tensionamiento.
- 4) Colocar el cilindro de tensionamiento con su cuña interna previamente lubricados.
- 5) Se coloca la placa plana de sujeción para evitar que el cilindro de tensionamiento se remuerda con el embolo del cilindro hidráulico.
- 6) Asegurar el gato hidráulico y la mesa niveladora con las eslingas de seguridad individuales.
- 7) Como medida de seguridad el personal encargado de la prueba estará a 1.5 m.
- 8) Se inicia el proceso de carga en el equipo, hasta un máximo de 15 ton.
- 9) Se verifica la disminución de la presión en los manómetros del equipo una vez comienza la descarga del cilindro hidráulico.
- 10) Se procede a retirar la tapa de seguro del cilindro de tensionamiento.
- 11) Se coloca los elementos a la parte superior y sujetar para que no retroceda con un candado o sujetador de cable.
- 12) Desacoplar la cuña del cono del cilindro tensor con un golpe en los bordes

Montaje e instalación del equipo para la prueba “Pull Test” en pernos rígidos largos. De igual manera como en los pernos anteriores, se verifica que los mismos estén acordes a las condiciones óptimas para iniciar la prueba, adicionalmente, se limita la zona con cintas de seguridad y se limpia la superficie de trabajo con el martillo geológico.

Parámetros técnicos a considerar

- Verificar que la cola del perno helicoidal este entre 0.4 m a 0.6 fuera del macizo rocoso.
- Señalar los pernos a ensayar para identificarlos de otros elementos de sostenimiento.
- Cerciorarse que la cola del cable esté libre de residuos producidos por el hormigón proyectado, en caso de presencia se deberá limpiar con un cepillo de cerdas de acero.

Procedimiento del equipo de tracción

- 1) Colocar la placa de apoyo en el macizo rocoso, para asegurarse de que la carga aplicada se distribuya de manera uniforme.
- 2) Instalar la mesa de nivelación de tal manera que quede nivelada y paralela al perno a ensayar.
- 3) Instalar el gato hidráulico.
- 4) Colocar la placa plana de sujeción tras el cilindro hidráulico para distribuir de manera regular las presiones ejercidas.
- 5) Ajustar el sistema de retención de la tuerca de forma manual con ayuda de la llave inglesa #18.
- 6) Cerciorarse de que el gato hidráulico y la pesa niveladora estén asegurados con eslingas de seguridad y estén sujetos a un perno de roca cercano o malla electrosoldada más cercanos.
- 7) Verificar que la distancia de seguridad del personal este a 1.5 m en sentido contrario al efecto péndulo cuando de inicio la prueba.
- 8) Comenzar la carga del equipo del pull test hasta un máximo de 15 ton.
- 9) Se descarga el cilindro hidráulico y se comienza a retirar cuidadosamente todas las partes del equipo, es importante revisar la disminución de la presión con ayuda de los manómetros.

Procedimiento post – prueba. Cuando la prueba termine en su totalidad, se deberá seguir las siguientes recomendaciones técnicas descritas a continuación:

- Una vez que la presión ejercida por el equipo haya salido en su totalidad del sistema, de manera obligatoria, dos miembros del equipo deberán retirar

cuidadosamente el equipo de tracción. Para ello se inicia el desacoplamiento del sistema iniciando con la tuerca y finalizando con el adaptador.

- Retirar las eslingas y cadenas de seguridad una vez que el equipo este bien sujeto o en la plataforma de trabajo.
- Pintar un círculo con pintura spray alrededor del perno que se ensayó, esto como un identificativo de que se realizó la prueba.
- Es importante no desconectar las mangueras hidráulicas de los acoples para evitar contaminación de boquillas o desperdicio de aceite.
- Se deberá limpiar y mantener seco el equipo para prepararse para una prueba posterior, se detectarse cualquier daño en el equipo se debe anotar y reportar al supervisor de turno para la reparación pertinente.
- Cuando se realice la prueba en pernos split sets se cortará el cabezal del perno de roca para recuperar el collar de la prueba de tracción, siempre y cuando esto sea posible.
- Para los pernos omega y swellex se deberá tener mayor precaución al momento de retirar los acoples, esto para evitar cualquier incidente por caída de objeto. Para ello se debe dar golpes indirectos al acople.

Tabla 23. Tabla de comprobación de aprobación o fallo de la prueba de tracción.

Perno	Capacidad según fabricante (Tn)	Ø perno (mm)	Capacidad aprobación (Tn; a fallo)	Capacidad de aprobación	(tn; especificado en diseño)	Presión equivalente aprobación (Bar)	Presión equivalente sacrificio (Bar)
Helicoidal 25 mm	21	25	32	22		600	875
Perno Cable 15.2 mm	24	15.2	25	18		480	680
Helicoidal	20	22	20	15		420	480
Split Set 39 (2.4m)	8	39	8	7		130	240
Split Set 46 (2.4m)	12	46	12	10		170	240
Swellex PM12	12	27	12	9		240	300
Swellex PM16	6	6	16	12		440	480

Nota: Reporte técnico. LundinGold. (2024).

Procesamiento de datos. Los resultados obtenidos en la prueba se registrarán en hojas de cálculo adecuadas para las pruebas de tracción, en estas hojas se encontrará toda la información necesaria para determinar la carga máxima y cualquier carga residual medida al momento de realizar la prueba. Adicionalmente, los resultados obtenidos deberán compararse con la tabla 23 para verificar si el perno ensayo aprobó o falló la prueba.

Cierre del área de trabajo. Una vez que la prueba finalice en su totalidad, se debe verificar que el área de trabajo quede limpia y ordenada. Para ello, se retiran todas las herramientas y equipos empleados durante el transcurso de la prueba, además, todos los residuos generados se dispondrán en los puntos de acopio autorizados.

5.8.3. Control de espesor del concreto proyectado (Shotcrete)

Descripción de la prueba. La prueba de control de calidad denominada “control de espesores de Shotcrete” permite determinar si el espesor de instalación en el terreno cumple con los espesores de diseño y las especificaciones técnicas analizadas en la etapa de planificación. La finalidad es evitar cualquier lesión, daño o costo excesivo por las fallas producidas en el hormigón lanzado.

Materiales y equipos. Para el desarrollo de la prueba de control de espesores de Shotcrete se emplean una serie de materiales y equipos detallados en la tabla 24.

Tabla 24. Materiales y equipos de la prueba de control de espesores de shotcrete

Materiales	Maquinaria y equipos
Broca	Taladro manual
Pintura spray	
Flexómetro o varilla de medición en cm	

Nota: Reporte técnico. LundinGold. (2024).

Procedimiento de la prueba de control de espesores de Shotcrete. Es importante acotar que la medición de espesores deberá realizarse solo en áreas donde no se interfiera con el ciclo minero, para ello, una vez asignada el área de trabajo la misma deberá segregarse con cintas o conos de seguridad.

- 1) Durante el proceso de instalación de los pernos Boltec, el supervisor geomecánico direcciona al operador del equipo para que perfore cuatro veces de manera aleatoria el macizo rocoso, se considera intervalos de 1.5 m en sentido de avance

con 10 de longitud. Finalmente, las cuatro perforaciones se deberán identificar con un spray.

Figura 21. Perforaciones con bulnadora Boltec S. de mediano perfil con alcance del brazo máxima de 7 m y una longitud de perforación de 2.4 metros, ubicado en el frente de la galería principal del nivel 1170 Sur.



Nota: Proyecto FDN LundinGold. (2024).

- 2) Una vez que las perforaciones terminaron y verificando que no se interrumpa el ciclo minero se procede a medir los agujeros identificando el contacto entre hormigón y roca. Si la perforación a medir sobrepasa los 1.80 m será necesario emplear los equipos de levante y cumpliendo con todas las normas de trabajos en altura.

Figura 22. Marcación de la medición obtenida del espesor en el hastial derecho de la galería del nivel 1170 Sur.



Nota: Proyecto FDN LundinGold. (2024).

- 3) En caso de no contar con el equipo Boltec para la perforación de los agujeros, el proceso se realizará con una perforación manual con ayuda de un taladro Hilti. Las perforaciones se realizarán de dos maneras en dependencia de la altura, las mismas se detallan en la tabla 25.

Tabla 25. Perforación manual para el control de espesor de Shotcrete.

Altura < 1.80 m	Altura > 1.80 m
Realizar cuatro perforaciones en intervalos de 1.5 m en sentido de avance, dos perforaciones en el hastial derecho y dos en el hastial izquierdo.	Empleando el equipo de levante y cumpliendo las normas de seguridad, se realizan cuatro perforaciones con intervalos de 1.5 m en sentido de avance y diferente zona horaria.

Nota: Reporte técnico. LundinGold. (2024).

La profundidad de las perforaciones siempre debe ser verificada hasta encontrar el contacto entre hormigón y roca, posterior a ello se realiza la medida del espesor.

Figura 23. Taladro para perforación manual marca Hilti.



Nota: LundinGold. (2024).

Tabla 26. Datos técnicos del taladro perforación manual marca Hilti

Datos Técnicos	
Potencia	850 W
Voltaje	230 V
Revoluciones bajo carga 1º velocidad	750rpm
Percusiones bajo carga	4080 imp/min
Energía de impacto	3.3 J
Rango óptimo de perforación de concreto	1/2 - 3/4 pulgadas
Rango total de perforación de concreto	3/16 -1 pulgadas
Dimensiones (L*An*AL)	379*93*213 mm

Nota. Tomado de Hilti. (2024).

- 4) Con relación a la calidad del macizo rocoso y el espesor de hormigón a cumplir según establecía en primera instancia el diseño del sistema de sostenimiento, se procede a realizar la medida y se marca la perforación con la condición encontrada, es decir, si cumple la medida estándar se coloca la señal de “OK”, caso contrario de no cumplir se coloca “X”. En caso de presentarse 2 o más perforaciones que no cumplan con la medida estándar se debe informar al equipo de geomecánica para que procedan con las labores de recapeo.

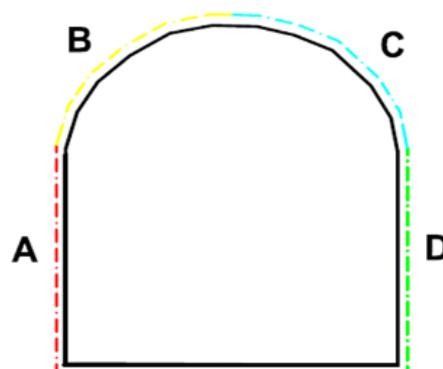
Figura 24. Medición del espesor de shotcrete con varilla centimétrica, en donde se indica que el espesor utilizado cumple con las características requeridas del macizo rocoso.



Nota: LundinGold. (2024).

- 5) Una vez que la prueba se ha realizado, se debe elaborar reportes con todos los resultados obtenidos y recomendaciones técnicas a tomar en cuenta.

Figura 25. Diagrama de ubicación de espesores medidos en campo, se divide la galería en cuatro secciones(A,B,C,D), en donde indica el espesor de shotcrete de cada sección



Nota: LundinGold. (2024).

Entrega y cierre del área de trabajo. Cuando haya terminado la prueba de control de espesores de Shotcrete, se debe verificar que el área quede totalmente limpia y ordenada retirando todas las herramientas, equipos y residuos que se produjeron al momento de desarrollar la prueba.

6. Resultados

En el presente proyecto de Integración Curricular, los resultados se desarrollaron en función de los objetivos establecidos, que se describen a continuación.

6.1. Resultados para el primer objetivo

“Analizar los datos de la caracterización del macizo rocoso en base a la clasificación geomecánica utilizada por el Proyecto Fruta del norte en el Nivel 1170 Sur”.

6.1.1. Descripción de la zona de estudio

El área de estudio se delimitó al nivel 1170 Sur, como se muestra en la figura 26. Este nivel tiene una extensión de 1218.20 m, con orientación Norte-Sur, y se inicia en la rampa denominada Kisa, que proporciona acceso a la maquinaria, materiales y personal de trabajo.

En términos de estructura y accesibilidad al nivel, se cuenta con rampas internas que conectan a los niveles adyacentes. La rampa hacia el nivel 1195 permite el ascenso hacia las áreas de conexión a niveles superiores y servicios, mientras que la rampa hacia el nivel 1155 permite el descenso hacia los sectores inferiores de la mina.

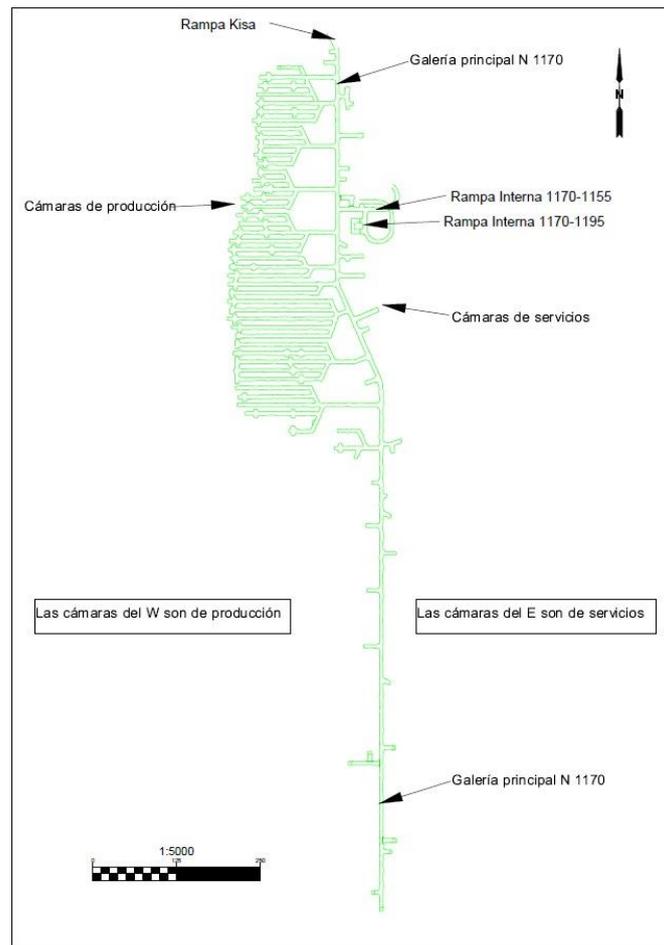
La galería principal del nivel 1170, cuenta con una sección transversal de 5 m de ancho por 5.50 m de alto de forma abovedada y su función es la de permitir el tránsito de maquinaria pesada y el movimiento de trabajadores garantizando la eficiencia operativa del nivel

La distribución de los espacios contempla dos zonas mencionadas a continuación:

Cámaras de producción (Oeste-W). En esta zona de explotación se implementa el sistema de explotación por tiros largos con una producción de 4400 tpd y una dilución planificada del 8%.

Cámaras de servicios (Este-O). En esta zona se incluyen cuartos eléctricos para el control de energía, bodegas de almacenamiento de herramientas y materiales, chimeneas de ventilación, sumideros de manejo y control de agua y otros fluidos.

Figura 26. Vista en planta del nivel 1170 Sur.



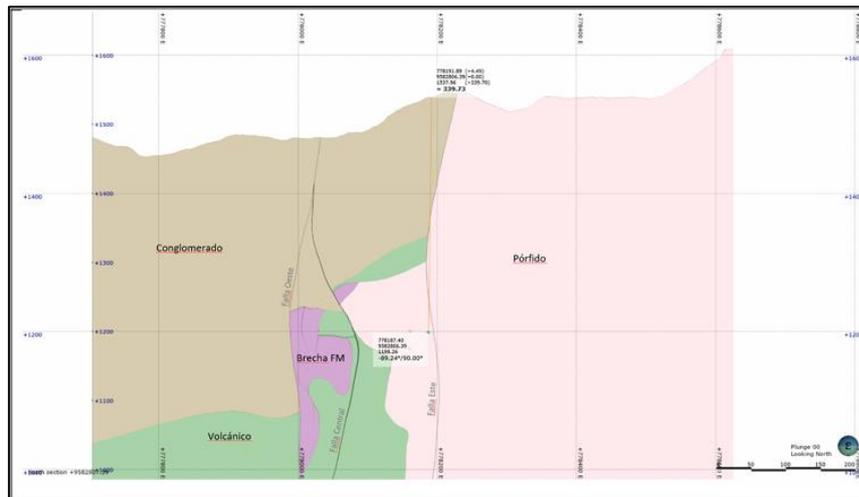
Nota: LundinGold. (2024).

6.1.2. Caracterización de la masa rocosa

Para realizar la caracterización se consideran algunos aspectos geológicos de importancia como aspectos litológicos, distribución y características de las discontinuidades, estos aspectos se describen a continuación:

6.1.2.1. Aspectos litológicos. En función de modelamiento litológico que dispone el área de geología de la mina Fruta del Norte, se extraen las litologías predominantes y características relacionadas al nivel 1170 Sur. En la figura 27 se muestra la distribución espacial de las litologías. Características de cada litología se describen en el anexo 10.

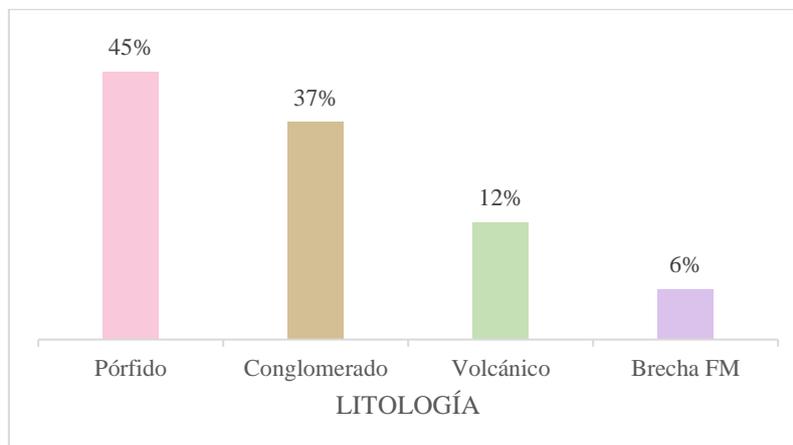
Figura 27. Perfil geológico relacionado al nivel 1170 sur.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

Adicionalmente se realiza un análisis estadístico que permite determinar cuál es la roca predominante en el nivel 1170 sur, caracterizada por el pórfido. Este análisis se visualiza en la figura 28.

Figura 28. Litologías predominantes en el nivel 1170 sur, el pórfido esta presente en un 47%, siendo la litología más predominante, conglomerado se encuentra en un 37%, volcánico en 12% y brecha FM en un 6%.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

A lo largo de la galería principal N 1170 que tiene una extensión de 1214.50 m, se identificaron las siguientes litologías, durante el levantamiento geológico realizado.

Porfido de feldespato. Se identifica un pórfido de feldespato, con una alteración tipo argílica, caracterizada por la presencia de minerales arcillosos como illita y esméctica. (ver figura 29)

Figura 29. Porfido de feldespato



Nota. La figura a presenta vetillas milimétricas de cuarzo calcedonio y esta mineralizada con pirita primaria en un 5% de la muestra, en la figura b presenta pirita primaria en 10 % de proporción.

Roca freatomagmática. Se evidencia el hallazgo de rocas freatomagmáticas, caracterizada por una matriz fina, se observa que se ha producido una alteración silicea y presenta minerales como pirita, marcasita, arcillas illita y paragonita (ver figura 30).

Figura 30. Roca freatomagmática



Nota. En la figura a las plagioclasas han sido reemplazadas por sílice, en la figura b la textura de los clastos esta reemplazada por arcillas y en la figura c se aprecia una litología freatomagmatica con stockwork de cuarzo calcedonia.

Brecha hidrotermal. Se observa una brecha hidrotermal con alteración silica y textura coloforme - crustiforme, los minerales incluyendo cuarzo calcedonio, pirita y marcasita están presentes de forma diseminada en las vetas y vetillas con disposición laminar (ver figura 31)

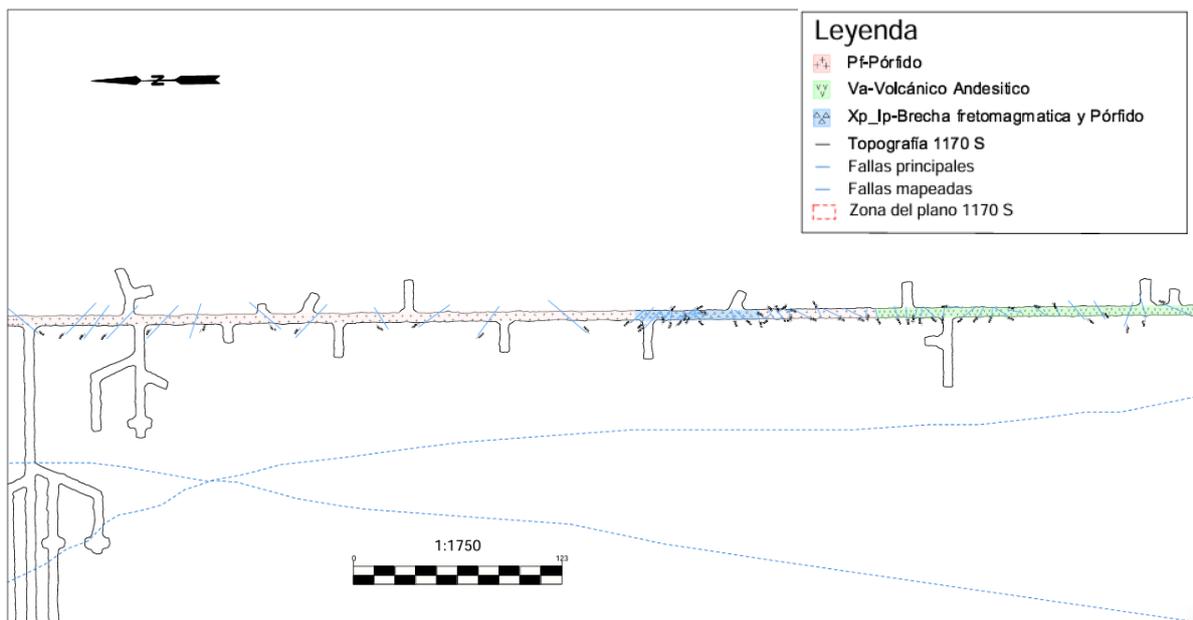
Figura 31. Brecha Hidrotermal



Nota: Elaboración del autor. (2024).

En base a la información de la litología presente en la galería del nivel 1179, se elaboró el mapa geológico local que se muestra en la figura 32 y anexo 7

Figura 32. Mapa geológico local del nivel 1170



Nota: Elaboración del autor. (2024).

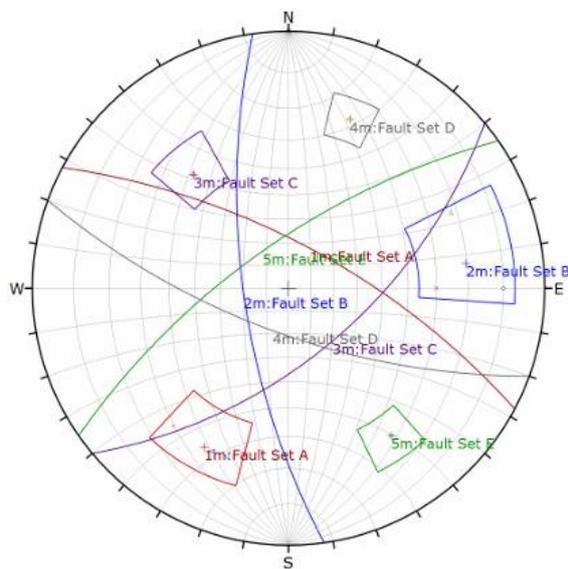
6.1.3. Distribución de discontinuidades.

Para la evaluación espacial se realizó un mapeo estructural del nivel 1170 Sur, esto con el fin principal de corroborar la presencia de fallas Este, Oeste y la falla Central, estas son las fallas principales que influyen en el proyecto minero. Este análisis permite obtener la orientación de las discontinuidades en el sector de estudio. Las discontinuidades tomadas en campo se visualizan en el anexo 13.

Para el procesamiento de los datos se empleó el software DIPS perteneciente al paquete rockscience, en la figura 33 se visualiza la distribución de las discontinuidades.

Se diferencian cinco sistemas de discontinuidades, tres son principales y algunas aleatorias, con orientaciones que van principalmente N-W, lo cual es coincidente con las fallas central, Este y Oeste. Se diferencia la falla Este por tener mayor incidencia en el Nivel 1170 Sur.

Figura 33. Análisis geoespacial de las fallas principales.



Nombre	Interpretado por	Orientación		Descripción
		Dip	Dip Direction	
Falla Este Zona	Kierozzi/Wardrop	Oeste (260-275)	Empinado a subvertical	Zona de 50 -100 m de ancho de fallas subparalelas separadas por rocas relativamente competentes. Caracterizado por andesita fracturada de la Formación Misahualli y pórfido de faldes-pato
Falla Oeste	Kierozzi/Wardrop	Oeste (265-275)	Empinado a subvertical	Banda de 3-5 m de ancho de gubias cloríticas foliadas y cataclásita flanqueada por brechas no coherentes y roca fracturada en la Formación Misahualli. Forma un límite duro que define el límite occidental del yacimiento mineral.
Falla Oeste Oeste	Kierozzi/SRK	Oeste (270-275)	Moderado a empinado	Zona de falla de extensión limitada responsable de la repetición estructural de las formaciones Suárez y Misahualli. Falla de ancho real de hasta 6,5 m identificada en los registros.
Falla Central	Kierozzi/Wardrop	Oeste (260-270)	Empinado a subvertical	Zona de falla distinto entre las fallas Este y Oeste que trunca y desplaza las zonas mineralizadas. Se cree que se fusiona con la Falla Este al sur, y se trunca o se fusiona con la Falla Oeste al norte.
Falla Mchichiza	SRK	Oeste Suroeste (240-250)	Escarpada	Líneamiento regionalmente extenso que parece exhibir cierto control sobre la distribución litológica y la mineralización de oro.
SRK01	SRK	Noreste (040)	Escarpada	Líneamiento inferido que puede exhibir cierto control sobre la distribución litológica y la mineralización de oro
SRK02	SRK	Este Noreste (020)	Escarpada	Falla de 5 m de ancho identificada en el lado oeste de la Falla Mchichiza que se infiere que limitó la unidad norte de Fruta Andesita.
SRK03	SRK	Sur Suroeste (210)	Escarpada	Falla de 2 m de ancho que consiste en cataclásita consolidada y débilmente foliada y gubias de falla. Responsable de compensación de la Formación Suárez
SRK04	SRK	Este Noreste (025)	Escarpada	La falla estrecha (1 m de ancho verdadero) compuesta de cataclásita y gusa en profundidad coincide con amplias zonas de escorbidos y pérdida de núcleo cerca de la superficie.
SRK05	SRK	Sureste (135-140)	Moderado a Escarpado	Falla estrecha (1 m de ancho verdadero) consistente con la alineación de la superficie. Coincidente con la terminación de la unidad de sinterización (N) en su extensión sur.
SRK06	SRK	Noroeste (325)	Escarpada	Falla de 1,8 m de ancho que consiste en múltiples hebras de gubias de falla alteradas por clorita verde y cortes de cataclásita a través de la esquina noroeste del modelo. Marca el límite sur del Batolito de Zamora expuesto.
SRK07	SRK	Sur Suroeste (195)	Escarpada	Falla con intersecciones de pozos limitadas y ancho incierto identificada a partir de la terminación de las rocas de la Formación Suárez, y yuxtaposición de fallas con la Formación Misahualli al norte

Nota: Elaboración del autor. (2024).

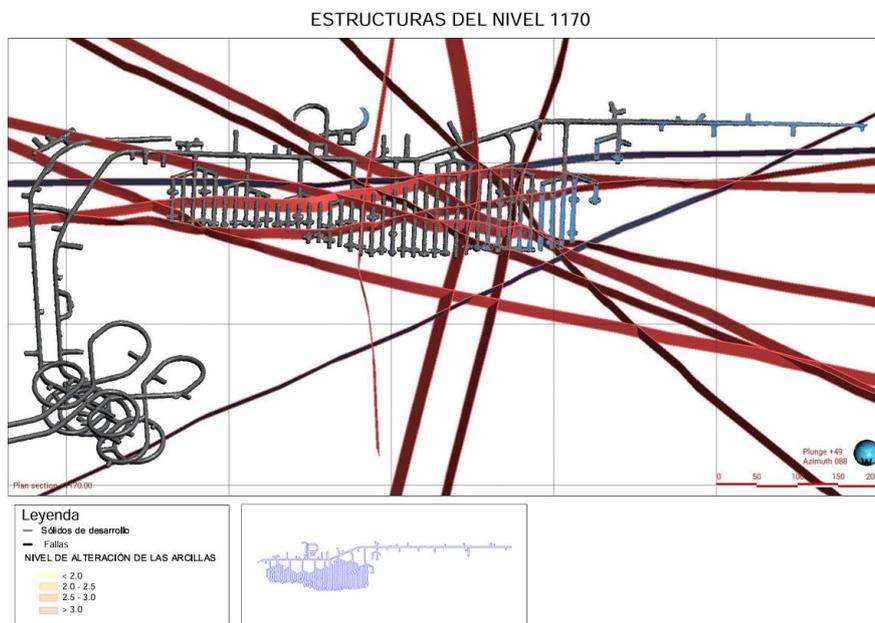
6.1.2.3. Características de las discontinuidades. Se determinan las características principales de las discontinuidades en base a observaciones y recorridos en campo dentro del nivel 1170 sur, en la tabla 27 se describen estas características en donde principalmente se encuentran con relleno blando, rugosidad lisa. En la figura 34 y anexo 8 se visualiza las estructuras presentes en el nivel 1170

Tabla 27. Características de las discontinuidades.

Ítem	Unidad	Mapeo Geomecánico
Espaciamiento	cm	(6 a 20) y (20 a 60)
Persistencia	m	(3 a 10), (10 a 20) y >20 (fallas principales)
Apertura	mm	(1 a 5) y >5
Rugosidad	-	Lisas y rugosas
Relleno	mm	Blando
Alteración	mm	Moderado y muy alterado

Nota: Elaboración del autor. (2024).

Figura 34. Estructuras presentes en el nivel 1170



Nota: Elaboración del autor. (2024).

Tabla 28. Clasificación del macizo rocoso.

(RGA)	Distancia en metros (m)	Tipo de roca	Rango del Q	Calidad según Barton	Color
262-271	926.30 - 956.60	III	<1	Mala	Red
282-284	990.00 - 1001.30				
294-297	1038.30 - 1053.40				
112-119	364.20 - 393.50	II	1-4	Regular	Yellow
145-147	483.80 - 495.10				
200-206	698.30 - 725.00				
221-248	777.80 - 878.60				
259-261	914.70 - 926.30				
272-281	956.60 - 990.00				
285-293	1001.30 - 1038.30				
298-310	1053.40 - 1106.20				
315-331	1124.00 - 1196.50				
336	1214.50 - 1218.20				
1-111	0 - 364.20	I	>4	Buena	Green
120-144	393.50 - 483.80				
148-199	495.10 - 698.30				
207-220	725.00 - 777.80				
249-258	878.60 - 914.70				
311-314	1106.20 - 1124.00				
332-335	1196.50 - 1214.50				

Nota: Elaboración del autor. (2024).

Utilizando la correlación del índice Q de Barton a RMR de Bieniawski ($RMR = 9 \ln(Q) + 44$), se obtuvo una valoración mediante esta metodología en donde se obtuvo tres tipos de calidad de roca; mala, regular y buena, las cuales se visualizan en la tabla 29.

Tabla 29. Clasificación según RMR de Bieniawski

(RGA)	Distancia en metros (m)	Tipo de roca	Rango del RMR	Calidad según RMR	Color
262-271	926.30 - 956.60	IV	21-40	Mala	Red
282-284	990.00 - 1001.30				
294-297	1038.30 - 1053.40				
112-119	364.20 - 393.50				
145-147	483.80 - 495.10				
200-206	698.30 - 725.00				
221-248	777.80 - 878.60				
259-261	914.70 - 926.30				
272-281	956.60 - 990.00	III	41-60	Regular	Green
285-293	1001.30 - 1038.30				
298-310	1053.40 - 1106.20				
315-331	1124.00 - 1196.50				
336	1214.50 - 1218.20				
1-111	0 - 364.20				
120-144	393.50 - 483.80				
148-199	495.10 - 698.30				
207-220	725.00 - 777.80				
249-258	878.60 - 914.70				
332-335	1196.50 - 1214.50	II	61-80	Buena	Blue
311-314	1106.20 - 1124.00				

Nota: Elaboración del autor. (2024).

A partir de la correlación de RMR a GSI ($GSI = RMR_{89} - 5$) se obtuvo tres tipos de calidad de roca, pobre, regular y buena, estos datos se visualizan en la tabla 30.

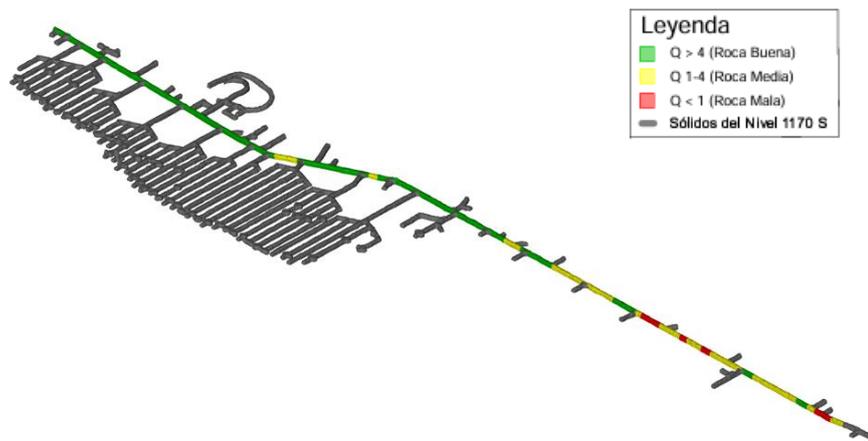
Tabla 30. Clasificación GSI

(RGA)	Distancia en metros (m)	Rango del GSI	Calidad según GSI	Color
262-271	926.30 - 956.60	0-40	Pobre	Red
282-284	990.00 - 1001.30			
294-297	1038.30 - 1053.40			
112-119	364.20 - 393.50			
145-147	483.80 - 495.10			
200-206	698.30 - 725.00			
221-248	777.80 - 878.60			
259-261	914.70 - 926.30			
272-281	956.60 - 990.00			
285-293	1001.30 - 1038.30	41-50	Regular	Green
298-310	1053.40 - 1106.20			
315-331	1124.00 - 1196.50			
336	1214.50 - 1218.20			
1-111	0 - 364.20			
120-144	393.50 - 483.80			
148-199	495.10 - 698.30			
207-220	725.00 - 777.80			
249-258	878.60 - 914.70			
332-335	1196.50 - 1214.50	51-70	Bueno	Yellow
311-314	1106.20 - 1124.00			

Nota: Elaboración del autor. (2024).

De igual manera la información para la clasificación del macizo rocoso en el nivel 1170 Sur, según el índice de Q de Barton abarca un total de 1218.20 m, la zonificación en función del tipo de roca se puede visualizar en la figura 36. La información completa respecto a la evaluación geomecánica del nivel 1170 sur se puede visualizar en el anexo 9 y 13.

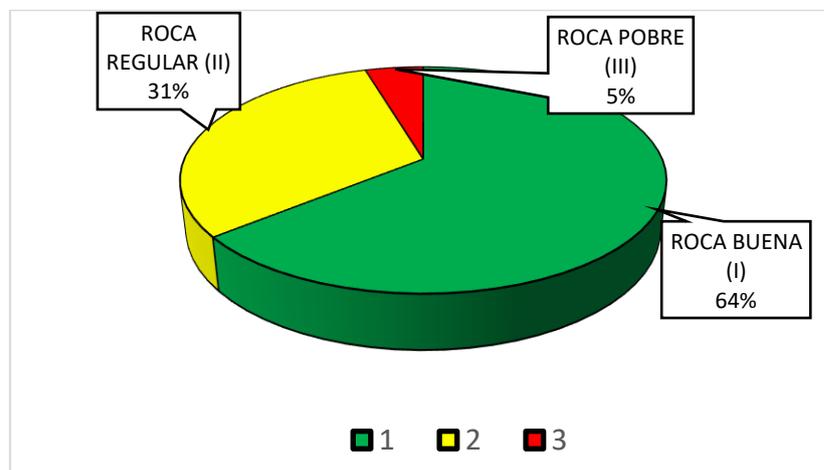
Figura 36. Zonificación por tipo de roca en el nivel 1170 Sur, en donde se indica los tres tipos de calidad de roca encontrados en el nivel 1170 Sur.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

De las clasificaciones geomecánicas se determina que el 64% del macizo rocoso corresponde a una roca I de calidad buena, el 31% es roca II de calidad media o regular y finalmente el 5% representa una roca III con calidad mala.

Figura 37. Calidad de las rocas en el nivel 1170 Su, el 64% de roca presente es buena, el 31% es roca regular y el 5% es roca pobre.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

De cada sección inspeccionada físicamente se realiza el registro fotográfico correspondiente, la fotografía contará con información de relevancia como la fecha y hora de captura, además, del tipo de roca. Los parámetros geomecánicos de cada litología se detallan en el anexo 14.

Figura 38. Registro fotográfico.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

6.1.5. *Propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso.*

6.1.3.1. Propiedades físicas. El macizo rocoso presente las siguientes propiedades una densidad promedio de 26.33 kN/m³, un porcentaje de humedad del 0.84%, una gravedad aparente de 2.74 Tn/m³ y un porcentaje de absorción de 0.83 %. los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 31.

Tabla 31. Propiedades físicas del macizo rocoso

Litología	Densidad seca (kN/m ³)	Humedad w (%)	Gravedad aparente (AD)	Porcentaje de Absorción (%)
Pf-pórfido	26.320	0.890	2.741	0.890
Scg-conglomerado	25.330	1.170	2.655	1.173
Va-Volcánico Andesítico	27.090	0.890	2.824	0.892
Va_W es Volcánico andesítico Oeste	26.540	0.550	2.739	0.547
Xh-Vn Brecha hidrotermal	26.240	0.430	2.698	0.429
Xp-Ip brecha freatomagmatica y Pórfido	26.460	1.080	2.770	1.077

Nota: Elaboración del autor. (2024).

6.1.3.2. Propiedades mecánicas. Las propiedades analizadas variaron, en base a la clasificación RMR, el análisis de las litologías presentes que se presentan en la tabla 32, en donde, en base a las tres categorías de las rocas encontradas, se determinó la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta y el análisis del módulo de Young, utilizando la teoría de Hoek & Diederichs (2006) y la relación de poisson de la masa rocosa con la teoría de Vásárhelyi (2009).

Tabla 32. Propiedades mecánicas del macizo rocoso

Litología	Tipo de roca según RMR	Resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta (σ_{ci})	Constante de la roca intacta (mi)	Módulo de Young de la masa rocosa Hoek & Diederichs (2006) (Emr)	Relación de Poisson de la masa rocosa Vásárhelyi (2009). (vmr)
		Mpa	Adim.	Gpa	Adim
Pf-pórfido	I	70	20	15.8	0.27
	II	55	20	9.0	0.29
	II	25	20	1.1	0.33
Scg-conglomerado	I	75	21	15.4	0.27
	II	55	21	7.9	0.28
	II	40	21	1.3	0.32
Va-Volcánico Andesítico	I	80	19	19.5	0.27
	II	60	19	11.4	0.28
	II	30	19	1.8	0.32
Va_W es Volcánico andesítico Oeste	I	60	20	14.1	0.27
	II	50	20	9.0	0.28
	II	25	20	1.4	0.32
Xh-Vn Brecha hidrotermal	I	80	12	23.5	0.30
	II	60	12	12.9	0.31
	II	30	12	2.1	0.35
Xp-Ip brecha freatomagmatica y Pórfido	I	70	12	19.8	0.30
	II	55	12	11.8	0.31
	II	25	12	1.7	0.35

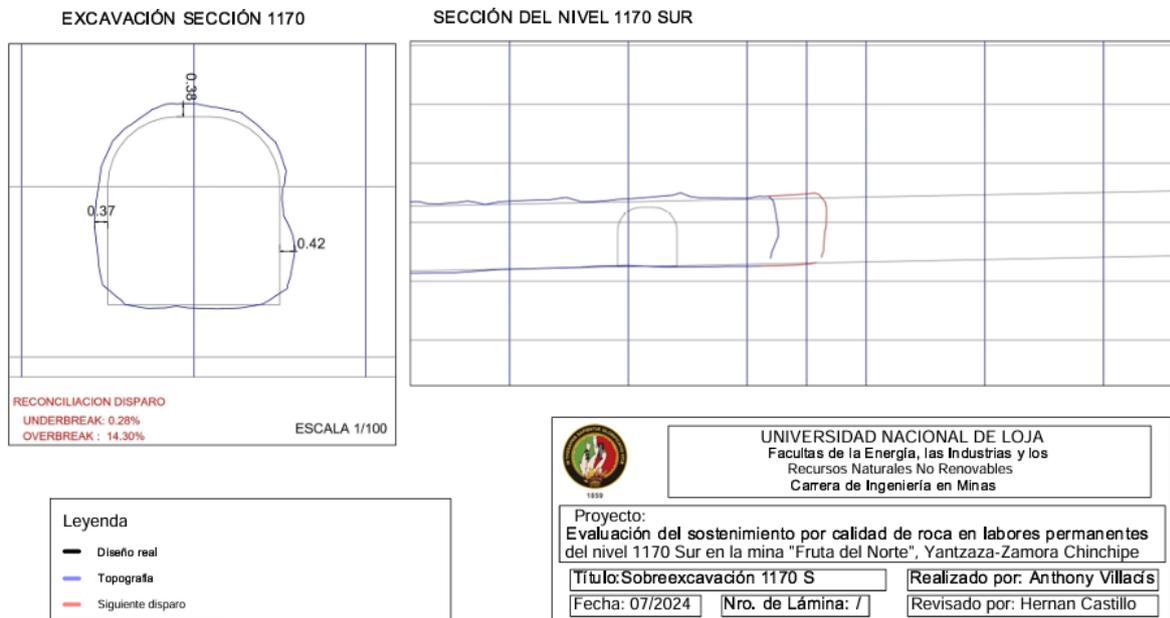
Nota: Elaboración del autor. (2024).

6.1.6. Sobre- excavación

Se ha determinado una sobre-excavación en la galería con las siguientes dimensiones, 0.42 m en el hastial derecho, 0.37 m en el hastial izquierdo y 0.38 m en la corona, conforme se visualiza en la figura 39 y anexo 11.

Figura 39. Sobre excavación de la galería

SOBRE-EXCAVACIÓN 1170



Nota: Elaboración del autor. (2024).

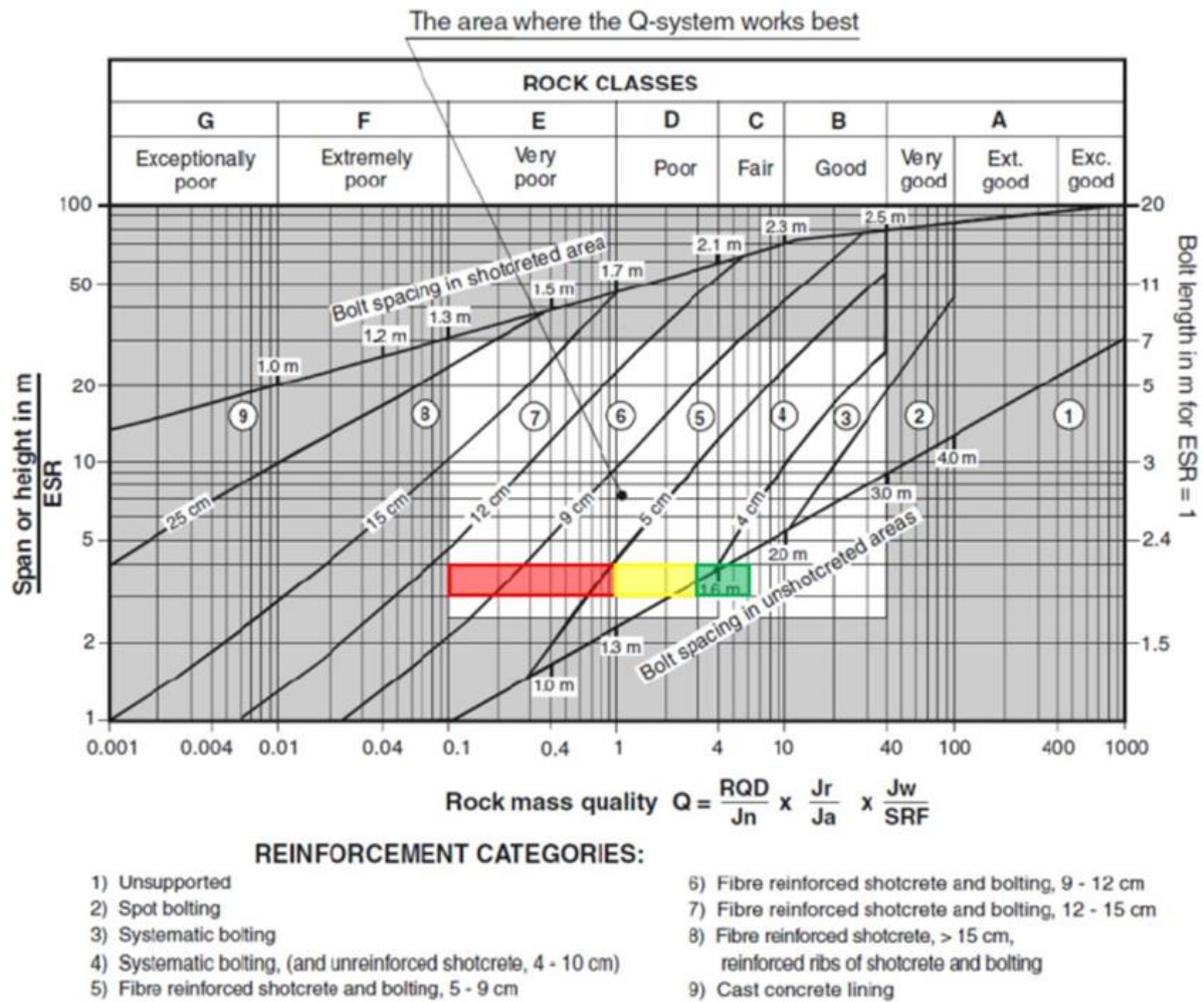
6.2. Resultados para el segundo objetivo

“Establecer las características del sostenimiento actualmente colocado en el nivel 1170 Sur”

6.2.1. Análisis de sostenimiento.

El sostenimiento se analiza, en base a las tres clases de macizo rocoso encontrados: pobre, regular y bueno y el diámetro equivalente del túnel como se observa en la figura 40.

Figura 40. Sostenimiento en base al índice Q de Barton, el recuadro rojo muestra el sostenimiento para dominio pobre, el recuadro amarillo para un dominio pobre a regular y el verde de regular a bueno.



Nota. Modificado de Palmstron & Broch (2006)

En base al análisis realizado en la figura 40 se da las recomendaciones de sostenimiento para dominio pobre, regular y bueno, en donde establece parámetros como: grosor de hormigón proyectado, uso de malla electrosoldada, así como el uso de varillas de refuerzo que se muestra en la tabla 33.

Tabla 33. Recomendaciones de sostenimiento en base al sistema Q de Barton

Excavación	Dominio	Recomendaciones
Permanente (>1 año) Aspecto: Ancho 5 m x 5 m alto	Dominio pobre $Q < 1.00$	4,0 m de separación de 0,3 m entre la espalda y los hombros hasta 3,0 m del suelo (en el 30 % de las intersecciones de dominio deficiente) Correas de malla para sujetar las colas derramadas 2,4 m revestidos con Swellex en la parte trasera y las paredes hasta el nivel del suelo Espaciado de 1,0 x 1,0 m Pantalla a nivel del suelo Hormigón proyectado: 75 mm en la parte trasera y las paredes hasta el nivel del suelo. Inverter de hormigón: solera de hormigón armado de 0,4m de espesor.
Permanente (>1 año) Aspecto: Ancho 5 m x 5 m alto	Dominio de pobre a regular $1,07 < Q < 2,97$	2,1 m de varilla de refuerzo en la parte posterior, los hombros y las paredes superiores. 2,1 m de anclaje de fricción galvanizado en las dos filas inferiores. Espaciado de 1,2 x 1,2 m Pantalla: a lo largo de la parte posterior y las paredes hasta el nivel del piso. Hormigón proyectado: 75 mm aplicado en la parte trasera y las paredes hasta el nivel del suelo.
Permanente (>1 año) Aspecto: Ancho 5 m x 5 m alto	Dominio de regular a bueno $Q > 3.03$	2,1 m de varilla de refuerzo en la parte posterior, los hombros y las paredes superiores. 2,1 m de anclaje de fricción galvanizado en las dos filas inferiores. Espaciado de 1,2 x 1,2 m Fibra de hormigón: 50 mm aplicados en la parte posterior y las paredes hasta el nivel del suelo.

Nota: Elaboración del autor. (2024).

6.2.2. Descripción de los elementos de sostenimiento

Como resultado de las inspecciones físicas realizadas in situ a lo largo del nivel 1170 sur y del registro fotográfico, se logra identificar y describir las características de los elementos de sostenimiento, los mismos se detallan en la tabla 34. Adicionalmente, se tomaron como referencia catálogos propios de las casas comerciales de cada elemento de sostenimiento, estos catálogos se visualizan en los anexos 17 y 18.

Tabla 34. Elementos de sostenimiento del nivel 1170 sur.

Tipo de elemento	Material	Parámetros técnicos de instalación	Condición actual	Ubicación	Observaciones
Pernos de roca Swellex	Acero	Con varios rangos de capacidad (120 kN, 160 kN, 240 kN). Insertar en taladro, expandir con agua a alta presión.	Bueno	Aplicados en atornillado de techos y paredes colgantes a lo largo del nivel 1170 sur.	Monitorear presión y expansión
Pernos de roca Swellex línea premium (Pm)	Acero	Perno típico, con un alta carga elástica y buena deformabilidad.	Bueno	Aplicados en atornillado de techos y paredes colgantes a lo largo del nivel 1170 sur.	Aplicarse en condiciones de baja tensión, que requieren pernos rígidos con una carga de alto rendimiento.
Pernos de roca Swellex línea de manganeso (Mn)	Acero	Propicios para adaptarse a los grandes cambios de tensión, se someten a un tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas.	Bueno	Aplicados en atornillado de techos y paredes colgantes a lo largo del nivel 1170 sur.	Proporcionan una carga ultima alta y una gran capacidad de deformación.
Pernos de roca Swellex con recubrimiento de betún	Acero	Pernos con recubrimiento bituminosos de caucho de alto espesor para brindar protección contra la corrosión a mediano plazo.	Bueno	Aplicados en atornillado de techos y paredes colgantes a lo largo del nivel 1170 sur.	Corroborar las condiciones corrosivas.
Pernos de roca Swellex con recubrimiento de plástico.	Acero	Proporciona protección contra la corrosión a largo plazo a través de un recubrimiento plástico grueso que es impermeable al agua y a la corriente.	Bueno	Aplicados en atornillado de techos y paredes colgantes a lo largo del nivel 1170 sur.	Apropiado para zonas de alta corrosividad y ácidas.
Pernos helicoidales	Acero	Se integra por una barra helicoidal (diámetros de 16,19,22 y 25 mm), una planchuela con dome central en forma troncocónica con diámetros (25,34,42 y 50 mm) y tuerca standard DSI de acero con diámetros correspondientes a la barra helicoidal.	Bueno	Aplicados en bóveda y hastiales a lo largo del nivel 1170 Sur.	Permite el refuerzo de macizos rocosos, es un conjunto de alta resistencia.
Shotcrete	Concreto proyectado	Concreto proyectado con una resistencia 35 MPa, se forma con 513 kg de cemento, 1550 kg de arena, 154 kg de agua y una serie de aditivos como sikament 115, plastiment 200 y delvo.	Bueno	Aplicado en hastiales y techo a lo largo del nivel 1170 sur.	Verificar espesor y adherencia
Malla minera Armex 3.00 x 2.00 m	Acero	Malla de acero galvanizada empleada para sistemas de estabilización proporcionando una acción de retención de rocas en las excavaciones mineras.	Bueno	Aplicada en los hastiales y bóveda.	
Malla minera ARMEX 2.80X1.50 m	Acero de alta resistencia	Cuenta con un ancho de 2.80 m por alto de 1.50 m, generalmente los alambres de la malla tienen un diámetro que varía de 4 mm a 6 mm, la apertura de la malla es cuadrada y son galvanizadas esto para aumentar la resistencia a la corrosión.	Bueno	Aplicada en los hastiales y bóveda.	Identificar los signos de desgaste, corrosión o daño.

Nota: Elaboración del autor. (2024)

6.2.3. Secciones de sostenimiento según el tipo de roca

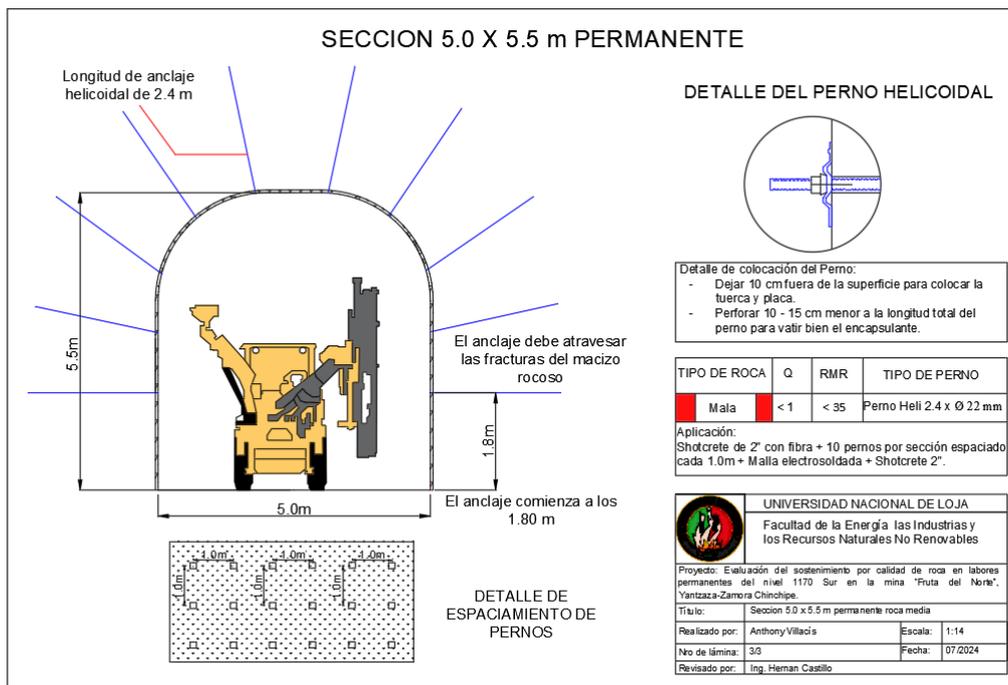
Con base a toda la información recopilada se elaboraron secciones detalladas del nivel 1170 sur de la mina Fruta del Norte, considerando el tipo de roca, para ello según el índice Q de Barton se encuentran tres tipos de roca que son roca mala, media y buena. A continuación, se describen los tipos de roca y su sistema de sostenimiento más óptimo.

Sección 5 x 5.5 m de roca tipo III de calidad mala.

En las zonas con presencia de roca mala o pobre, caracteriza por un RMR < 35 y un índice de Q de Barton < 1, se colocará shotcrete de 2'' con fibra más 10 pernos helicoidales de 2.4 m de longitud distanciados a 1 m y malla electrosoldada.

Es importante mencionar que previo a las operaciones de instalación del sostenimiento, el terreno deberá estar completamente desatado. Garantizando condiciones mínimas de seguridad

Figura 41. Sostenimiento para la sección de 5x 5.5 m de roca mala, utilizando shotcrete de 2'' con fibra, con 10 pernos por sección espaciada cada 1 m y malla electrosoldada acompañada de shotcrete de 2''.

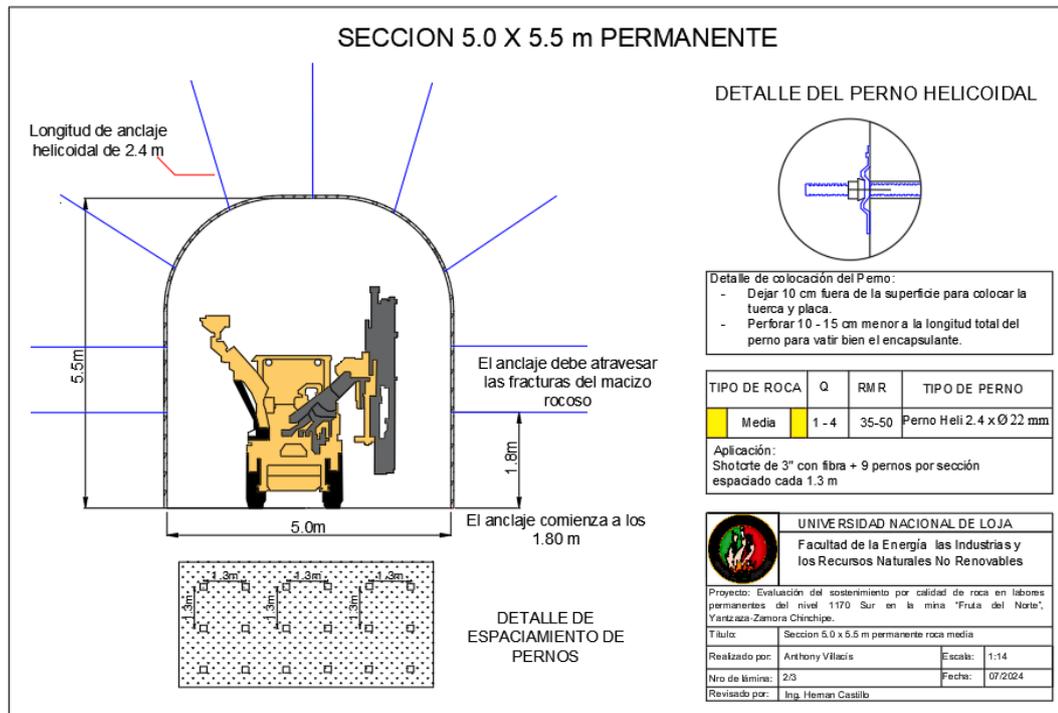


Nota: Elaboración del autor. (2024).

Sección 5 x 5.5 m de roca tipo II de calidad regular o media

En las zonas caracterizadas como roca media o justa, con un RMR de 35 a 50 y un índice de Q de Barton de 1 a 4, se colocará shotcrete de 3'' con fibra más 9 pernos helicoidales de 2.4 m de longitud espaciados a 1.3 m.

Figura 42. Sostenimiento para la sección de 5x 5.5 m de roca media, con shotcrete de 3'' con fibra mas 9 pernos por sección espaciados cada 1.3 m.

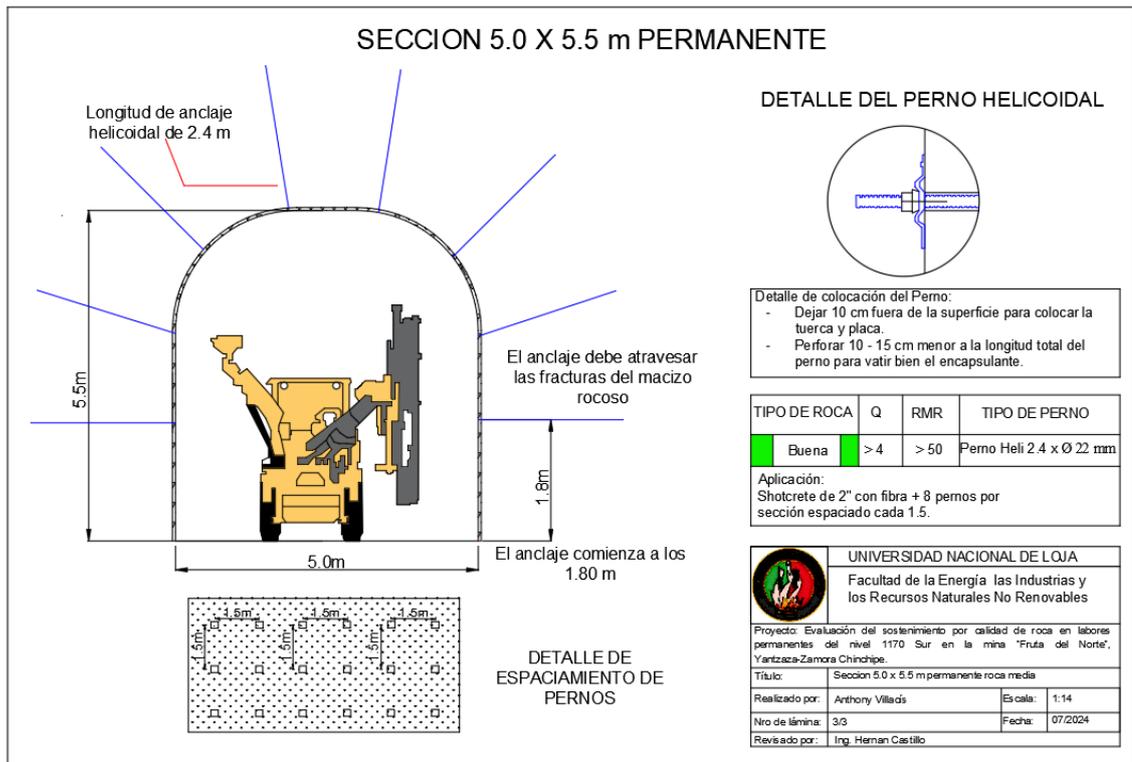


Nota: Elaboración del autor. (2024).

Sección 5 x 5.5 m de roca tipo I de calidad buena

En las zonas catalogadas como roca buena caracterizada por un RMR >50 y un índice Q de Barton >4 será necesario shotcrete de 2'' con fibra más un total de 8 pernos helicoidales espaciados a 1.5 m.

Figura 43. Sostenimiento para la sección de 5x 5.5 m de roca buena, con shotcrete de 2" con fibra mas 8 pernos por sección cada 1.5 m.



Nota: Elaboración del autor. (2024).

6.3. Resultados para el tercer objetivo

6.3.1. Resultados de la prueba Pull Test

Para analizar de mejor manera los resultados obtenidos en las pruebas Q_A/Q_C realizadas en el nivel 1170 Sur, se trabajan en hojas de cálculo donde se describen datos importantes del nivel como el tipo de roca, elemento de soporte, longitud, diámetro y tipo de ensayo, estos parámetros se describen en la tabla 35. Los resultados de la prueba "Pull Test" de detallan de manera general en el anexo 19.

Tabla 35. Resultados de la prueba "Pull Test"

Tipo de roca	Elemento de soporte	Diámetro	longitud	Presión (MPa)	Área del cilindro (m ²)	Carga máxima (kN)	Carga máxima (t)	Anclaje inicial	Cumplimiento (kN)	Aprueba / fallo
Buena	Swellex 12t liso	37	2.4	274	0,003629	87.1	8.7	37.1	84	Aprobado
Buena	Swellex 12t liso	37	2.4	192	0,003629	101.6	10.2	43.2	84	Aprobado
Media	Swellex 12t liso	37	2.4	274	0,003629	85.3	8.6	36.3	84	Aprobado
Media	Swellex 12t liso	37	2.4	215	0,003629	87.1	8.7	37.1	84	Aprobado
Media	Swellex 12t liso	37	2.4	215	0,003629	99.4	10	42.3	84	Aprobado
Media	Swellex 12t liso	37	2.4	250	0,003629	69.7	7	29.6	84	Fallo
Media	Swellex 12t liso	37	2.4	260	0,003629	99.4	10	42.3	84	Aprobado
Buena	Swellex 12t liso	37	2.4	260	0,004658	100.1	10.1	42.6	84	Aprobado
Buena	Rebar 22mm #7	33	2.4	260	0,004658	100.1	12.2	42.6	84	Aprobado
Media	Rebar 22mm #7	33	2.4	260	0,004658	121.1	12.2	51.5	100	Aprobado
Media	Rebar 22mm #7	33	2.4	260	0,004658	121.1	12.2	51.5	100	Aprobado
Buena	Rebar 22mm #7	33	2.4	260	0,004658	121.1	12.2	51.5	100	Aprobado
Buena	Rebar 22mm #7	33	2.4	260	0,004658	121.1	12.2	51.5	100	Aprobado
Media	Rebar 22mm #7	33	2.4	260	0,004658	121.1	12.2	51.5	100	Aprobado

Nota: Elaboración del autor. (2024).

Análisis de los resultados

La tabla 35 expresa todos los valores relacionados con la prueba de tracción "Pull Test", ahora es necesario reconocer cada variable que se calcula en el desarrollo de la prueba, las mismas se describen a continuación:

Carga máxima (kN)

Esta variable hace referencia a la fuerza que la estructura de sostenimiento tendrá que soportar antes de entrar al fallo. Por lo tanto, es un parámetro importante, puesto que determinará la resistencia de los pernos de roca. El intervalo permitido para considerar la prueba como válida será de 90 a 120 kN.

La carga máxima de determina según la siguiente expresión matemática:

$$Carga\ maxima\ (kN) = Presión\ máxima\ manométrica * 0.1 * Área\ del\ cilindro\ RCH\ 3050\ (m^2) * 1000$$

Carga máxima (Tn)

La carga máxima medida en toneladas (Tn) igualmente representa la fuerza que debe soportar la estructura, el valor mínimo permitido según la prueba pull test será de 7 a 12 Tn.

Conocida la carga máxima en kN se puede convertir a toneladas empleado la siguiente expresión matemática.

$$Carga\ maxima\ (Tn) = \frac{carga\ maxima\ en\ kN}{9.81}$$

Anclaje inicial

Esta variable es medida en kiloNewton por metro (kN/m) y representa la fuerza de sujeción de cada anclaje en la estructura subterránea por unidad de longitud. Este valor representa un parámetro crítico para la estabilidad y seguridad de las labores mineras internas.

Se determinará con la siguiente expresión matemática:

$$Anclaje\ Inicial\ (kN/m) = \frac{carga\ maxima\ (kN)}{Longitud\ del\ elemento\ de\ sostenimiento\ (m)}$$

Cumplimiento

Este parámetro indica si el elemento de sostenimiento, es decir, los pernos instalados en el nivel 1170 Sur cumplen con los requisitos y especificaciones técnicas determinadas en la fase de diseño.

Aprobación – fallo

La evaluación del sostenimiento subterráneo se realiza en función del intervalo definido en la carga máxima a soportar en toneladas, de este modo los pernos deberán soportar de 7 a 12 Tn.

6.3.2. Resultados de la prueba “control de espesores de shotcrete”

En la tabla 36 se detallan los resultados de la prueba de control de espesores de shotcrete. Para ello, se analizaron espesores en el nivel 1170 sur, el mismo que se caracteriza por la presencia de roca tipo III de calidad mala, roca tipo II de calidad media y roca tipo I de calidad buena.

Adicionalmente se detalla el tipo de sostenimiento, la distancia inicial de la medición (DI) y la distancia final (DF). Se indica el espesor de soporte en milímetros (E-diseño) y mediciones Z-H (A, B, C y D) que representan valores específicos relacionados a mediciones de cada sección. Finalmente se aclara en cada medición es necesario o no el recapeo.

Los resultados de la prueba “control de espesores de shotcrete” se describen de manera general en el anexo 20.

Tabla 36. Resultados de la prueba de espesor de shotcrete.

Tipo de roca	Tipo sostenimiento	DI inicial (m)	DF final (m)	E-diseño (mm)	Med ZH (A) mm	Med Z-H (B) mm	Med Z-H (C) mm	Med Z-H (D) mm	Recapeo	Observaciones
III	Dominio pobre	950	951.25	50	120	50	90	80	No	Se evalúa primeras 2””
III	Dominio pobre	951.25	952.50	50	100	50	70	70	No	Se evalúa primeras 2””
III	Dominio pobre	952.50	953.30	50	50	30	90	60	No	Se evalúa primeras 2””
II	Dominio regular	986.70	990	75	150	180	140	110	No	Medición con topografía
II	Dominio regular	986.70	990	75	110	110	20	160	No	Medición con topografía
II	Dominio regular	986.70	990	75	80	90	120	120	No	Medición con topografía
II	Dominio regular	986.70	990	75	110	90	100	50	No	Medición con topografía
III	Dominio pobre	1034	1034.50	75	130	120	80	120	No	
III	Dominio pobre	1035	1035	75	90	70	70	60	No	
III	Dominio pobre	1036	1036	75	80	80	70	50	No	
III	Dominio pobre	1037	1037	75	70	80	80	130	No	

Nota: Elaboración del autor. (2024).

Análisis de los resultados

De los resultados de la prueba de control de espesores se puede obtener los siguientes análisis:

Se puede visualizar que las secciones en el nivel 1170 están clasificadas según la medición de espesores en roca tipo III de calidad mala y roca tipo II de calidad buena. El sostenimiento en cuanto al hormigón proyectado varia en dependencia del tipo de roca, por tanto, se debe adaptar el hormigón a las condiciones geomecánicas de cada zona. Pese al encontrarse zonas de dominio pobre, no es necesario labores de recapeo en ninguno de los espesores ensayados.

7. Discusión

La discusión del presente trabajo de integración curricular denominado “Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza – Zamora Chinchipe” se centró en el análisis de todos resultados obtenidos en cada uno de los objetivos.

En el nivel 1170 Sur caracterizado por una longitud de 1218.20 m, donde las litologías predominantes se caracterizan por un 45% que corresponde a la roca tipo pórfido, el 37 % corresponde a conglomerados, el 12% rocas de origen volcánico y finalmente el 6% lo representa la brecha FM. La litología predominante pórfido según Abramson (1996), es de origen ígneo, presenta una textura porfídica, es decir, una combinación entre fenocristales (cristales grandes) que se encuentra dispersos dentro de una matriz vítrea o fina. Los fenocristales analizados mediante reconocimiento macroscópico generalmente son feldespatos como la ortoclasa, cuarzo, biotita y hornblenda. Por su parte la matriz en la que están inmersos estos minerales se caracteriza por minerales de plagioclasas y micas. Por lo tanto, es de importancia conocer cada formación geológica previo a las actividades u operaciones mineras subterráneas.

De forma complementaria para entender el contexto estructural del nivel 1170 Sur, se analizó mediante el software DIPS las fallas principales, de este modo, se determinaron tres fallas de importancia, la falla Este, Oeste y Central. De este grupo la falla con mayor incidencia dentro del nivel de estudio corresponde a la denominada falla Este. La misma que está caracterizada por ser una zona de 50 a 100 m de ancho con fallas subparalelas separadas por rocas relativamente competentes, generalmente, se presenta la andesita fracturada de la Formación Misahuallí y pórfido. La importancia de conocer y entender el contexto estructural de una excavación minera subterránea según Padilla (2021), radica en la fase de planificación y diseño de la excavación buscando siempre minimizar los riesgos geotécnicos que puedan presentarse, para ello se consideran los sistemas de fracturas y fallas que podrían alterar la estabilidad de la excavación.

Según establece Leopolt (2002), las clasificaciones geomecánicas son de importancia pues proporcionan información de carácter crítico para la toma de futuras decisiones, relacionadas a la planificación, diseño y operación de labores mineras subterráneas, por ello es importante saber qué tipo de roca se encontrará durante el desarrollo de estas labores, la finalidad será garantizar altos parámetros de seguridad y eficiencia de modo que no se

perjudique el avance de las excavaciones. Bajo este contexto, se llevó a cabo la clasificación del macizo rocoso en función de dos índices de criterio, el primero de ellos corresponde al índice RMR de Bieniawski y el segundo es el Q de Barton. De este modo, se determina tres tipos de roca considerando el Q de Barton como índice principal. La primera roca con un 64% corresponde a tipo I de calidad buena con un $Q > 4$, con un 31% se presenta una roca tipo II de calidad regular o media y finalmente con el 5% una roca de tipo III con calidad de mala.

Tal como establece Coruña (1994), los elementos de sostenimiento de mayor uso en la industria minera subterránea son los pernos y anclajes, mallas metálicas, hormigón proyectado, cimbras, pernos de resina, sistemas de soporte dinámico, cables de acero y bulones de anclaje. Bajo esta primicia, los elementos empleados en el sostenimiento a lo largo del nivel 1170 Sur son los pernos helicoidales integrados por una barra de acero con diámetros de 16, 19, 22 y 25 mm, una placa de forma troncocónica y una tuerca estándar DSI de acero con diámetros similares a los de la barra helicoidal. Estos pernos se aplican a lo largo del nivel 1170 Sur y permiten soportar el esfuerzo del macizo rocoso.

Adicionalmente, se emplean mallas metálicas Armex de 3 x 2 m y de 2.80 x 1.50 m, son de acero de alta resistencia con diámetros que varían de 4 a 6 mm, la apertura de la malla generalmente es cuadrada y galvanizadas esto como medida de protección ante la corrosión producida por el agua subterránea.

Finalmente, el último elemento de sostenimiento es el hormigón proyectado mejor conocido como Shotcrete, el mismo presenta una resistencia de 35 Mpa y se compone de 513 kg de cemento, 1550 kg de arena, 154 kg de agua y un conjunto de aditivos como el sikament 115 y el plastiment 200 y delvo.

Producto del reconocimiento de los elementos de sostenimiento y en relación con el tipo y calidad de roca, se diseñan secciones. De este modo, la primera sección corresponde a una roca tipo III de calidad mala, en la cual se colocará shotcrete de 2'' con fibra más 10 pernos por sección espaciados a 1 m, con malla electrosoldada y otros 2'' de shotcrete. Por su parte, la roca tipo II de calidad media o regular se caracteriza por tener shotcrete de 2'' con fibra más 9 pernos por sección en intervalos de 1.3 m. Finalmente, para la roca tipo I de calidad buena se colocará shotcrete de 2'' con 8 pernos por sección espaciados a 1.5 m.

A lo largo del nivel 1170 Sur y en zonas específicas se llevaron a cabo pruebas de control de calidad (Q_A/Q_C) que permiten determinar que los elementos de sostenimiento estén acordes a especificaciones técnicas y normativa internacional. De este modo se realiza la

prueba denominada “Pull Test” la misma que determina la presión por tracción, es decir, la carga máxima que soportará cada uno de nuestros pernos. Los pernos que aprobaron la prueba son aquellos que soportan cargas iguales o superiores a las 12 Ton, por su parte, aquellos pernos que no soporten este tipo de cargas presentaron fallo en la prueba.

Por otra parte, también se realizó la prueba de “control de espesores de Shotcrete” en la cual las perforaciones con espesores superiores a 50 mm no requieren recapeo, por su parte, aquellos espesores medidos inferiores a 50 mm deberán someterse a los procesos de recapeo, es decir, no alcanza el contacto mínimo entre hormigón y roca.

8. Conclusiones

Del trabajo de integración curricular denominado “Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza – Zamora Chinchipe” se obtienen las siguientes conclusiones:

- 1) La litología presente en el nivel 1170 sur se encuentra caracterizada por tres tipos de rocas: pórfido de feldespatos con una alteración tipo argílica, caracterizada por la presencia de minerales arcillosos como illita y esméctica, roca freatomagmática caracterizada por una matriz fina, se observa que se ha producido una alteración silícea y presenta minerales como pirita, marcasita, arcillas illita y paragonita y brecha hidrotermal con alteración silícea y textura coloforiforme - crustiforme, los minerales incluyendo cuarzo calcedonio, pirita y marcasita.
- 2) En el nivel 1170 sur se han identificado 12 fallas significativas, de las cuales las fallas principales son la Oeste, Este y Central: la falla oeste presenta un dip de 265° a 275° hacia el oeste, con una inclinación empinada, un ancho de 3m a 5m flanqueada por brechas no coherentes y rocas no fracturadas de la formación Misahualli, formando un límite duro que delimita el yacimiento mineral, la falla este presenta un dip de 260° a 275° hacia el oeste con inclinación empinada a sub vertical esta falla se encuentra en una zona 50 a 100 metros de ancho acompañada de fallas subparalelas y separadas por rocas de la formación Misahualli y pórfido feldespatos y la falla central con un dip de 260° a 270° hacia el oeste con una inclinación de empinada a sub vertical, esta falla trunca y desplaza la zonas mineralizadas y se fusiona con la falla este al sur y se trunca con la falla oeste al norte.
- 3) De acuerdo con las clasificaciones geomecánicas empleadas: índice Q de Barton, RMR de Bieniawski (1989) y el índice de resistencia geológica (GSI), se ha determinado que el macizo rocoso presente en la galería principal del nivel 1170, se clasifica en que el 64% del macizo rocoso corresponde a una roca tipo I de calidad buena, el 31% es roca tipo II de calidad media o regular y finalmente el 5% representa una roca tipo III con calidad mala.
- 4) En base a la clasificación geomecánica del índice Q de Barton se establece los parámetros de sostenimiento en el nivel 1170 sur, debido a que se encontraron tres tipos de calidad de roca, pobre, regular y buena, determina que para roca pobre se debe colocar shotcrete de grosor de 5 cm hasta 10 cm acompañado de pernos de anclaje de 1.75m a 2 m, para roca regular shotcrete de 4.25 cm a 5 cm con pernos de anclaje de 1.75m a 2

m y para roca buena shotcrete de 4 cm a 4.25 cm con pernos de anclaje de 1.75m a 2 m.

- 5) Para el sostenimiento de la galería principal del nivel 1170 sur se utilizan regularmente helicoidales de 2.4 m de longitud y diámetro 22 mm, mallas electrosoldadas de 3x2 m para roca buena y 2.80 x 1.50 m para pobre y hormigo proyectado de 5 cm de espesor con una resistencia de 35 Mpa.
- 6) El sostenimiento empleado en la galería principal del nivel 1170 sur, con sus dimensiones de 5.5 m de alto por 5 m de ancho, está diseñado para tres tipos de calidad de roca. Para roca pobre se utiliza shotcrete de 10 cm de grosor, con pernos de anclaje tipo helicoidal de 2.4 m de longitud y una separación 1 metro, reforzada con malla electrosoldada. En roca regular se emplea shotcrete de 7.62 cm de grosor, con pernos de 2.40 metros de longitud y un diámetro de 22 mm, esto se encuentran espaciados a 1.3 m. En roca buena el sostenimiento es menor con 5.08 cm de espesor de shotcrete con pernos de 2.40 metros de longitud y un diámetro de 22 mm con una separación de 1.5 m.
- 7) Las pruebas de control y calidad (Q_A/Q_C) se determinaron según la prueba pull test para establecer la carga máxima que resiste un perno de anclaje, para lo cual se realizaron 14 pruebas a lo largo del nivel 1170 sur, en donde se determinó que los pernos que se encuentran anclados de 2.40 de longitud y una capacidad a tracción de 12 Ton, se encuentran aprobados, debido a que no existe desprendimiento o fallas estructurales en los frentes analizados, así mismo la prueba utilizada para el control de espesor del shotcrete, en base a la evaluación del tipo de roca determina que el espesor mínimo aceptable es de 50 mm para roca con calidad buena y un máximo 100 mm para roca con calidad pobre.

9. Recomendaciones

1. Implementar una base de datos respecto a litología, calidad de roca, mapeos geomecánico, geológico y estructural, en donde se actualiza esta información a medida del avance y así facilitar el manejo de la información para la planeación y operatividad de la mina.
2. Realizar un diseño donde permita visualizar el sostenimiento implementado en la galería principal del nivel 1170 sur.
3. Elaborar un plan de mantenimiento del sostenimiento que permita reparaciones y mejoras de este.
4. Como resultado de las pruebas de espesores de shotcrete, se obtuvo que existe un sobredimensionamiento en algunas zonas, por lo cual se recomienda llevar un control más riguroso del lanzamiento de shotcrete, en comparación de la calidad de roca y a su vez reducir costos operativos de mina.
5. Seguir con el sostenimiento que se está llevando a cabo con relación a los pernos de anclaje, en base a las clasificaciones geomecánicas, debido a que según la prueba pull test se encuentra correctamente implementados el sostenimiento en la labor estudiada.
6. Considerar el uso de sensores de monitoreo para deformación y presión del macizo rocoso, para evaluar el comportamiento del sostenimiento a lo largo del tiempo.
7. Simular eventos de riesgos hipotéticos como sismos, lluvias intensas, inundaciones con el fin de evaluar el comportamiento del sostenimiento bajo estos eventos.

10. Bibliografía

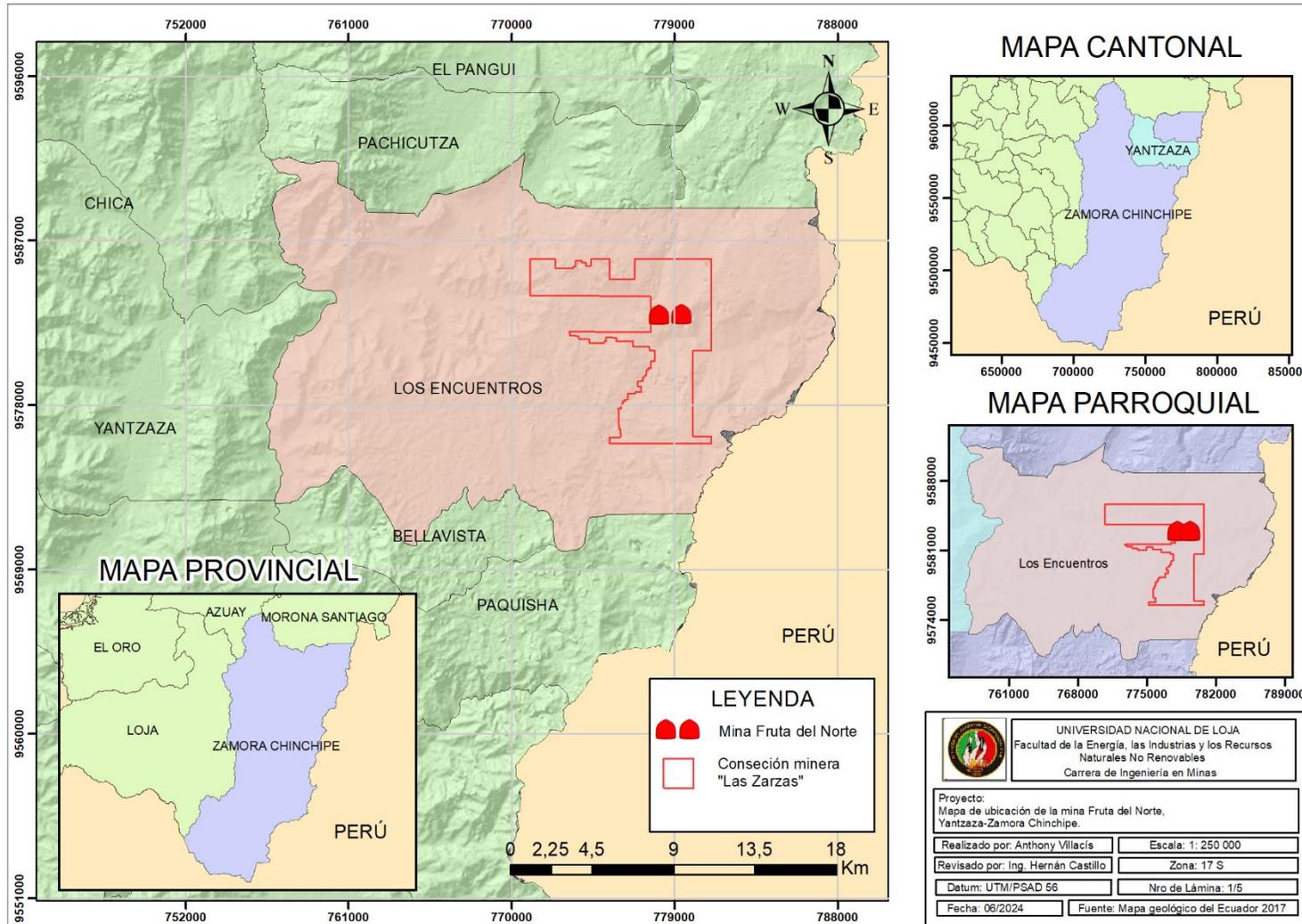
- Arriaga. (2018). *Cargue y transporte en minería subterránea*.
- Banco Central del Ecuador. (2010). *Cartilla informativa del sector minero*. Banco Central del Ecuador.
- Cahuaya. (2020). *Implementación de una malla de perforación y voladura aplicando el método de áreas de influencia para la reducción de costos en una unidad minera en el distrito de Yarabamba-Arequipa*. Arequipa: Universidad Continental.
- Castillo. (2020). *Limpieza, acarreo y transporte mineral*.
- Compañía Peruana minera. (2006). *Estallidos de roca, derrumbes y sostenimiento de labores*. Lima: Compumet.
- Costa, D. (2021). *Boletín institucional del sector minero* . Ministerio de Energía y Minas.
- Díaz. (2020). *Carga, transporte y extracción en minería subterránea* . Septem.
- Enami. (2020). *Guía de operación para la pequeña minería*. Santiago de Chile: Ministerio de minería.
- Epiroc. (2024). *Equipo de perforación manual para minería*. Epiroc.
- Estudios mineros del peru S.A.C. (2020). *Manual de minería*. Lima: Estudios mineros.
- González, A. (2019). *Caracterización geomecánica de suelos y rocas*. Universidad de Cantabria.
- Guarnizo. (2020). *Método de explotación de hundimiento por subniveles* . Universidad Nacional de Ingeniería.
- Guzmán. (2020). *Seguridad e higiene minera en la compañía minera Caylloma S.A.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Herrera. (2020). *Introducción a la minería subterránea*. Universidad Politécnica de Madrid. doi:10.20868
- Herrera, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Universidad Politécnica de Madrid. doi:10.20868

- Inga, A. (2023). *Clasificación geomecánica para la selección del sostenimiento de las labores subterráneas en la mina Andaychagua- Volcan compañía minera S.A.A.* Huancayo: Universidad Nacional del centro del Perú.
- Ise Academy. (2022). *Métodos de perforación en minería subterránea.* Lima: Ise Academy.
- Lagos. (2023). *Tipos de explosivos .*
- López, V. (2012). *Diseño de operaciones mineras a cielo abierto.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Madariaga. (2015). *Guía sobre control geotécnico en minería subterránea.* Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Mendoza. (2022). *Propuesta de control de calidad de los elementos de control para la fortificación de labores mineras en la mina Andaychagua.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. doi:<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2559>
- Mendoza. (2022). *Propuesta de control de la calidad de los elementos de sostenimiento para la fortificación de las labores mineras en la Mina Andaychagua. .*
- Ministerio de Minas y Energía. (2017). *Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas.* Positiva compañía de seguros S.A. .
- Ministerio de minas y energía. (2019). *Protocolos y guía de procedimiento para el sostenimiento de las labores mineras del carbón.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Monsalve. (2021). *Planes de sostenimiento: una herramienta de gestión del riesgo para la prevención de accidentes geomecánicos en minería subterránea.* Virginia: Mining and minerals engineering department.
- Parra. (2020). *Estudio de control de calidad en procesos de desarrollo de software.*
- Pérez. (2020). *Diseño y ejecución de obras subterráneas.* Universidad de Cantabria.
- Portal minero. (2006). *Manual general de minería y metalurgia.* Portal Minero Ediciones. doi:956-8514-01-5
- Rodríguez. (2019). *Métodos de explotación de interior.* Universidad de Cantabria.
- Roing, M. (2020). *Riesgos asociados al método de minado “taladros largos*

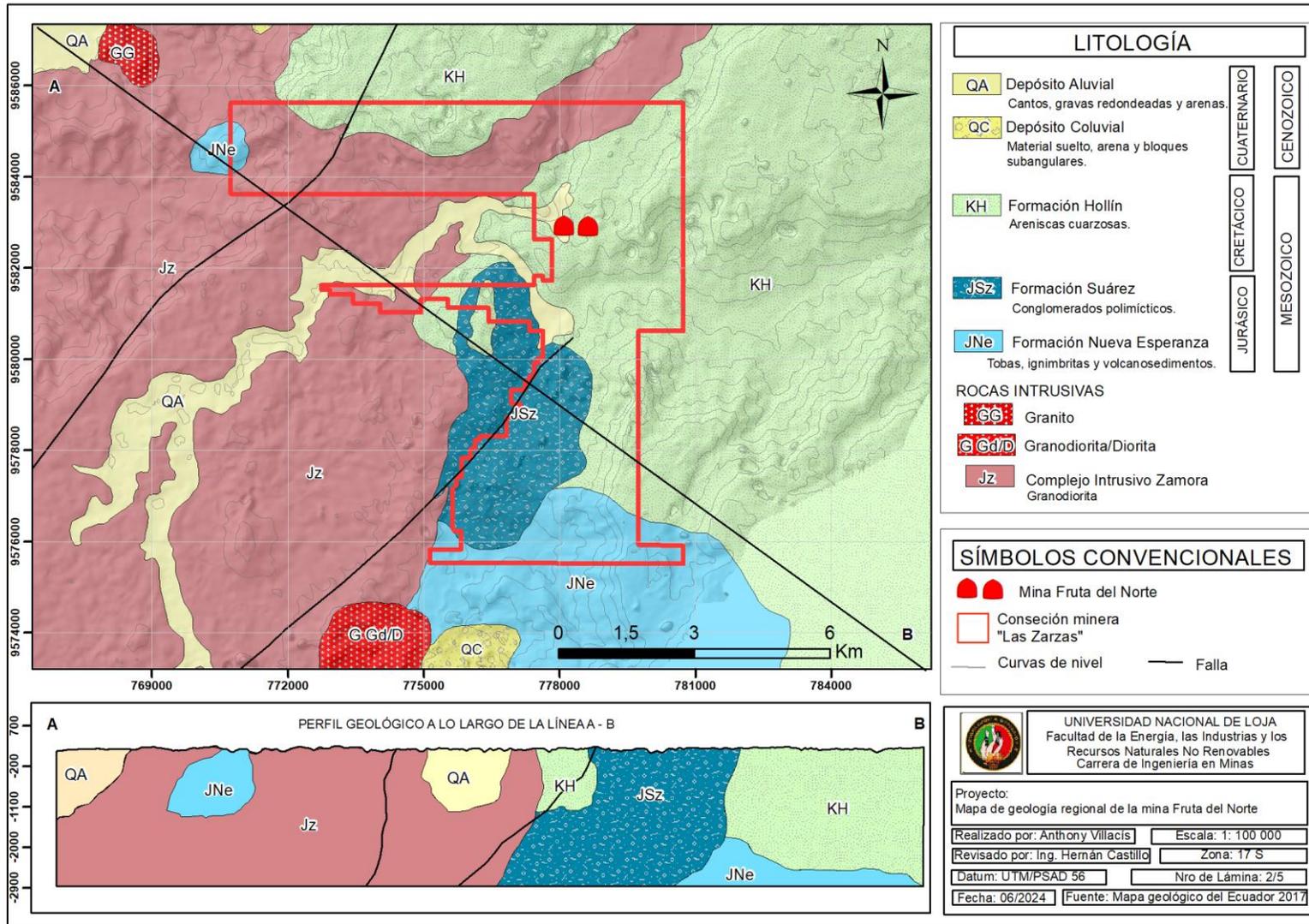
- Salvador, C. (2020). *Evaluación de automatización de operaciones unitarias en minería subterránea*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- SEMINCO. (2021). *Ciclo de minado de taladros largos*
- Valenzuela. (2023). *Minería Subterránea*. Mine Class.
- Vega. (2018). *Evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso Q de Barton en granodiorita*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Yanac. (2022). *Evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina "Hercules-compañía minera Lincuna"*. Huaraz: Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo".
- Zappettini. (2014). *Recursos minerales, minería y medio ambiente*. SEGEMAR. doi:0328-2325

11. Anexos

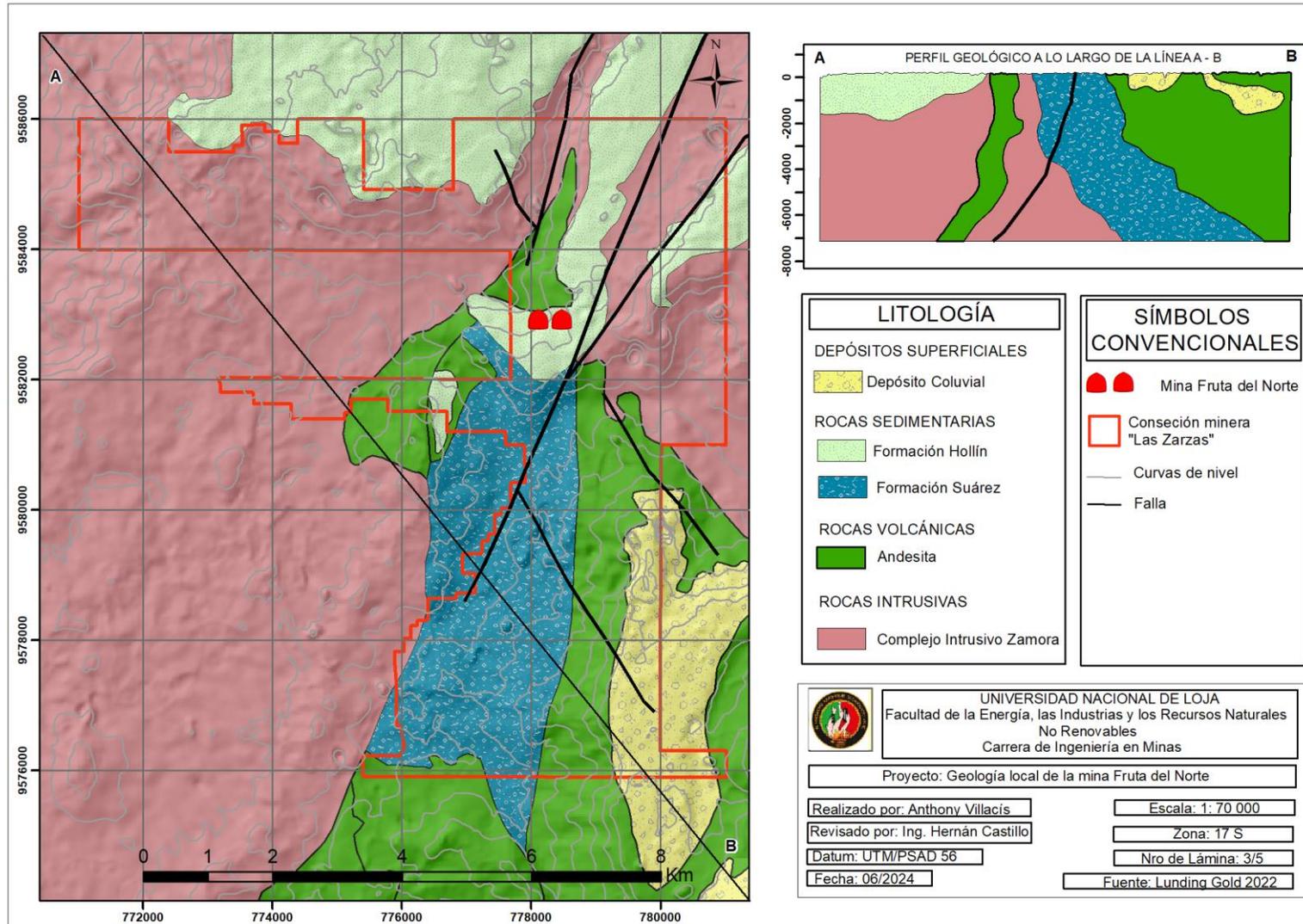
Anexo 1. Mapa de ubicación.



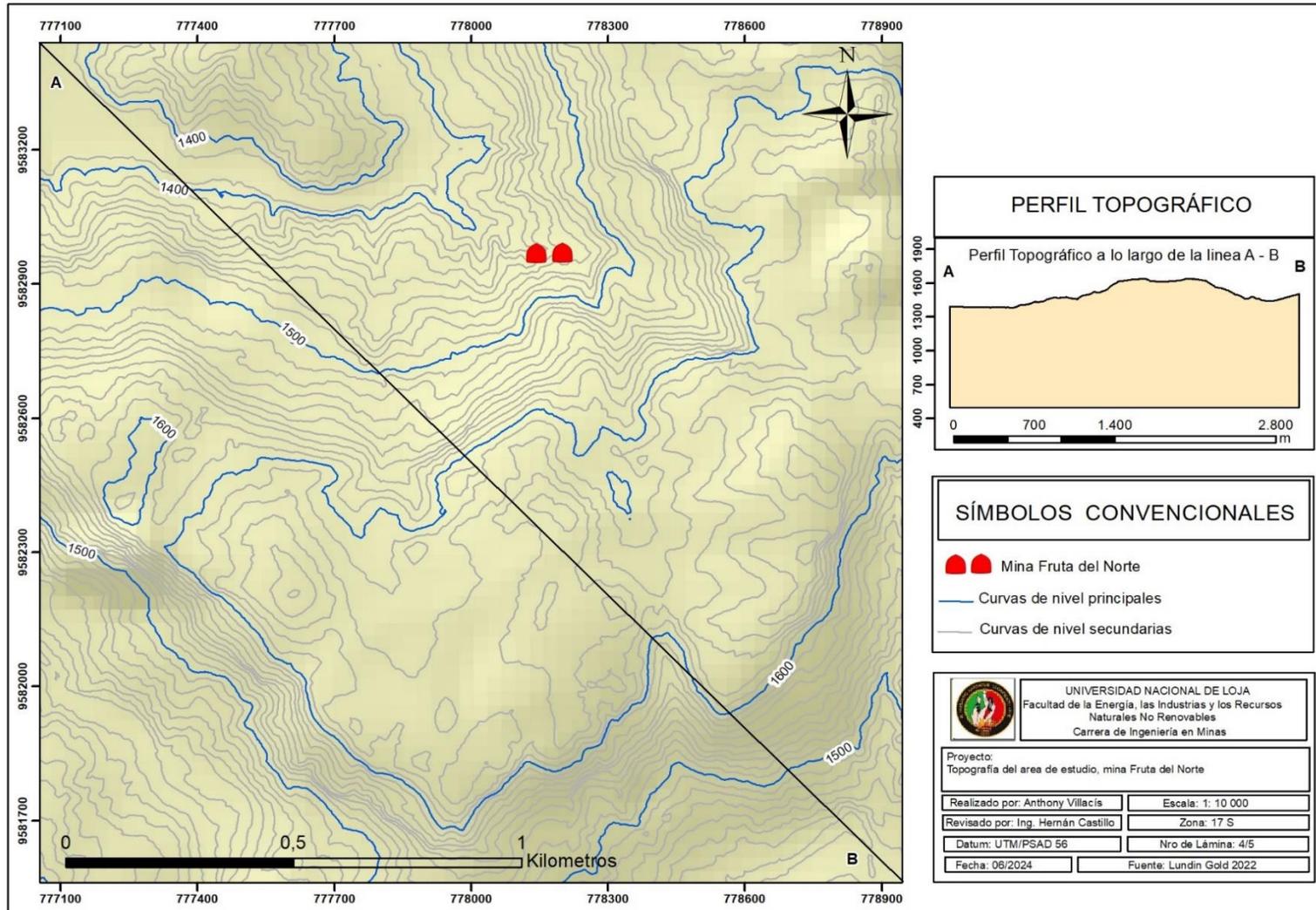
Anexo 2. Mapa de geología regional.



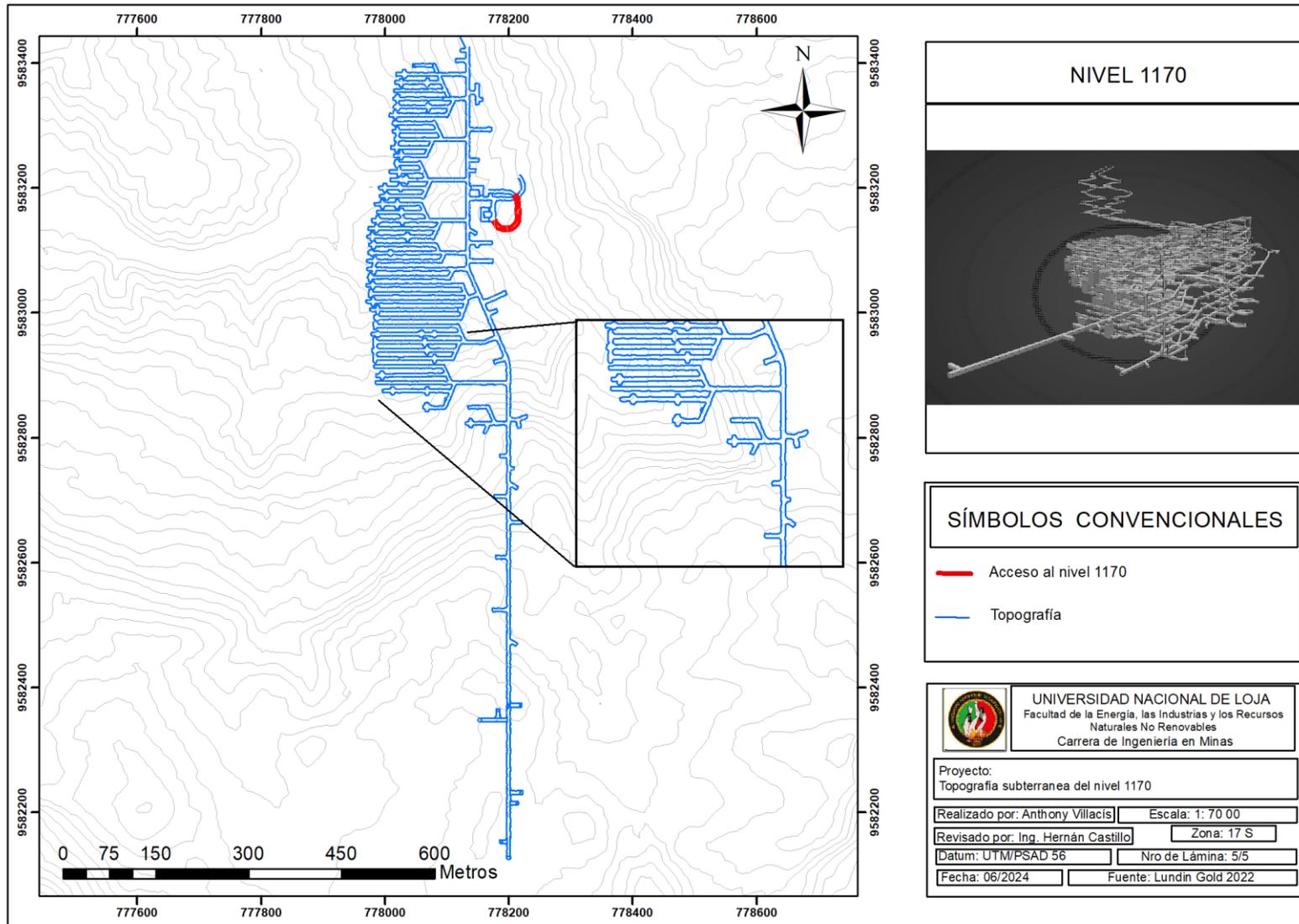
Anexo 3. Mapa de geología local



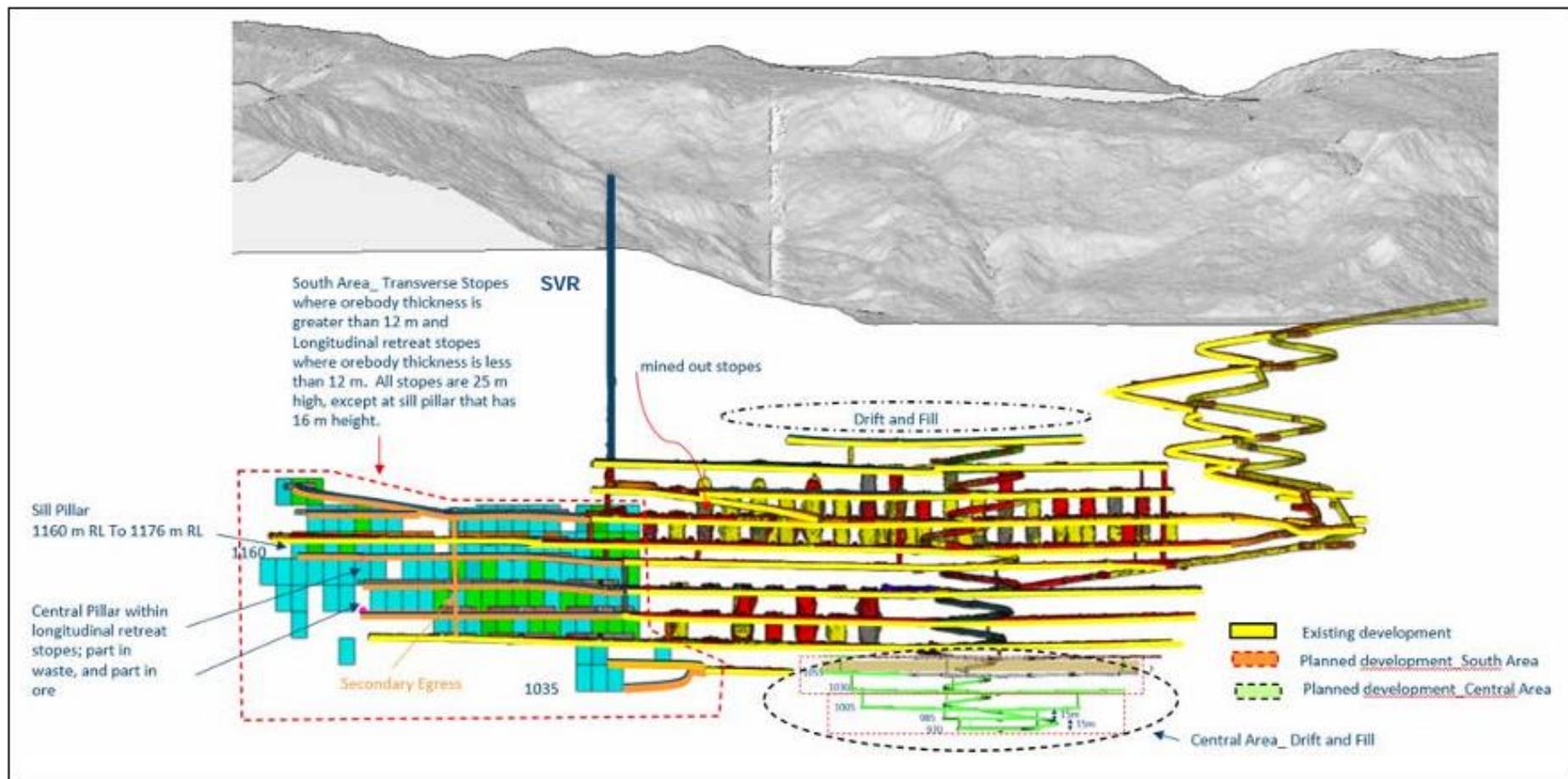
Anexo 4. Topografía superficial del área de estudio.



Anexo 5. Topografía subterránea del nivel 1170 sur.

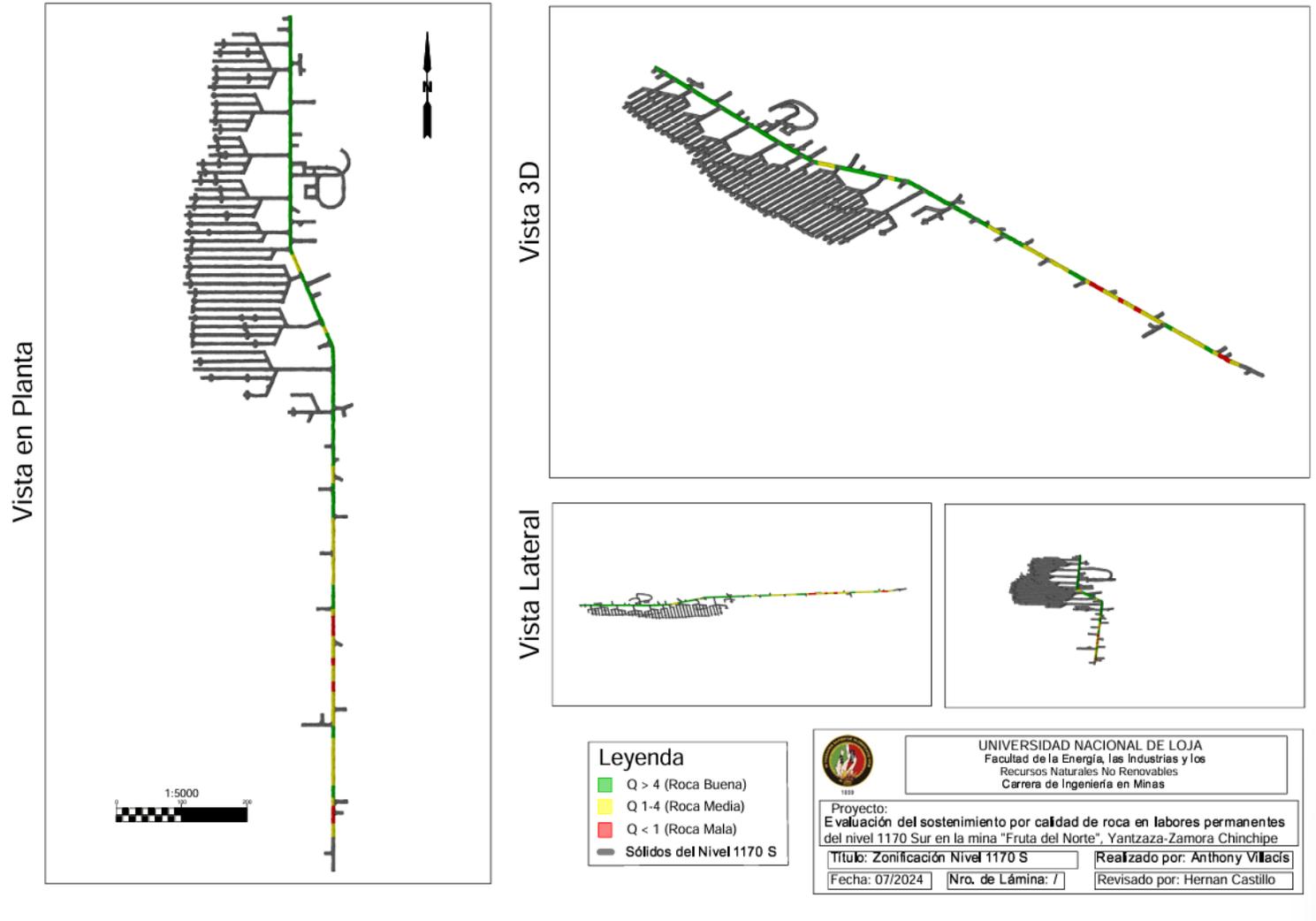


Anexo 6. Esquema general de la mina “Fruta del Norte”.



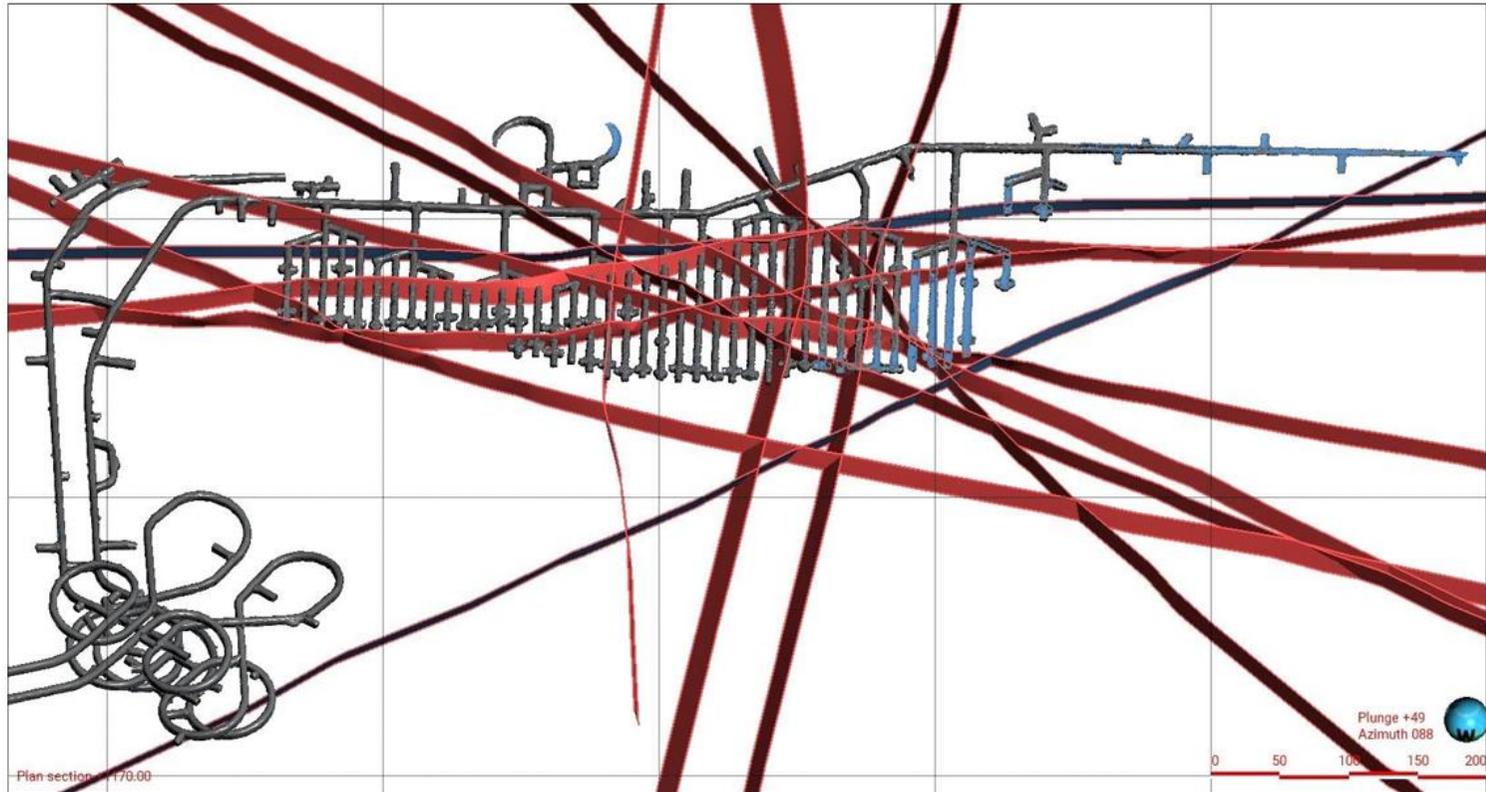
Anexo 7. Zonificación de la geomecánica del nivel 1170 Sur.

Zonificación Nivel 1170 Sur



Anexo 8. Estructuras presentes en el nivel 1170

ESTRUCTURAS DEL NIVEL 1170

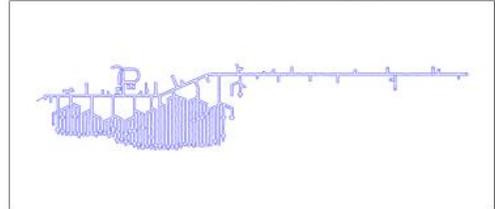


Leyenda

- Sólidos de desarrollo
- Fallas

NIVEL DE ALTERACIÓN DE LAS ARCILLAS

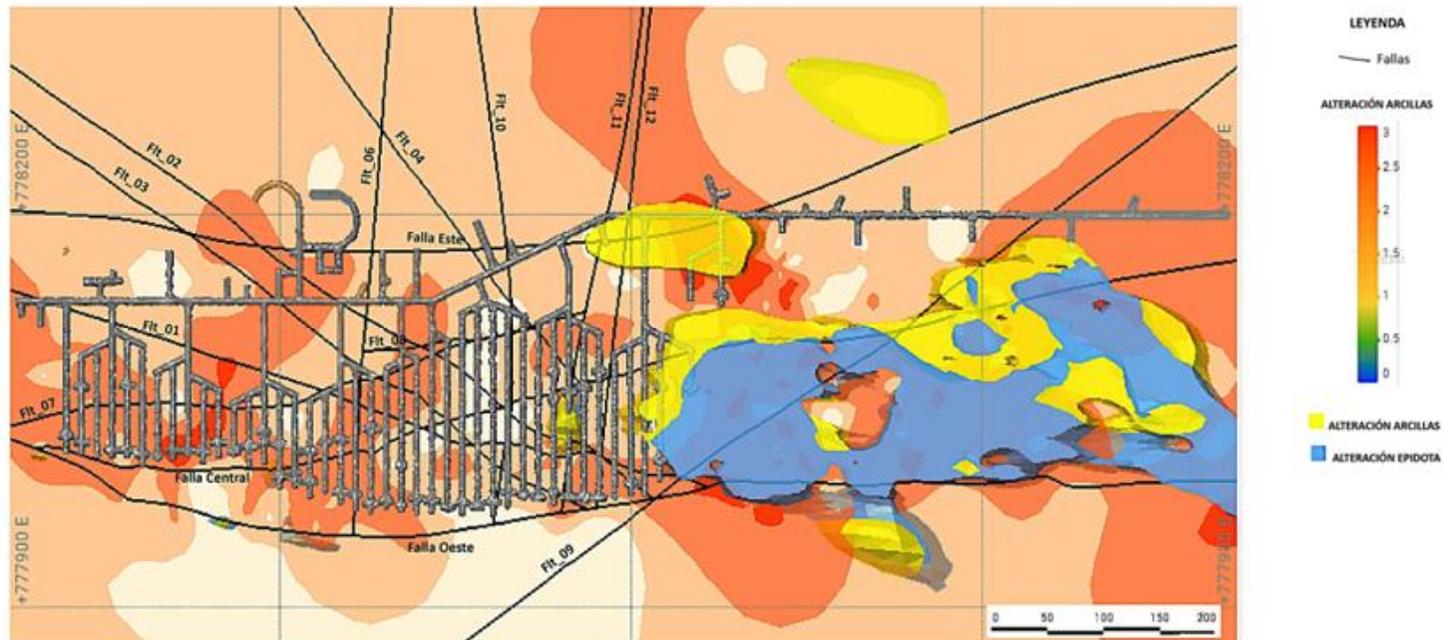
- < 2.0
- 2.0 - 2.5
- 2.5 - 3.0
- > 3.0



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultades de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Ingeniería en Minas	
	Proyecto: Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina "Fruta del Norte", Yantzaza-Zamora Chinchipe	
	Título: Estructuras del Nivel 1170 S	Realizado por: Anthony Villacís
	Fecha: 07/2024	Nro. de Lámina: /
		Revisado por: Hernan Castillo

Anexo 9. Nivel de alteración de arcillas en el Nivel 1170

NIVEL DE ALTERACIÓN EN EL NIVEL 1170



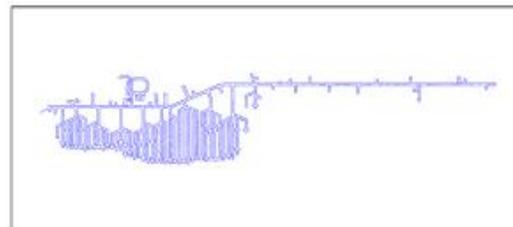
Leyenda

— Sólidos de desarrollo

— Fallas

NIVEL DE ALTERACIÓN DE LAS ARCILLAS

< 2.0
2.0 - 2.5
2.5 - 3.0
> 3.0

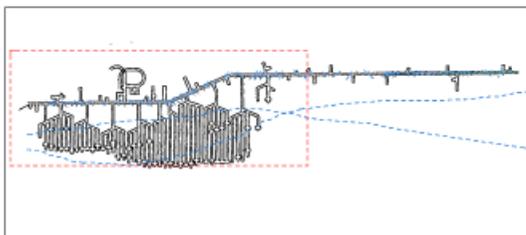
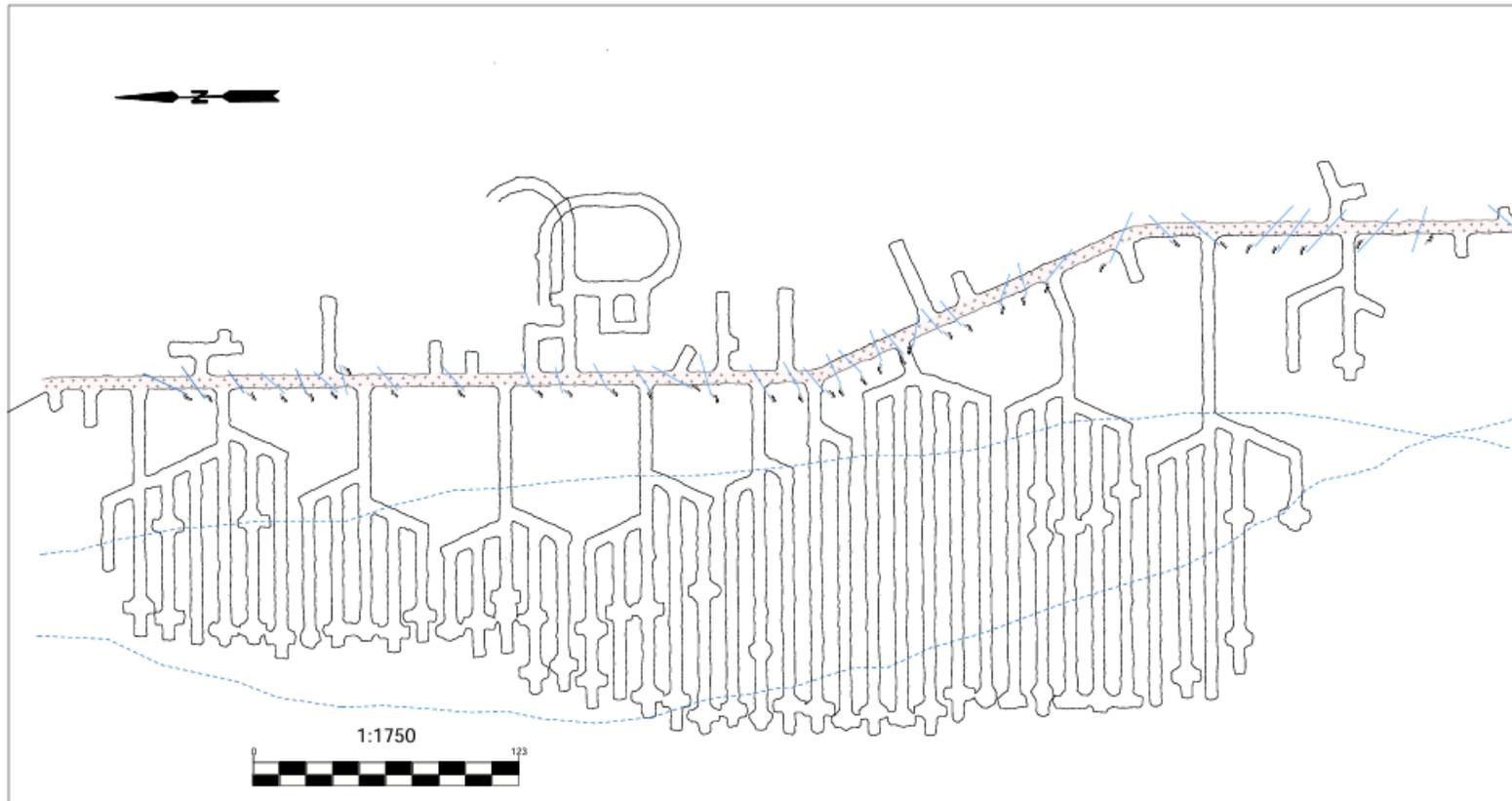


UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 Facultades de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables
 Carrera de Ingeniería en Minas

Proyecto:
 Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina "Fruta del Norte", Yantzaza-Zamora Chinchipe

Título: Alteraciones del Nivel 1170 S	Realizado por: Anthony Villacis
Fecha: 07/2024	Nro. de Lámina: /
	Revisado por: Hernan Castillo

Anexo 10. Mapa geológico local de la galería del nivel 1170 Sur



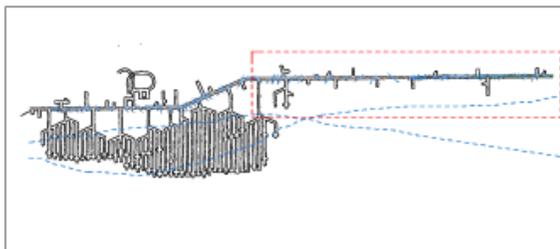
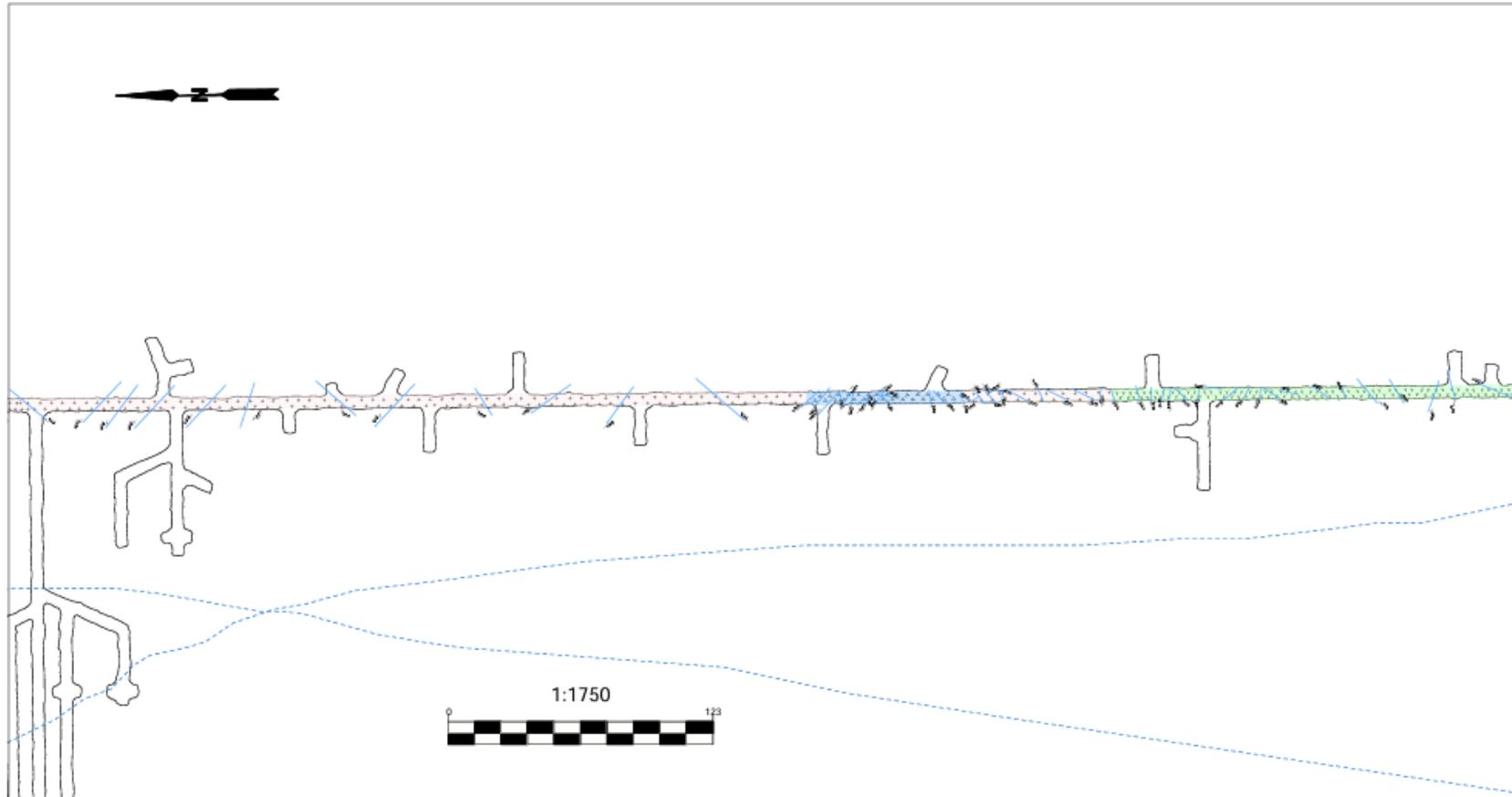
Leyenda

- Pf-Pírfido
- Va-Volcánico Andesítico
- Xp_lp-Brecha íetomagnética y Pírfido
- Topografía_1170 S
- Fallas principales
- Fallas mapeadas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
Facultad de la Energía, las Industrias y los
Recursos Naturales No Renovables
Carrera de Ingeniería en Minas

Proyecto:
Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina "Fruta del Norte", Yantzaza-Zamora Chinchipe

Título: Geología Nivel 1170	Realizado por: Anthony Villacís
Fecha: 07/2024	Nro. de Lámina: 7
Revisado por: Hernan Castillo	



Legenda

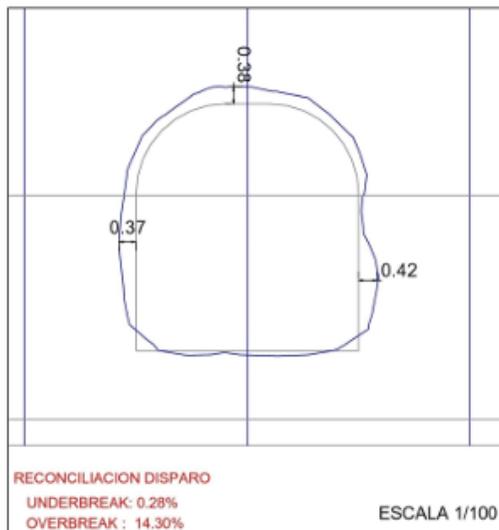
- Pf-Pórfido
- Va-Volcánico Andesítico
- Xp_Jp-Brecha fretomagmática y Pórfido
- Topografía 1170 S
- Fallas principales
- - - Fallas mapeadas
- Zona del plano 1170 S

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Ingeniería en Minas
Proyecto: Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina "Fruta del Norte", Yantzaza-Zamora Chinchipe	
Título: Geología Nivel 1170	Realizado por: Anthony Villacís
Fecha: 07/2024	Nro. de Lámina: /
Revisado por: Hernan Castillo	

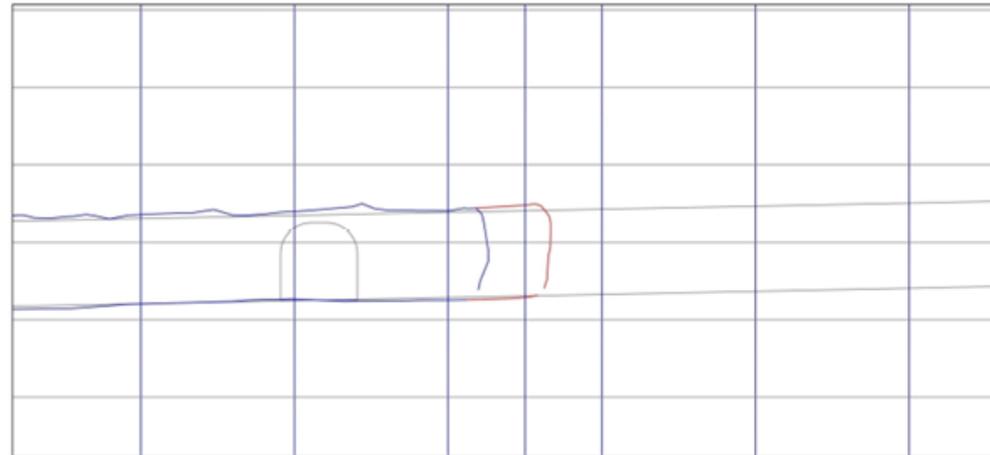
Anexo 11. Sobre excavación la galería del 1170

SOBRE-EXCAVACIÓN 1170

EXCAVACIÓN SECCIÓN 1170



SECCIÓN DEL NIVEL 1170 SUR



Leyenda

- Diseño real
- Topografía
- Siguiete disparo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
Facultad de la Energía, las Industrias y los
Recursos Naturales No Renovables
Carrera de Ingeniería en Minas

Proyecto:
Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes
del nivel 1170 Sur en la mina "Fruta del Norte", Yantzaza-Zamora Chinchipe

Título: Sobreexcavación 1170 S

Realizado por: Anthony Villacís

Fecha: 07/2024

Nro. de Lámina: /

Revisado por: Hernan Castillo

Anexo 12. Propiedades de las litologías

Lithology (2015)	Representative Intact UCS (MPa)	PLT-UCS CF -	Unconfined Compressive Strength			PLT (IS ₅₀)			PLT-UCS Conversion Factor		Field Estimate IRS		Brazilian Indirect Tensile Strength				Young's Modulus	Poisson's Ratio	Density
			Count (Historical Tests)	Mean (MPa)	Std Dev (MPa)	Count	Mean (MPa)	Std Dev (MPa)	Direct UCS-PLT	Global UCS-PLT	Direct	Global	Count	Mean (MPa)	Std Dev (MPa)	Converted to UCS (MPa)	Mean (GPa)	Mean	Mean
			-	-	-	-	-	-	-	-	(MPa)	(MPa)	-	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	-	g/cm ³
Fruta Andesite	130	23	13 (12)	130	79	68	5.62	0.87	10	23	150	89	-	-	-	-	42.1	0.16	-
Hollin Sandstone	70	22	2 (2)	168	9	42	3.29	1.53	-	51	-	23	-	-	-	-	32.0	0.15	-
Hydrothermal Breccia	71	21	16 (14)	71	23	148	3.36	1.89	31	21	74	75	4	5.73	2.25	52	30.4	0.14	2.68
Intrusive Andesite	61	17	14 (10)	61	22	491	3.65	1.68	13	17	73	64	5	4.32	0.4	45	26.6	0.13	2.66
Machinaza Tuff	49	31	6 (4)	49	32	127	1.59	1.34	15	31	38	33	-	-	-	-	17.4	0.13	2.57
Misahualli Andesite	59	18	15 (14)	59	24	165	2.99	1.92	18	20	75	48	4	3.86	1.71	43	60.4	0.21	2.61
Phreatomagmatic Breccia	50	19	7 (3)	50	21	371	3.26	1.36	19	15	77	54	24	5.11	1.34	49	29.0	0.15	2.68
Sinter	67	26	4 (4)	67	8	17	2.54	2.27	-	26	-	40	-	-	-	-	24.9	0.14	-
Suarez Conglomerate	64	21	19 (13)	64	34	657	2.58	1.96	21	25	63	41	-	-	-	-	49.1	0.17	2.63
Suarez Mixed Sediments	40	22	15 (13)	74	34	442	1.84	1.3	-	40	57	34	-	-	-	-	34.8	0.20	2.64
Zamora Batholith	75	21	3 (3)	75	31	220	3.54	2.05	-	21	-	59	-	-	-	-	140.1	0.36	-
Vein	73	22	1 (0)	73	-	17	4.32	2.26	-	21	-	89	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 13. Discontinuidades tomadas en campo durante los mapeos geomecánicos.

DIP	DIP DIRECTIO	TIPO	RELLENO	ESPEJOR	RUGOSID	PERSISTEN A	UBICACI ÓN	COMENT ARIO	DIP	DIP DIRECTIO	TIPO	RELLE NO	ESPE OR	RUGOSI DAD	PERSIS TENCIA	UBICAC IÓN	COMEN TARIO	DIP	DIP DIREC	TIPO	RELLE NO	ESPE OR	RUGO SIDAD	PERSI STEN	UBICÓ	COME NTARI
30	250 F	Blando		0,3 Lisa	P1	F			50	150 F	Blando	0,5 Lisa	P1	F				50	230 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B			
70	25 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			75	210 F	Blando	0,1 Lisa	P1	F												
60	20 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			60	230 F	Blando	0,1 Lisa	P1	F				50	330 F	Blando	0,1 Lisa	P1	HIZ			
80	230 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			70	60 F	Blando	0,1 Lisa	P1	F												
25	230 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			55	300 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B				78	265 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B			
25	110 F	Blando		2 Lisa	P1	F			70	250 F	Blando	0,5 Lisa	P1	B												
80	330 F	Blando		1,5 Lisa	P1	B																				
78	130 F	Blando		1 Lisa	P1	B			48	190 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B												
50	100 F	Blando		0,5 Lisa	P1	F			40	305 F	Blando	0,1 Lisa	P1	F				10	215 F	Blando	0,05 Lisa	P1	F			
35	200 F	Blando		0,1 Lisa	P1	F																				
60	300 F	Blando		0,1 Lisa	P1	F																				
70	300 F	Blando		0,05 Lisa	P1	F			65	86 F	Blando	0,05 Lisa	P1	F				60	30 F	Blando	0,05 Lisa	P1	F			
56	80 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B																				
28	36 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B																				
50	110 F	Duro		0,5 Rugosa	P1	FW																				
56	88 F	Blando		0,1 Lisa	P1	HW			60	312 F	Blando	0,05 Lisa	P1	F												
50	115 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			70	110 F	Blando	0,05 Leve	P1	HW												
60	130 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B			50	110 F	Blando	0,1 Lisa	P1	HW												
30	30 F	Blando		0,1 Lisa	P1	HW			70	220 F	Blando	0,05 Lisa	P1	B												
50	80 F	Blando		0,3 Lisa	P1	F			80	165 F	Blando	0,05 Lisa	P1	B												
30	75 F	Blando		0,2 Lisa	P1	HDER			85	100 F	Blando	0,2 Lisa	P2													
60	60 F	Blando		1 Lisa	P1	B			60	30 F	Blando	0,2 Lisa	P1	HE												
80	283 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B y F																				
80	283 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B y F																				
86	292 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B y F			85	266 F	Blando	0,2 Lisa	P1	HE												
70	320 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			50	130 F	Blando	0,1 Lisa	P1	HE				50	80 F	Blando	0,05 Lisa	P1	HI			
45	245 F	Blando		0,1 Lisa	P1	F			50	155 F	Blando	0,1 Lisa	P1	HE				50	80 F	Blando	0,05 Lisa	P1	HI			
60	150 F	Blando		0,1 Lisa	P1	F																				
75	160 F	Blando		0,1 Lisa	P2	F																				
60	340 F	Blando		0,1 Lisa	P2	F			70	130 F	Blando	0,05 Leve	P2	B												
60	340 F	Blando		0,1 Lisa	P2	F			70	150 F	Blando	0,05 Leve	P2	B												
42	243 SF	Blando		0,05 Lisa	P1	HE																				
55	230 SF	Blando		0,1 Lisa	P1	B			60	265 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B				60	30 F	Blando	0,05 Leve	P1	B			
60	225 SF	Blando		0,1 Lisa	P1	B			60	265 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B				70	40 MF	Blando	0,05 Leve	P1	B			
75	350 SF	Blando		0,5 Lisa	P1	B			30	240 F	Blando	0,1 Lisa	P1	B				40	120 F	Blando	0,01 Leve	P2	F			
80	245 SF	Blando		0,02 Lisa	P1	B			30	310 F	Blando	0,02 Lisa	P1	HW				40	100 F	Blando	0,01 Leve	P2	F			
70	75 F	Blando		0,2 Lisa	P1	B																				
40	30 F	Blando		0,05 Lisa	P1	HE			30	270 F	Blando	0,03 Lisa	P1	HW												
70	105 F	Blando		0,05 Lisa	P1	F			50	20 F	Blando	0,02 Lisa	P1	B												
70	130 F	Blando		0,05 Lisa	P1	HW																				
75	300 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B			70	250 F	Blando	0,03 Lisa	P1	HE												
75	160 F	Blando		0,2 Lisa	P1	B																				
76	238 F	Blando		0,2 Lisa	P1	HIZ			68	138 F	Blando	0,03 Lisa	P1	HD												
70	120 F	Blando		0,05 Lisa	P1	HW																				
70	122 F	Blando		0,05 Lisa	P1	HW																				
85	175 F	Blando		0,05 Lisa	P1	F			85	230 F	Blando	0,05 Lisa	P1	F												
80	355 F	Blando		0,05 Lisa	P1	MF			44	230 F	Blando	0,05 Lisa	P1	HW				55	230 F	Blando	0,01 Leve	P2	HW			
68	118 J	Duro		0,05	P1	MF			44	230 F	Blando	0,05 Lisa	P1	HW				55	230 F	Blando	0,01 Leve	P2	HW			
80	60 F	Blando		0,05 Lisa	P1	HW																				
70	270 F	Blando		0,01 Lisa	P1	HE																				
77	341 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B																				
70	70 F	Blando		0,05 Lisa	P1	F			76	240 F	Blando	0,05 Lisa	P1	HE												
70	320 F	Blando		0,05 Leve	P1	F			50	140 F	Blando	0,05 Lisa	P1	HE												
80	75 F	Blando		0,1 Lisa	P1	F Y B			30	0 F	Blando	0,1 Lisa	P2	F												
80	120 F	Blando		0,05 Lisa	P1	HW			40	310 F	Blando	0,02 Lisa	P2	B												
50	85 F	Blando		0,02 Lisa	P1	HW																				
70	80 F	Blando		0,1 Lisa	P1	F Y B																				
80	185 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B			70	120 F	Blando	0,2 Lisa	P1	F												
70	110 F	Blando		0,05 Leve	P1	HW																				
40	75 F	Blando		0,2 Lisa	P1	B																				
60	60 F	Blando		0,1 Lisa	P1	B																				
44	160 F	Blando		0,05 Lisa	P2	HE																				
50	120 F	Blando		0,05 Lisa	P2	B																				
84	76 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B																				
60	105 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B			60	240 F	Blando	0,05 Lisa	P1	B												
70	140 F	Blando		0,05 Lisa	P1	B			85	252 F	Blando	0,05 Lisa	P1	B												
70	85 F	Blando		1 Lisa	P1	F																				

Anexo 14. Mapeo geomecánico en el nivel 1170 sur.

CONTROL DEL TERRENO		CHECK LIST DE RECOMENDACIÓN DE SOPORTE			AREA DE GEOMECANICA		
NIVEL:	1170	FECHA:	2024/01/24	GEOMECANICO:		DI INICIO	1201.10
LABOR:	S.a	TURNO:	A	RGA:	333	DI FIN:	1205.40
TIPO DE ROCA		⇒		R _x I / Q = 6.67			
PARÁMETROS GEOMECAÑICOS							
RMR (Bienawski 1989)	OPCION 1	OPCION 2	OPCION 3	Q (Barton)	OPCION 1	OPCION 2	OPCION 3
RCU (MPa)	4			ROD	80		
ROD (%)	17			J _n	0		
ESP (cm)	10			J _r	2.5		
PERSISTENCIA (m)	1			J _a	3		
APERTURA (mm)	1			J _w	1		
RUGOSIDAD	3			SRF	1		
RELLENO (mm)	1			Q	6.67		
INTEMPERIZACION	3			$Q = \frac{ROD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$			
AGUA SUBT.	15			SECCIÓN: 5.5m x 5.0m			
RMR BASICO	55						
ESTRUCT. DESFAVORABLE	79/113						
RMR AJUSTADO	43						
TIPO DE SOSTENIMIENTO							
CROQUIS SECCIÓN				CROQUIS PLANTA			
<p>ROCA I / SISTEM</p> <p>NICHTO FERNONDI</p> <p>TE EN DOMINIO</p> <p>BUELO</p>							

Anexo 15. Evaluación geomecánica del nivel 1170 sur.

Ramp	Type	RGA	From (m)	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	RMR INFERIOR	RMR EVALUATED	
1170	Level	1	1,64	5,30	3,66	Good	Perman	70	6	1	3	1	1	3,89	50,16	50,16
1170	Level	2	5,30	8,70	3,40	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	3	8,70	12,40	3,70	Good	Perman	80	4	1,5	3	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	4	12,40	16,10	3,70	Good	Perman	80	6	1	2	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	5	16,10	19,80	3,70	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44	51,00	51,00
1170	Level	6	19,80	23,50	3,70	Good	Perman	75	9	1	2	1	1	4,17	50,59	50,59
1170	Level	7	23,50	27,10	3,60	Good	Perman	75	6	1	3	1	1	4,17	50,59	50,59
1170	Level	8	27,10	30,80	3,70	Good	Perman	80	6	1	2	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	9	30,80	34,00	3,20	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	10	34,00	37,80	3,80	Good	Perman	85	9	1,5	1	1	1	14,17	58,30	58,30
1170	Level	11	37,80	41,40	3,60	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	12	41,40	45,00	3,60	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	13	45,00	48,60	3,60	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72	51,38	51,38
1170	Level	14	48,60	52,30	3,70	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,50	54,29	54,29
1170	Level	15	52,30	55,70	3,40	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72	51,38	51,38
1170	Level	16	55,70	59,10	3,40	Good	Perman	95	6	1,5	3	1	1	7,92	54,63	54,63
1170	Level	17	59,10	62,30	3,20	Good	Perman	100	4	1	3	1	1	8,33	54,96	54,96
1170	Level	18	62,30	65,80	3,50	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	19	65,80	69,10	3,30	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	20	69,10	72,00	2,90	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	21	72,00	75,50	3,50	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	22	75,50	79,10	3,60	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	23	79,10	82,60	3,50	Good	Perman	95	6	1,5	1	1	1	23,75	61,56	61,56
1170	Level	24	82,60	86,20	3,60	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	25	86,20	89,70	3,50	Good	Perman	95	6	1,5	1	1	1	23,75	61,56	61,56
1170	Level	26	89,70	93,10	3,40	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	27	93,10	96,50	3,40	Good	Perman	75	9	1,5	2	1	1	6,25	53,15	53,15
1170	Level	28	96,50	98,10	1,60	Good	Perman	65	6	1	3	1	1	3,61	49,69	49,69
1170	Level	29	98,10	101,00	2,90	Good	Perman	80	6	1	2	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	30	101,00	103,90	2,90	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	31	103,90	106,90	3,00	Good	Perman	95	6	1,5	2	1	1	11,88	57,19	57,19
1170	Level	32	106,90	110,40	3,50	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	33	110,40	113,70	3,30	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	34	113,70	117,00	3,30	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	35	117,00	120,10	3,10	Good	Perman	85	6	1,5	2	0,66	1	7,01	53,87	53,87
1170	Level	36	120,10	123,60	3,50	Good	Perman	85	6	1,5	2	0,66	1	7,01	53,87	53,87
1170	Level	37	123,60	126,40	2,80	Good	Perman	85	4	1	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	38	126,40	129,70	3,30	Good	Perman	85	4	2	2	0,5	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	39	129,70	132,90	3,20	Good	Perman	90	3	1,5	2	0,66	1	14,85	58,60	58,60
1170	Level	40	132,90	136,00	3,10	Good	Perman	90	4	1,5	2	0,66	1	11,14	56,79	56,79
1170	Level	41	136,00	138,60	2,60	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	42	138,60	142,10	3,50	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	43	142,10	144,70	2,60	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	44	144,70	147,50	2,80	Good	Perman	75	6	1,5	0,75	1	1	25,00	61,88	61,88
1170	Level	45	147,50	150,20	2,70	Good	Perman	80	4	1,5	1	1	1	30,00	63,03	63,03
1170	Level	46	150,20	153,10	2,90	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	47	153,10	156,30	3,20	Good	Perman	90	4	1,5	1	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	48	156,30	159,80	3,50	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	49	159,80	162,40	2,60	Good	Perman	90	4	1,5	1	1	1	33,75	63,77	63,77

Ramp	Type	RGA	From (	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	RMR INFERIDC	RMR EVALUAL	
1170	Level	50	162,40	165,30	2,90	Good	Perman	90	3	1	2	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	51	165,30	168,40	3,10	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	53	171,10	173,60	2,50	Good	Perman	85	4	1,5	1	1	1	31,88	63,41	63,41
1170	Level	54	173,60	175,80	2,20	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	55	175,80	177,60	1,80	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	56	177,60	180,20	2,60	Good	Perman	90	4	1,5	1	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	57	180,20	183,70	3,50	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	58	183,70	186,50	2,80	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	59	186,50	188,10	1,60	Good	Perman	90	3	1,5	1	1	1	45,00	65,58	65,58
1170	Level	60	188,10	191,30	3,20	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	61	191,30	194,40	3,10	Good	Perman	100	3	1,5	2	1	1	25,00	61,88	61,88
1170	Level	62	194,40	197,40	3,00	Good	Perman	85	3	1,5	1	1	1	42,50	65,22	65,22
1170	Level	63	197,40	200,70	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	64	200,70	203,70	3,00	Good	Perman	100	4	2	1	1	1	50,00	66,25	66,25
1170	Level	65	203,70	207,20	3,50	Good	Perman	95	3	1,5	2	1	1	23,75	61,56	61,56
1170	Level	66	207,20	210,70	3,50	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	67	210,70	213,90	3,20	Good	Perman	90	3	1,5	1	1	1	45,00	65,58	65,58
1170	Level	68	213,90	216,90	3,00	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	69	216,90	220,10	3,20	Good	Perman	90	2	1,5	2	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	70	220,10	223,20	3,10	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	71	223,00	226,50	3,50	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	72	226,50	229,90	3,40	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	73	229,90	233,30	3,40	Good	Perman	85	4	1,5	1	1	1	31,88	63,41	63,41
1170	Level	74	233,30	236,20	2,90	Good	Perman	85	2	1,5	2	1	1	31,88	63,41	63,41
1170	Level	75	236,20	239,50	3,30	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	76	239,50	242,80	3,30	Good	Perman	90	2	1,5	2	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	77	242,80	246,10	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	78	246,10	249,60	3,50	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	79	249,60	253,00	3,40	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	80	253,00	256,40	3,40	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	81	256,40	260,00	3,60	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	82	260,00	263,30	3,30	Good	Perman	90	4	1,5	1	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	83	263,30	266,40	3,10	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	84	266,40	269,40	3,00	Good	Perman	85	6	1	1	1	1	14,17	58,30	58,30
1170	Level	85	269,40	272,40	3,00	Good	Perman	90	6	1	1	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	86	272,40	275,70	3,30	Good	Perman	90	9	1,5	1	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	87	275,70	279,00	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	88	279,00	282,40	3,40	Good	Perman	70	6	1,5	1	1	1	17,50	59,63	59,63
1170	Level	89	282,40	286,00	3,60	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	90	286,00	289,50	3,50	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	91	289,50	293,00	3,50	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	92	293,00	296,60	3,60	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	93	296,60	300,10	3,50	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	94	300,10	303,40	3,30	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	95	303,40	306,90	3,50	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	96	306,90	310,00	3,10	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	97	310,00	313,80	3,80	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	98	313,80	317,30	3,50	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	99	317,30	320,20	2,90	Good	Perman	95	6	1,5	1	1	1	23,75	61,56	61,56

Ramp	Type	RGA	From (	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	RMR INFERIDC	RMR EVALUAI
1170	Level	50	162,40	165,30	2,90	Good	Perman	90	3	1	2	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	51	165,30	168,40	3,10	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	53	171,10	173,60	2,50	Good	Perman	85	4	1,5	1	1	31,88	63,41	63,41
1170	Level	54	173,60	175,80	2,20	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	55	175,80	177,60	1,80	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	56	177,60	180,20	2,60	Good	Perman	90	4	1,5	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	57	180,20	183,70	3,50	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	58	183,70	186,50	2,80	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	59	186,50	188,10	1,60	Good	Perman	90	3	1,5	1	1	45,00	65,58	65,58
1170	Level	60	188,10	191,30	3,20	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	61	191,30	194,40	3,10	Good	Perman	100	3	1,5	2	1	25,00	61,88	61,88
1170	Level	62	194,40	197,40	3,00	Good	Perman	85	3	1,5	1	1	42,50	65,22	65,22
1170	Level	63	197,40	200,70	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	64	200,70	203,70	3,00	Good	Perman	100	4	2	1	1	50,00	66,25	66,25
1170	Level	65	203,70	207,20	3,50	Good	Perman	95	3	1,5	2	1	23,75	61,56	61,56
1170	Level	66	207,20	210,70	3,50	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	67	210,70	213,90	3,20	Good	Perman	90	3	1,5	1	1	45,00	65,58	65,58
1170	Level	68	213,90	216,90	3,00	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	69	216,90	220,10	3,20	Good	Perman	90	2	1,5	2	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	70	220,10	223,20	3,10	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	71	223,00	226,50	3,50	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	72	226,50	229,90	3,40	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	73	229,90	233,30	3,40	Good	Perman	85	4	1,5	1	1	31,88	63,41	63,41
1170	Level	74	233,30	236,20	2,90	Good	Perman	85	2	1,5	2	1	31,88	63,41	63,41
1170	Level	75	236,20	239,50	3,30	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	76	239,50	242,80	3,30	Good	Perman	90	2	1,5	2	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	77	242,80	246,10	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	78	246,10	249,60	3,50	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	79	249,60	253,00	3,40	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	80	253,00	256,40	3,40	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	81	256,40	260,00	3,60	Good	Perman	90	3	1,5	2	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	82	260,00	263,30	3,30	Good	Perman	90	4	1,5	1	1	33,75	63,77	63,77
1170	Level	83	263,30	266,40	3,10	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	84	266,40	269,40	3,00	Good	Perman	85	6	1	1	1	14,17	58,30	58,30
1170	Level	85	269,40	272,40	3,00	Good	Perman	90	6	1	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	86	272,40	275,70	3,30	Good	Perman	90	9	1,5	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	87	275,70	279,00	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	88	279,00	282,40	3,40	Good	Perman	70	6	1,5	1	1	17,50	59,63	59,63
1170	Level	89	282,40	286,00	3,60	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	90	286,00	289,50	3,50	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	91	289,50	293,00	3,50	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	92	293,00	296,60	3,60	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	93	296,60	300,10	3,50	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	94	300,10	303,40	3,30	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	95	303,40	306,90	3,50	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	96	306,90	310,00	3,10	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	97	310,00	313,80	3,80	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	98	313,80	317,30	3,50	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	99	317,30	320,20	2,90	Good	Perman	95	6	1,5	1	1	23,75	61,56	61,56

Ramp	Type	RGA	From (	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support		RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	RMR INFERIDC	RMR EVALUAT
1170	Level	100	320,20	323,70	3,50	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	101	323,70	327,60	3,90	Good	Perman	70	6	1,5	2	1	1	8,75	55,27	55,27
1170	Level	102	327,60	331,50	3,90	Good	Perman	60	4	1	2	1	1	7,50	54,29	54,29
1170	Level	103	331,50	334,50	3,00	Good	Perman	90	6	1	2	1	1	7,50	54,29	54,29
1170	Level	104	334,50	338,40	3,90	Good	Perman	70	9	1,5	3	1	1	3,89	50,16	50,16
1170	Level	105	338,40	341,80	3,40	Good	Perman	75	6	1	3	1	1	4,17	50,59	50,59
1170	Level	106	341,80	345,60	3,80	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	107	345,60	349,60	4,00	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	108	349,60	353,00	3,40	Good	Perman	85	9	1,5	2	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	109	353,00	357,00	4,00	Good	Perman	90	6	1,5	1	1	1	22,50	61,22	61,22
1170	Level	110	357,00	360,40	3,40	Good	Perman	75	9	1,5	2	1	1	6,25	53,15	53,15
1170	Level	111	360,40	364,20	3,80	Good	Perman	85	9	1	2	1	1	4,72	51,38	51,38
1170	Level	112	364,20	367,90	3,70	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96	48,44	48,44
1170	Level	113	367,90	371,60	3,70	Good	Perman	85	9	1	3	1	1	3,15	48,82	48,82
1170	Level	114	371,60	375,50	3,90	Good	Perman	85	9	1	3	1	1	3,15	48,82	48,82
1170	Level	115	375,50	379,40	3,90	Good	Perman	85	9	1	3	1	1	3,15	48,82	48,82
1170	Level	116	379,40	383,10	3,70	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96	48,44	48,44
1170	Level	117	383,10	386,70	3,60	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72	51,38	51,38
1170	Level	118	386,70	390,00	3,30	Fair	Perman	70	12	1	2	1	1	2,92	48,34	48,34
1170	Level	119	390,00	393,50	3,50	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96	48,44	48,44
1170	Level	120	393,50	396,40	2,90	Good	Perman	85	6	1	2	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	121	396,40	399,50	3,10	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,50	54,29	54,29
1170	Level	122	399,50	402,60	3,10	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	123	402,60	406,60	4,00	Good	Perman	85	6	1	2	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	124	406,60	410,20	3,60	Good	Perman	80	6	1	2	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	125	410,20	413,70	3,50	Good	Perman	95	4	1,5	1	1	1	35,63	64,11	64,11
1170	Level	126	413,70	416,80	3,10	Good	Perman	90	9	1,5	2	1	1	7,50	54,29	54,29
1170	Level	127	416,80	420,80	4,00	Good	Perman	90	9	1,5	1	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	128	420,80	424,70	3,90	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	129	424,70	428,40	3,70	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	130	428,40	432,10	3,70	Good	Perman	80	9	1,5	2	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	131	432,10	435,40	3,30	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44	51,00	51,00
1170	Level	132	435,40	439,10	3,70	Good	Perman	80	6	1	2	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	133	439,10	442,60	3,50	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	134	442,60	446,30	3,70	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	135	446,30	450,00	3,70	Good	Perman	90	4	1,5	3	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	136	450,00	453,70	3,70	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	137	453,70	457,10	3,40	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	138	457,10	461,40	4,30	Good	Perman	80	9	1,5	3	1	1	4,44	51,00	51,00
1170	Level	139	461,40	465,00	3,60	Good	Perman	80	9	1,5	3	1	1	4,44	51,00	51,00
1170	Level	140	465,00	468,50	3,50	Good	Perman	80	9	1,5	3	1	1	4,44	51,00	51,00
1170	Level	141	468,50	472,00	3,80	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	142	472,00	475,60	3,60	Good	Perman	85	4	1	3	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	143	475,60	479,7	4,10	Good	Perman	85	3	1,5	3	1	1	14,17	58,30	58,30
1170	Level	144	479,70	483,80	4,10	Good	Perman	80	12	1,5	2	1	1	5,00	51,74	51,74
1170	Level	145	483,80	487,50	3,70	Fair	Perman	80	6	1	4	1	1	3,33	49,19	49,19
1170	Level	146	487,50	491,10	3,60	Fair	Perman	80	9	1	4	1	1	2,22	46,63	46,63
1170	Level	147	491,10	495,10	4,00	Fair	Perman	85	9	1	4	1	1	2,36	47,01	47,01
1170	Level	148	495,10	499,10	4,00	Good	Perman	75	6	1	3	1	1	4,17	50,59	50,59

Ramp	Type	RGA	From (	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support		RQD	Jn	Jr	Ja	Jv	SRF	Q	RMR INFERIDC	RMR EVALUAL
1170	Level	149	499,10	503,10	4,00	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	150	503,10	507,00	3,90	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	151	507,00	511,00	4,00	Good	Perman	100	3	1,5	2	1	1	25,00	61,88	61,88
1170	Level	152	511,00	514,90	3,90	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	153	514,90	519,10	4,20	Good	Perman	90	4	1	3	1	1	7,50	54,29	54,29
1170	Level	154	519,10	523,20	4,10	Good	Perman	80	4	1	3	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	155	523,20	527,40	4,20	Good	Perman	80	6	1,5	2	1	1	10,00	56,11	56,11
1170	Level	156	527,40	531,20	3,80	Good	Perman	70	6	1,5	2	1	1	8,75	55,27	55,27
1170	Level	157	531,20	535,40	4,20	Good	Perman	75	4	1	3	1	1	6,25	53,15	53,15
1170	Level	158	535,40	539,50	4,10	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	159	539,50	543,70	4,20	Good	Perman	80	4	1,5	2	1	1	15,00	58,66	58,66
1170	Level	160	543,70	547,80	4,10	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44	51,00	51,00
1170	Level	161	547,80	551,50	3,70	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	162	551,50	554,80	3,30	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	163	554,80	558,40	3,60	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	164	558,40	562,20	3,80	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	165	562,20	566,20	4,00	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,67	53,55	53,55
1170	Level	166	566,20	570,20	4,00	Good	Perman	75	4	1	3	1	1	6,25	53,15	53,15
1170	Level	167	570,00	574,40	4,40	Good	Perman	95	3	1,5	1	1	1	47,50	65,92	65,92
1170	Level	168	574,40	578,00	3,60	Good	Perman	75	6	1	3	1	1	4,17	50,59	50,59
1170	Level	169	578,00	582,10	4,10	Good	Perman	75	6	1	3	1	1	4,17	50,59	50,59
1170	Level	170	582,10	586,10	4,00	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	171	586,10	590,20	4,10	Good	Perman	95	6	1,5	2	1	1	11,88	57,19	57,19
1170	Level	172	590,20	594,10	3,90	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	173	594,10	597,90	3,80	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	174	597,90	601,70	3,80	Good	Perman	85	4	1,5	3	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	175	601,70	605,70	4,00	Good	Perman	85	4	1	3	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	176	605,70	609,90	4,20	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72	51,38	51,38
1170	Level	177	609,90	614,20	4,30	Good	Perman	90	4	1	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	178	614,20	618,20	4,00	Good	Perman	85	4	1,5	2	1	1	15,94	59,04	59,04
1170	Level	179	618,20	622,30	4,10	Good	Perman	95	3	1,5	2	1	1	23,75	61,56	61,56
1170	Level	180	622,30	626,20	3,90	Good	Perman	85	3	1,5	2	1	1	21,25	60,86	60,86
1170	Level	181	626,20	630,00	3,80	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,88	59,40	59,40
1170	Level	182	630,00	634,20	4,20	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,875	59,40	59,40
1170	Level	183	634,20	638,40	4,20	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	184	638,40	642,20	3,80	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08333	53,93	53,93
1170	Level	185	642,20	646,10	3,90	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	186	646,10	649,70	3,60	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	1	10,625	56,49	56,49
1170	Level	187	649,70	653,30	4,20	Good	Perman	80	9	1,5	3	1	1	4,44444	51,00	51,00
1170	Level	188	653,30	656,80	3,50	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08333	53,93	53,93
1170	Level	189	656,80	660,60	3,80	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08333	53,93	53,93
1170	Level	190	660,60	664,40	3,80	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	191	664,40	668,30	3,90	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	192	668,30	672,20	3,90	Good	Perman	90	4	1,5	3	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	193	672,20	675,60	3,40	Good	Perman	90	4	1,5	3	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	194	675,60	679,60	4,00	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,66667	53,55	53,55
1170	Level	195	679,60	683,30	3,70	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	196	683,30	687,10	3,80	Good	Perman	90	6	1	3	1	1	5	51,74	51,74
1170	Level	197	687,10	690,90	3,80	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72222	51,38	51,38

Ramp	Type	RG#	From (m)	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support		RQD	Jn	Jr	Ja	Jv	SRF	Q	RMR INFERIDC	RMR EVALUAT
1170	Level	198	690,90	694,60	3,70	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	199	694,60	698,30	3,70	Good	Perman	85	9	1,5	3	1	1	4,72222	51,38	51,38
1170	Level	200	698,30	702,20	3,90	Fair	Perman	70	6	1	4	1	1	2,91667	48,34	48,34
1170	Level	201	702,20	706,10	3,90	Fair	Perman	70	6	1	4	1	1	2,91667	48,34	48,34
1170	Level	202	706,10	710,10	4,00	Fair	Perman	75	9	1	4	1	1	2,08333	46,22	46,22
1170	Level	203	710,10	713,50	3,40	Good	Perman	90	6	1	3	1	1	5	51,74	51,74
1170	Level	204	713,50	717,40	3,90	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72222	51,38	51,38
1170	Level	205	717,40	721,20	3,80	Fair	Perman	70	12	1,5	3	1	1	2,91667	48,34	48,34
1170	Level	206	721,20	725,00	3,80	Fair	Perman	70	12	1,5	3	1	1	2,91667	48,34	48,34
1170	Level	207	725,00	728,60	3,60	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	208	728,60	732,60	4,00	Good	Perman	90	6	1,5	3	1	1	7,5	54,29	54,29
1170	Level	209	732,60	736,40	3,80	Good	Perman	85	9	1	3	1	1	3,14815	48,82	48,82
1170	Level	210	736,40	740,20	3,80	Good	Perman	80	9	1,5	3	1	1	4,44444	51,00	51,00
1170	Level	211	740,20	744,00	3,80	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44444	51,00	51,00
1170	Level	212	744,00	747,90	3,90	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44444	51,00	51,00
1170	Level	213	747,90	751,80	3,90	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	214	751,80	755,80	4,00	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	215	755,80	759,50	3,70	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72222	51,38	51,38
1170	Level	216	759,50	763,10	3,60	Good	Perman	85	9	1,5	2	1	1	7,08333	53,93	53,93
1170	Level	217	763,10	766,90	3,80	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,875	59,40	59,40
1170	Level	218	766,90	770,20	3,30	Good	Perman	85	9	1	3	1	1	3,14815	48,82	48,82
1170	Level	219	770,20	774,00	3,80	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72222	51,38	51,38
1170	Level	220	774,00	777,80	3,80	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44444	51,00	51,00
1170	Level	221	777,80	781,60	3,80	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	222	781,60	785,40	3,80	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	223	785,40	789,10	3,70	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	224	789,10	792,50	3,40	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	225	792,50	796,00	3,50	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	226	796,00	799,50	3,50	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	227	799,50	803,90	4,40	Fair	Perman	75	9	1	4	1	1	2,08333	46,22	46,22
1170	Level	228	803,90	808,10	4,20	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	229	808,10	812,10	4,00	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	230	812,10	815,60	3,50	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	231	815,60	819,20	3,60	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	232	819,20	822,70	3,50	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	233	822,70	826,40	3,70	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	234	826,40	829,50	3,10	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	235	829,50	833,00	3,50	Good	Perman	75	6	1	3	1	1	4,16667	50,59	50,59
1170	Level	236	833,00	836,30	3,30	Good	Perman	65	6	1	3	1	1	3,61111	49,69	49,69
1170	Level	237	836,30	839,70	3,40	Fair	Perman	65	9	1	3	1	1	2,40741	47,13	47,13
1170	Level	238	839,70	843,00	3,30	Fair	Perman	65	9	1	3	1	1	2,40741	47,13	47,13
1170	Level	239	843,00	846,30	3,30	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	240	846,30	849,50	3,20	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	241	849,50	853,00	3,50	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	242	853,00	856,70	3,70	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	243	856,70	860,10	3,40	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	244	860,10	864,00	3,90	Fair	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44444	51,00	51,00
1170	Level	245	864,00	868,30	4,30	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44
1170	Level	246	868,30	872,50	4,20	Fair	Perman	80	9	1	3	1	1	2,96296	48,44	48,44

Ramp	Type	RGA	From (	To (m)	Length (m)	Suggested Ground Support		RQD	Jn	Jr	Ja	Jv	SRF	Q	RMR INFERIDC	RMR EVALUAT
1170	Level	247	872,50	875,50	3,00	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72222	51,38	51,38
1170	Level	248	875,50	878,60	3,10	Good	Perman	85	12	1	2	1	1	3,54167	49,57	49,57
1170	Level	249	878,60	882,10	3,50	Good	Perman	95	6	1,5	3	1	1	7,91667	54,63	54,63
1170	Level	250	882,10	885,90	3,80	Good	Perman	90	4	1,5	2	1	1	16,875	59,40	59,40
1170	Level	251	885,90	890,00	4,10	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08	53,93	53,93
1170	Level	252	890,00	892,80	2,80	Good	Perman	85	4	1	2	1	1	10,63	56,49	56,49
1170	Level	253	892,80	897,10	4,30	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72	51,38	51,38
1170	Level	254	897,10	900,90	3,80	Good	Perman	95	9	1,5	3	1	1	5,28	52,08	52,08
1170	Level	255	900,90	904,20	3,30	Good	Perman	80	9	1,5	1	1	1	13,33	57,92	57,92
1170	Level	256	904,20	907,50	3,30	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	257	907,50	911,10	3,60	Good	Perman	95	4	1,5	2	1	1	17,81	59,74	59,74
1170	Level	258	911,10	914,70	3,60	Good	Perman	90	6	1,5	2	1	1	11,25	56,85	56,85
1170	Level	259	914,70	918,60	3,90	Good	Perman	85	9	1	3	1	1	3,15	48,82	48,82
1170	Level	260	918,60	922,20	3,60	Fair	Perman	70	9	1	3	1	1	2,59259	47,60	47,60
1170	Level	261	922,20	926,30	4,10	Fair	Perman	75	9	1	3	1	1	2,77778	48,04	48,04
1170	Level	262	926,30	928,70	2,40	Poor	Perman	60	9	1	4	1	2,5	0,67	39,05	31,00
1170	Level	263	928,70	930,60	1,90	Poor	Perman	60	9	1	3	1	2,5	0,89	40,86	37,00
1170	Level	264	930,60	934,00	3,40	Poor	Perman	55	9	1	4	1	2,5	0,61	38,50	33,00
1170	Level	265	934,00	937,60	3,60	Poor	Perman	50	12	1	4	1	2,5	0,42	36,08	29,00
1170	Level	266	937,60	941,00	3,40	Poor	Perman	50	12	1	4	1	2,5	0,42	36,08	29,00
1170	Level	267	941,00	944,30	3,30	Poor	Perman	50	9	1	4	1	2,5	0,56	37,90	29,00
1170	Level	268	944,30	947,50	3,20	Poor	Perman	50	9	1	4	1	2,5	0,56	37,90	36,00
1170	Level	269	947,50	950,00	2,50	Poor	Perman	60	9	1	4	1	2,5	0,67	39,05	32,00
1170	Level	270	950,00	953,30	3,30	Poor	Perman	70	9	1	4	1	2,5	0,78	40,02	43,00
1170	Level	271	953,30	956,60	3,30	Poor	Perman	60	9	1	4	1	2,5	0,67	39,05	48,00
1170	Level	272	956,60	960,50	4,50	Fair	Perman	80	9	1	3	1	2,5	1,19	42,67	40,00
1170	Level	273	960,50	964,30	3,80	Fair	Perman	85	9	1	3	1	2,5	1,26	43,05	40,00
1170	Level	274	964,30	967,50	3,20	Fair	Perman	80	9	1	3	1	2,5	1,19	42,67	40,00
1170	Level	275	967,50	971,50	4,00	Fair	Perman	85	6	1,5	3	1	2,5	2,83	48,16	57,00
1170	Level	276	971,50	974,50	3,00	Fair	Perman	80	6	1,5	3	1	2,5	2,67	47,78	57,00
1170	Level	277	974,50	977,10	2,60	Fair	Perman	80	6	1,5	3	1	2,5	2,67	47,78	57,00
1170	Level	278	977,10	980,10	3,00	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	57,00
1170	Level	279	980,10	983,40	3,30	Fair	Perman	65	6	1	4	1	2,5	1,08	42,10	42,00
1170	Level	280	983,40	986,70	3,30	Fair	Perman	75	6	1,5	3	1	2,5	2,50	47,37	42,00
1170	Level	281	986,70	990,00	3,30	Fair	Perman	85	4	1	3	1	2,5	2,83	48,16	50,00
1170	Level	282	990,00	994,50	4,50	Poor	Perman	65	9	1	3	1	2,5	0,96	41,36	39,00
1170	Level	283	994,50	997,80	3,30	Poor	Perman	65	9	1	4	1	2,5	0,72	39,55	39,00
1170	Level	284	997,80	1001,30	3,50	Poor	Perman	70	9	1	4	1	2,5	0,78	40,02	36,00
1170	Level	285	1001,30	1005,50	4,20	Fair	Perman	70	4	1	3	1	2,5	2,33	46,94	51,00
1170	Level	286	1005,50	1009,50	4,00	Fair	Perman	85	6	1,5	3	1	2,5	2,83	48,16	51,00
1170	Level	287	1009,50	1013,60	4,10	Fair	Perman	75	9	1	3	1	2,5	1,11	42,26	44,00
1170	Level	288	1013,60	1017,60	4,00	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,66	44,79	44,00
1170	Level	289	1017,60	1021,70	4,10	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	50,00
1170	Level	290	1021,70	1026,30	4,60	Fair	Perman	85	6	1	3	1	2,5	1,89	45,61	41,00
1170	Level	291	1026,30	1030,00	3,70	Fair	Perman	80	4	1	3	1	2,5	2,67	47,78	46,00
1170	Level	292	1030,00	1034,50	4,50	Fair	Perman	80	4	1	3	1	2,5	2,67	47,78	46,00
1170	Level	293	1034,50	1038,30	3,80	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	53,00
1170	Level	294	1038,30	1042,80	4,50	Poor	Perman	65	9	1	4	1	2,5	0,72	39,55	34,00
1170	Level	295	1042,80	1046,70	3,90	Poor	Perman	65	9	1	4	1	2,5	0,72	39,55	40,00

1170	Level	296	1046,70	1050,00	3,30	Poor	Perman	65	9	1	4	1	2,5	0,72	39,55	36,00
1170	Level	297	1050,00	1053,40	3,40	Poor	Perman	65	9	1	3	1	2,5	0,96	41,36	41,00
1170	Level	298	1053,40	1056,70	3,30	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	47,00
1170	Level	299	1056,70	1059,80	3,10	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	51,00
1170	Level	300	1059,80	1064,30	4,50	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	50,00
1170	Level	301	1064,30	1068,80	4,50	Fair	Perman	85	4	1	3	1	2,5	2,83	48,16	58,00
1170	Level	302	1068,80	1073,30	4,50	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	50,00
1170	Level	303	1073,30	1077,70	4,4	Fair	Perman	70	9	1	3	1	2,5	1,04	41,83	39,00
1170	Level	304	1077,70	1081,80	4,10	Fair	Perman	85	6	1	3	1	2,5	1,89	45,61	44,00
1170	Level	305	1081,80	1085,90	4,10	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	45,00
1170	Level	306	1085,90	1090,00	4,10	Fair	Perman	85	6	1,5	3	1	2,5	2,83	48,16	47,00
1170	Level	307	1090,00	1094,40	4,40	Fair	Perman	90	6	1,5	3	1	2,5	3,00	48,52	65,00
1170	Level	308	1094,40	1098,40	4,00	Fair	Perman	85	6	1	3	1	2,5	1,89	45,61	65,00
1170	Level	309	1098,40	1102,20	3,80	Fair	Perman	80	6	1	3	1	2,5	1,78	45,22	42,00
1170	Level	310	1102,20	1106,20	4,00	Fair	Perman	80	9	1	3	1	2,5	1,19	42,67	42,00
1170	Level	311	1106,20	1110,50	4,30	Good	Perman	85	6	1,5	2	1	2,5	4,25	50,72	42,00
1170	Level	312	1110,50	1114,70	4,20	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,67	53,55	42,00
1170	Level	313	1114,70	1119,50	4,80	Good	Perman	85	4	1	3	1	1	7,08	53,93	55,00
1170	Level	314	1119,50	1124,00	4,50	Good	Perman	85	6	1	3	1	1	4,72	51,38	43,00
1170	Level	315	1124,00	1128,00	4,00	Fair	Perman	85	6	1	3	1	2,5	1,89	45,61	41,00
1170	Level	316	1128,00	1132,50	4,50	Fair	Perman	70	6	1	3	1	2,5	1,56	44,38	37,00
1170	Level	317	1132,50	1136,80	4,30	Fair	Perman	70	6	1	3	1	2,5	1,56	44,38	37,00
1170	Level	318	1136,80	1141,10	4,30	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	42,00
1170	Level	319	1141,10	1145,40	4,30	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	52,00
1170	Level	320	1145,40	1149,60	4,20	Fair	Perman	85	4	1	3	1	2,5	2,83	48,16	54,00
1170	Level	321	1149,60	1153,60	4,00	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	35,00
1170	Level	322	1153,60	1157,80	4,20	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	37,00
1170	Level	323	1157,80	1162,00	4,20	Fair	Perman	70	6	1	3	1	2,5	1,56	44,38	44,00
1170	Level	324	1162,00	1166,30	4,30	Fair	Perman	70	6	1	3	1	2,5	1,56	44,38	38,00
1170	Level	325	1166,30	1170,30	4,00	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	39,00
1170	Level	326	1170,30	1174,20	3,90	Fair	Perman	70	6	1,5	2	1	2,5	3,50	49,49	39,00
1170	Level	327	1174,20	1178,50	4,30	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	44,00
1170	Level	328	1178,50	1182,90	4,40	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	44,00
1170	Level	329	1182,90	1187,60	4,70	Fair	XC	85	6	1,5	3	1	2,5	2,83	48,16	44,00
1170	Level	330	1187,60	1192,20	4,60	Fair	Perman	75	6	1	3	1	2,5	1,67	44,82	44,00
1170	Level	331	1192,20	1196,50	4,30	Fair	Perman	90	6	1,5	3	1	2,5	3,00	48,52	48,00
1170	Level	332	1196,50	1201,10	4,60	Good	Perman	80	6	1	3	1	1	4,44	51,00	50,00
1170	Level	333	1201,10	1205,40	4,30	Good	Perman	80	6	1,5	3	1	1	6,67	53,55	43,00
1170	Level	334	1205,40	1210,00	4,60	Good	Perman	85	6	1,5	3	1	1	7,08	53,93	55,00
1170	Level	335	1210,00	1214,50	4,50	Good	Perman	90	2	1,5	1	1	2,5	27,00	62,36	55,00
1170	Level	336	1214,50	1218,20	3,70	Fair	Perman	75	6	1	4	1	2,5	1,25	43,01	38,00

Anexo 16. Parámetros mecánicos del macizo rocoso.

Litología	Tipo de roca según RMR	RMR	Calidad según RMR	GSI (adim.)	ρ (g/cm ³)	σ_c (MPa)	m_i (adim.)	MR (adim.)	m_b (adim.)	ν (adim.)	α (adim.)	σ_{res} (MPa)	E_{res} (GPa)	ν (adim.)
Pórfido (Pf)	II	60-100	Buena	62	2.64	70	20	400	5.148	0.0147	0.502	8.4	15.8	0.27
	IIIA	50-60	Regular A	55	2.64	55	20	400	4.009	0.0067	0.504	4.4	9.0	0.29
	IIIB	40-50	Regular B	45	2.64	35	20	400	2.805	0.0022	0.508	1.6	3.1	0.31
	IVA	30-40	Mala A	35	2.64	25	20	400	1.963	0.0007	0.516	0.6	1.1	0.33
	IVB	20-30	Mala B	25	2.64	15	20	400	1.373	0.0002	0.531	0.2	0.4	0.35
Brecha trestomagn (Xp)	II	60-100	Buena	62	2.69	70	12	500	3.089	0.0147	0.502	8.4	19.8	0.30
	IIIA	50-60	Regular A	56	2.69	55	12	500	2.493	0.0075	0.504	4.7	11.8	0.31
	IIIB	40-50	Regular B	45	2.69	35	12	500	1.683	0.0022	0.508	1.6	3.9	0.33
	IVA	30-40	Mala A	38	2.69	25	12	500	1.311	0.0010	0.513	0.7	1.7	0.35
	IVB	20-30	Mala B	25	2.69	15	12	500	0.824	0.0002	0.531	0.2	0.4	0.37
Brecha hidrotermal (Xh) "Mineral"	II	60-100	Buena	63	2.69	80	12	500	3.201	0.0164	0.502	10.1	23.5	0.30
	IIIA	50-60	Regular A	56	2.69	60	12	500	2.493	0.0075	0.504	5.1	12.9	0.31
	IIIB	40-50	Regular B	46	2.69	40	12	500	1.744	0.0025	0.508	1.9	4.8	0.33
	IVA	30-40	Mala A	38	2.69	30	12	500	1.311	0.0010	0.513	0.9	2.1	0.35
	IVB	20-30	Mala B	25	2.69	15	12	500	0.824	0.0002	0.531	0.2	0.4	0.37
Andesita (Va) "Mineral"	II	60-100	Buena	64	2.77	80	19	400	5.253	0.0183	0.502	10.7	19.5	0.27
	IIIA	50-60	Regular A	58	2.77	60	19	400	4.239	0.0094	0.503	5.7	11.4	0.28
	IIIB	40-50	Regular B	46	2.77	40	19	400	2.762	0.0025	0.508	1.9	3.8	0.31
	IVA	30-40	Mala A	39	2.77	30	19	400	2.151	0.0011	0.512	0.9	1.8	0.32
	IVB	20-30	Mala B	25	2.77	15	19	350	1.305	0.0002	0.531	0.2	0.3	0.35
Andesita con stockwork (Va_W)	II	60-100	Buena	63	2.69	60	20	400	5.335	0.0164	0.502	7.6	14.1	0.27
	IIIA	50-60	Regular A	57	2.69	50	20	400	4.306	0.0084	0.504	4.5	9.0	0.28
	IIIB	40-50	Regular B	46	2.69	40	20	400	2.907	0.0025	0.508	1.9	3.8	0.31
	IVA	30-40	Mala A	38	2.69	25	20	400	2.185	0.0010	0.513	0.7	1.4	0.32
	IVB	20-30	Mala B	25	2.69	15	20	350	1.373	0.0002	0.531	0.2	0.3	0.35
Conglomerado (Scg)	II	60-100	Buena	63	2.56	75	21	350	5.602	0.0164	0.502	9.5	15.4	0.27
	IIIA	50-60	Regular A	55	2.56	55	21	350	4.210	0.0067	0.504	4.4	7.9	0.28
	IIIB	40-50	Regular B	44	2.56	40	21	350	2.842	0.0020	0.509	1.7	2.9	0.31
	IVA	30-40	Mala A	36	2.56	30	21	350	2.136	0.0008	0.515	0.8	1.3	0.32
	IVB	20-30	Mala B	25	2.56	15	21	300	1.442	0.0002	0.531	0.2	0.3	0.34

Anexo 17. Malla minera ARMEX 3 x 2 m.



CERTIFICADO DE CALIDAD

No. 21945

Fecha de Emisión: 26/01/2023
Cliente: AURELIAN ECUADOR S.A.
Nros. Orden: 90562386-90566160-90568316 - 8800 pzas
Producto: MALLA MINERA ARMEX 3.00x2.00m
Código del Producto: 652940
Diámetro (mm): NA
Nro. de Guía: 3901104244-3901104272-3901104282

DATOS DE LA MATERIA PRIMA :

SAE	INA	COLADA	C (%) Mn (%) P (%) S (%)			
			Reg.Prom	Reg.Prom	Reg.Prom	Reg.Prom
1008	1321	124133	0.0510	0.4360	0.0060	0.0100
1008	1321	124130	0.0510	0.4250	0.0040	0.0100
1008	1321	124126	0.0580	0.4230	0.0090	0.0210
1008	1321	124123	0.0670	0.4190	0.0070	0.0190
1008	1316	123362	0.0557	0.4440	0.0120	0.0240
1008	1316	123361	0.0570	0.4330	0.0090	0.0210
1012	1322	L084000	0.1400	0.5500	0.0160	0.0090
1012	1322	L083400	0.1200	0.5200	0.0110	0.0130

C (%)		Mn (%)		P (%)		S (%)	
Espec. Min	Espec. Max						
N/A	0.1300	0.3000	0.6000	N/A	0.0400	N/A	0.0500

Proveedor	INZ	Al (%) Cd (%) Cu (%) Fe (%) Pb (%) Sn (%) Zn (%)						
		Reg. Prom	Reg. Prom	Reg. Prom	Reg. Prom	Reg. Prom	Reg. Prom	Reg. Prom
VOTORANTIM	269	0.0002	0.0007	0.0015	0.0018	0.0046	0.0002	199.9920

INZ	Al (%)		Cd (%)		Cu (%)		Fe (%)		Pb (%)		Sn (%)		Zn (%)	
	Espec. Min	Espec. Max												
	N/A	0.0003	N/A	0.0010	N/A	0.0030	N/A	0.0030	N/A	0.0050	N/A	0.0003	99.9900	N/A

RESULTADOS DE ENSAYOS / MEDICIONES :

CARACTERISTICA	Reg. Prom.	Espec. Min.	Espec. Mx.	Dev. Est.
Ø Real (mm)	5.187	5.120	5.280	0.016
Fluencia (N/mm ²)	669.000	490.000	N/A	33.158
Resistencia a la Tracción (N/mm ²)	709.872	540.000	N/A	34.379
Acabado superficial	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	N/A
Capa de Zinc (g/m ²)	132.769	100.000	N/A	22.236
Longitud de la Malla (mm)	3049.410	3029.000	3091.000	13.668
Ancho Mallas (mm)	2028.795	2010.000	2050.000	2.536
Espaciamiento Longitudinal (mm)	99.718	97.000	103.000	0.826
Espaciamiento Transversal (mm)	99.949	97.000	103.000	1.050
Torque (Nm)	66.026	60.000	70.000	1.842
Número de varillas Long. por Malla	21.000	21.000	N/A	0.000
Número de varillas Trans. por Malla	31.000	31.000	N/A	0.000
Elongación (%)	7.572	5.000	N/A	0.937
Carga de Resistencia (N)	14973.667	10980.000	N/A	752.130
Cizallamiento (75% Carga Resistencia a la Tracción) (N)	11398.897	8240.000	N/A	781.245

Observaciones:

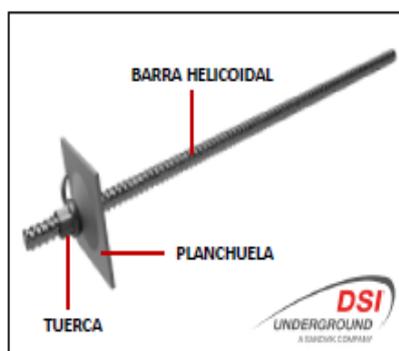
El producto cumple con las normas ASTM A82/A82M y A185/A185M (ASTM 1064), NTE INEN 1511, 2209 y 2201



Jefe Dpto Control de Calidad

Anexo 18. Ficha técnica del perno helicoidal.

SISTEMA HELICOIDAL DSI DSI UNDERGROUND



El sistema helicoidal de DSI Underground para refuerzo de macizos rocosos, es un conjunto de alta resistencia, compuesto por una barra helicoidal de hilo izquierdo de gran paso en toda su extensión.

El sistema helicoidal* incorpora una planchuela, normalmente Vulcano Style DSI, y tuerca mecanizada de rosca a izquierda.

BARRA HELICOIDAL DSI UNDERGROUND



DIAMETRO NOMINAL (mm)	PESO (Kg/m)	LONGITUD
16	1.5	Hasta 12 Metros
19	2.0	
22	2.8	
25	3.6	

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - BARRA HELICOIDAL

DIAMETRO NOMINAL (mm)	CALIDAD GRADO DE ACERO	CARGA DE FLUENCIA MIN (MPa)	CARGA DE ROTURA MIN (MPa)	NORMA ASOCIADA
16 **	A440-280 (G40)	280	440	ASTM A615/A615M
19 **	A630-420 (G60)	420	630	
22		420	630	
25	G75***	520	690	ASTM A615/A615M

* Barra helicoidal, planchuela y tuerca con opción de recubrimiento galvanizado según norma ASTM A123/123M.

** Disponibilidad de pernos helicoidales de $\phi 16$ mm y $\phi 19$ mm sujeto a cantidad mínima solicitada.

*** Disponibilidad de pernos helicoidales en acero G75 sujeto a cantidad mínima solicitada.

DSI UNDERGROUND	"Reinforcing Progress"	
Carrera 42 # 54A-71 Int.133, Itagüí	Fono: +57 44310390		www.dsiunderground.com

SISTEMA HELICOIDAL DSI DSI UNDERGROUND

Anexo 19. Resultados de la prueba QA/QC “Pull Test”

Nivel	Labor	Di	Tipo de Labor	Tiempo Instalación (meses)	Rock Type	# Cylinder	Support Element	Gauge Peak Pressure (E)	Area of cylinder RCH 3050 (m ²)	Peak Load (kN)	Peak Load (t)	Support element length tested	Initial Anchorage (kN/m)	Initial Anchorage (t/m)	Specific initial anchorage (kN/m)	Compliance (kN)	Pass/Fail	Oring de Mordaza
1245	C139	123	T	0	Fair	RCH 302	Swellex 12t plain	218	0,004658	101,5	10,2	2,35	43,2	4,3		84	Pass	
1245	C139	120	T	0	Fair	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1245	C139	115	T	0	Fair	RCH 302	Swellex 12t plain	222	0,004658	103,4	10,4	2,35	44,0	4,4		84	Pass	
1030	ACV S2	7	P	0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	320	0,004658	149,1	15,0	2,35	63,4	6,4		100	Pass	
1030	ACV S1	4	P	0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	320	0,004658	149,1	15,0	2,35	63,4	6,4		100	Pass	
1030	SEE 2	30	P	0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	320	0,004658	149,1	15,0	2,35	63,4	6,4		100	Pass	
1030	SEE 2	29	P	0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	320	0,004658	149,1	15,0	2,35	63,4	6,4		100	Pass	
1030	SEE 2	27	P	0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	320	0,004658	149,1	15,0	2,35	63,4	6,4		100	Pass	
1030	SEE 2	29	P	0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	320	0,004658	149,1	15,0	2,35	63,4	6,4		100	Pass	
1105	C114	35	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	195	0,004658	90,8	9,1	2,35	38,7	3,9		84	Pass	
1105	C114	32	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1105	C114	34	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1105	C114	30	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1080	C112	36	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1080	C112	35	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1080	C112	20	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	180	0,004658	83,8	8,4	2,35	35,7	3,6		84	Fail	
1080	C112	6	P	0	Good	RCH 302	Swellex 12t plain	215	0,004658	100,1	10,1	2,35	42,6	4,3		84	Pass	
1170	ES	15		0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	260	0,004658	121,1	12,2	2,35	51,5	5,2		100	Pass	
1170	ES	9		0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	260	0,004658	121,1	12,2	2,35	51,5	5,2		100	Pass	
1170	ES	5		0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	260	0,004658	121,1	12,2	2,35	51,5	5,2		100	Pass	
1170	Sur	1210		0	Good	RCH 302	Rebar 22mm #7	260	0,004658	121,1	12,2	2,35	51,5	5,2		100	Pass	
1170	Sur	1205,00		0	Good	RCH 302	Rebar 22mm #7	260	0,004658	121,1	12,2	2,35	51,5	5,2		100	Pass	
1170	ES	4		0	Fair	RCH 302	Rebar 22mm #7	260	0,004658	121,1	12,2	2,35	51,5	5,2		100	Pass	

Anexo 20. Resultado de la prueba QA/QC “control de espesor de shotcrete”

MEDICIÓN DE ESPESORES DE HORMIGÓN LANZADO															
Medicion Zona Horaria (mm)															
27/06/2021	18:00	B	J. Pachacama/W. F. Loaiza	1055	RI 1055	712	715	I	Good Domain	50mm	2(100mm)	3(125mm)	10(110mm)	9(75mm)	
27/06/2021	18:10	B	J. Pachacama/W. F. Loaiza	1055	RI 1055	712	715	I	Good Domain	50 mm	1(120mm)	2(90mm)	11(100mm)	8(100mm)	
09/04/2022	3:00	C	P. Barrera	1055	ACC DF 1	0,00	2,90	I	Good Domain	50 mm	8 (70 mm)	9 (50 mm)	2(60 mm)	3 (50 mm)	
30/05/2022	0:00	C	B. Criollo	1055	ACHE 1	15,00	19,50	II	Fair Domain	75	60	130	100	90	
19/06/2022	17:57	B	R. Guerrero	1055	ACHT01	51	42	II	Fair Domain	75	100	180	70	80	
19/06/2022	18:13	B	R. Guerrero	1055	ACHT01	22	23	II	Fair Domain	75	90	110	85	70	
04/08/2022	12:30	C	B. Criollo	1055	1055 Sur	113	117	I	Good Domain	50	90	80	120	65	
04/08/2022	12:50	C	B. Criollo	1055	123	7	11	I	Good Domain	50	95	90	50	65	
04/08/2022	1:20	C	B. Criollo	1055	SEE	10	14	II	Fair Domain	75	110	80	120	110	
14/11/2022	12:45	A	F. Ludeña	1055	ACV S1	30	33	II	Fair Domain	75	75	73	88	76	75
14/11/2022	12:50	A	F. Ludeña	1055	ACV S1	20	23	I	Good Domain	50	55	53	60	70	
14/11/2022	13:00	A	F. Ludeña	1055	Sur	253	256	II	Fair Domain	75	75	82	73	76	
08/01/2023	0:00	C	R. Guerrero	1170	CE	2	3	II	Fair Domain	75	75	75	75	76	75
08/01/2023	0:10	C	R. Guerrero	1170	CE	10	11	I	Good Domain	50	85	60	60	75	60
08/01/2023	0:25	C	R. Guerrero	1170	CE	20	21	I	Good Domain	50	60	70	70	75	70
15/01/2023	1:50	C	P. Barrera	1155	C123	27	31	III	Poor Domain	75	80	70	75	80	

Medicion Zona Horaria (mm)															
Fecha	Hora	Turno	Responsable Geomecánico	Nivel	Labor	DI inicial (m)	DI final (m)	Roca Tipo	Sostenimiento Tipo	E-Diseño (mm)	Med Z-H (A)mm	Med Z-H (B)mm	Med Z-H (C)mm	Med Z-H (D)mm	Recapeo Si / No
06/08/2023		A	J. Rivadeneira	1170	Sur	950,00	951,25	III	Dominio pobre	50	120	50	90	80	No
06/08/2023		A	J. Rivadeneira	1170	Sur	951,25	952,50	III	Dominio pobre	50	100	50	70	70	No
06/08/2023		A	J. Rivadeneira	1170	Sur	952,50	953,30	III	Dominio pobre	50	50	30	90	60	No
01/09/2023		B	B. Criollo	1170	Sur	986,70	990,00	II	Dominio regular	75	150	180	140	110	No
01/09/2023		B	B. Criollo	1170	Sur	986,70	990,00	II	Dominio regular	75	110	110	20	160	No
01/09/2023		B	B. Criollo	1170	Sur	986,70	990,00	II	Dominio regular	75	80	90	120	120	No
01/09/2023		B	B. Criollo	1170	Sur	986,70	990,00	II	Dominio regular	75	110	90	100	50	No
08/10/2023		C	P. Barrera	1170	Sur	1034,00	1034,00	III	Dominio regular	75	130	120	80	120	No
08/10/2023		C	P. Barrera	1170	Sur	1035,00	1035,00	III	Dominio regular	75	90	70	70	60	No
08/10/2023		C	P. Barrera	1170	Sur	1036,00	1036,00	III	Dominio regular	75	80	80	70	50	No
08/10/2023		C	P. Barrera	1170	Sur	1037,00	1037,00	III	Dominio regular	75	70	80	80	130	No

Anexo 21. Certificado de traducción del resumen

I, **Ricardo Javier Herrera Morillo**, I am competent to translate from Spanish into English, and certify that the translation of “**Evaluación del sostenimiento por calidad de roca en labores permanentes del nivel 1170 Sur en la mina “Fruta del Norte”, Yantzaza – Zamora Chinchipe**” is true, accurate and complete translation of the original document that was provided to me.



Mgtr. Ricardo Javier Herrera Morillo
C.I. 1104343171