

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

TRABAJO FINAL



“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJES MDX EN CORONA EN LABORES SUBTERRÁNEAS DE INTERSECCIÓN”

Alumnos: Batallán, Ana Cecilia

M.U.Nº: 00770

Hidalgo Silva, Hugo Javier

M.U.Nº: 00863

Director: Ing. Herrera, Rinaldo Nicolás

Año 2.025



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcances y limitaciones	3
1.4 Metodología de trabajo	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Descripción del ambiente minero y sus características	5
2.1.1 Historia relevante de la mina	5
2.2 Método de minado	6
2.2.1 Descripción del Método de Minado.....	6
2.2.2 Sublevel Stopping	6
2.2.3 Sublevel Retrieve	7
2.3 Geología y datos geotécnicos	8
2.3.1 Geología regional	8
2.3.2 Características del yacimiento	8
2.3.3 Geología estructural (Dave Coller, 2.010).....	10
2.3.3.1 Veta Sector 1	10
2.3.3.2 Veta sector 2 central y sector 2 norte.....	12
2.4 Caracterización del macizo rocoso	13
2.5 Ensayos de laboratorio	15
2.5.1 Características del macizo rocoso según ensayos de laboratorio.....	16
2.6 Procedimientos de excavación de infraestructura	16
2.6.1 Métodos de perforación y voladura - desarrollo horizontal.....	16
2.7 Procedimiento de Mapeo para la caracterización del macizo rocoso.	18
2.7.1 Mapeos de caracterización del macizo rocoso (Q Barton)	18
2.7.1.1 Cálculo del Índice “Q”	18
2.7.1.2 Determinación del GSI	20
2.8 Estándares de fortificación establecidos	21
2.8.1 Fortificación tipo F2	21
2.8.1.1 Fortificación del techo en labor, hasta 5,0 m de intersección	21
2.8.1.2 Malla electrosoldada, dimensiones 2,20 x 3,60 m.....	22
2.8.1.3 Fortificación del techo en labor, intersección mayor a 5,0 m	23
2.8.2 Fortificación tipo F3	23
2.8.2.1 Fortificación del techo en labor, intersección hasta 5,0 m	23
2.8.2.2 Fortificación del techo en labor, intersección mayor a 5,0 m	25
2.8.3 Fortificación tipo F4	25
2.8.3.1 Fortificación del techo en la labor, hasta 5,0 m de intersección.....	26
2.8.3.2 Fortificación del techo en la labor, mayor de 5,0 m de intersección	26
2.9 Estándar de fortificación en Intersección.....	27
2.9.1 Intersección tipo T1	27
2.9.2 Intersección tipo T2	28
2.9.3 Intersección tipo T3, T4 y T5	29
2.9.4 Intersección tipo T6	30
2.10 Fortificación Especial	30
2.10.1 Spilling bar	30
2.10.2 Fortificación en frente	31
2.10.3 Fortificación de Viseras	31
2.10.4 Fortificación de Cavidades	32
2.10.5 Estocadas de ventilación	32



2.10.6 Estocadas eléctricas.....	32
2.10.7 Estocadas de bombeo.....	33
2.10.8 Estocadas de refugios.....	33
2.11 Sistemas de fortificación e instrumentación	33
2.11.1 Definición de sistemas de fortificación	33
2.11.2 Tipos de materiales de sostenimiento y especificaciones técnicas	33
2.12 Elementos de anclaje.....	34
2.12.1 Pernos de barra helicoidal	34
2.12.2 Pernos autoperforantes	34
2.12.3 Pernos Split Set.....	35
2.12.4 Pernos MDX (Mechanical Dynamic Expansion).....	36
2.13 Control de calidad de la fortificación	37
2.13.1 Control de Pernos	37
2.13.2 Control de shotcrete	37
2.13.3 Control de mallas electrosoldadas	37
CAPÍTULO III: DESARROLLO	38
3.1 Ciclo de avance-desarrollo horizontal	38
3.1.1 Perforación de frente	38
3.1.2 Carga y voladura	38
3.1.3 Ventilación.....	39
3.1.4 Limpieza de frente	39
3.1.5 Tojeo mecanizado	39
3.1.6 Relevamiento topográfico y marcación de frente	39
3.1.7 Fortificación de avance.....	39
3.2 Instalación de pernos helicoidales 4,0 m.....	39
3.2.1 Fortificación de intersección con pernos helicoidales	39
3.2.2. Ensayos Pull-test Pernos helicoidales de intersección	40
3.3 Pruebas de pernos MDX.....	42
3.3.1 Prueba N°1. EK_216Gb601.....	42
3.3.1.1 Calidad de macizo rocoso.....	43
3.3.2 Prueba N°2. EK_268Gb600E	44
3.3.2.1 Calidad de macizo rocoso.....	44
3.3.3 Prueba N°3. MN_500GTE	45
3.3.3.1 Calidad de macizo rocoso.....	45
3.3.4 Prueba N°4. MN_525Cx021	46
3.3.4.1 Calidad de macizo rocoso.....	47
3.3.5 Prueba N°5. MC_400GTE. Resistencia de anclaje mecánico.....	47
3.3.6 Ensayos pull test pernos MDX en hastiales.....	48
3.4 Pruebas pernos MDX en corona.....	50
3.4.1 Prueba N°1. MN_425CX023.....	50
3.4.2 Prueba N°2. EM_405ACC032-EC030	51
3.4.3 Prueba N°3. EM_355GTE-CX039/EV_040.....	51
3.4.4 Prueba N°4. EM_355GTE-EV040	52
3.4.5 Prueba N°5. EM_355GB-CX033	53
3.4.6 Prueba N°6. MC_300RP-EC576	54
3.4.7 Ensayos Pull test pernos MDX en Corona.....	55
3.5 Simulación mediante software Unwedge MN_350Cx-Gb025	57
3.5.1 Suposiciones iniciales	57
3.5.2 Caso de estudio MN_350CX-GB035	57
3.5.2.1 Información general	57



3.5.2.2 Calidad de macizo rocoso.....	58
3.5.2.3 Información estructural.....	59
3.5.2.4 Simulación Unwedge	60
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO	63
4.1 Introducción	63
4.2 Costos instalación pernos helicoidales de 4,0 m con lechada.....	63
4.2.1 Tiempos de instalación	63
4.2.2 Equipos	64
4.2.2.1 Equipo de perforación jumbo	64
4.2.2.2 Equipo de levante	64
4.2.2.3 Mezcladora hidráulica	65
4.2.3 Costo mano de obra	65
4.2.4 Costos materiales.....	65
4.2.5 Costo de perforación perno helicoidal 4,0 m.....	65
4.2.5.1 Costo perforación equipo DD perno helicoidales 4,0 m.....	66
4.2.5.2 Costo mano de obra perforación pernos helicoidales 4,0 m.....	66
4.2.5.3 Costos total perforación pernos helicoidales 4,0 m	66
4.2.6 Costos lechada.....	66
4.2.7 Costo Instalación placa y tuerca.....	67
4.2.8 Costos total instalación pernos helicoidales de 4,0 m lechados.....	67
4.3 Costo Instalación pernos MDX.....	67
4.3.1 Tiempo de instalación.....	67
4.3.2 Equipo	68
4.3.3 Costos mano de obra	68
4.3.4 Costos materiales.....	68
4.3.5 Costos total instalación pernos MDX	69
4.4 ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DE COSTOS.....	69
4.4.1 Proyección costos mano de obra	69
4.4.2 Proyección costos equipos.....	70
4.4.3 Proyección costos materiales	71
4.4.4 Proyección costos de instalación.....	72
4.4.5 Proyección Tiempo de instalación	73
4.4.6 Proyección stock pernos para intersecciones	74
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
5.1. Comportamiento de anclajes en calidad de macizo rocoso Bueno.....	76
5.2. Comportamiento de anclajes en calidad de macizo rocoso Regular	77
5.3. Comportamiento de anclajes en macizos de mala calidad.	77
5.4 Tiempo de instalación.....	78
5.5 Costos equipos	78
5.6 Costos Materiales	78
5.7 Costos Mano de obra.....	78
5.8 implementación pernos MDX 3,8 m	79
CAPÍTULO VI.....	80
6.1 CONCLUSIONES	80
6.2 Recomendaciones	81
BIBLIOGRAFÍA	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Ubicación geográfica.....	5
Figura N°2: Mina en estudio – ubicación de Mina sector1, sector 2 y sector 3.	6
Figura N°3: Método Sublevel Stoping.....	7



Figura N°4: Método Sublevel Retrieve	7
Figura N°5: Mapa con ubicación del distrito CN en el marco de la Patagonia.....	8
Figura N°6: Plano geológico-litológico: Andesita, Ignimbrita, Bafu y estructuras principales.....	10
Figura N°7: Nivel 476, Mina sector 1. Estructuras principales	11
Figura N°8: Fallas principales en mina sector 1, contacto formación La Matilde.....	11
Figura N°9: Nivel 525, Mina sector 2. Estructuras principales	12
Figura N°10: Sección mina sector 2. Veta y fallas principales	12
Figura N°11: Clasificación del macizo rocoso.....	13
Figura N°12: Secuencia de desarrollo horizontal.....	17
Figura N°13: Diagrama de perforación desarrollo horizontal	17
Figura N°14: Tabla estándar por la empresa para la determinación del Q de Barton.	19
Figura N°15: Índice de resistencia geológica.....	20
Figura N°16: Esquema de fortificación F2	22
Figura N°17: Fortificación F2, esquema distribución pernos y malla electrosoldada.....	22
Figura N°18: Esquema de Fortificación F3	24
Figura N°19: Fortificación F3, esquema distribución pernos y malla electrosoldada.....	25
Figura N°20: Esquema de fortificación F4	26
Figura N°21: Fortificación F4, esquema distribución pernos y malla electrosoldada.....	27
Figura N°22: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T1	28
Figura N°23: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T2	28
Figura N°24: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T3	29
Figura N°25: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T4	29
Figura N°26: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T5	30
Figura N°27: Esquemas de fortificación estándar en intersección tipo T6	30
Figura N°28: Esquema cable bolt en cruzados con galería basal	32
Figura N°29: Cintas strap	32
Figura N°30: Sistema de fortificación y funciones de los elementos	33
Figura N°31: Anclaje Helicoidal para refuerzo de macizos rocosos	34
Figura N°32: Sistema Autoperforante para refuerzo de macizos rocosos.....	34
Figura N°33: Características perno autoperforante	35
Figura N°34: Esquema perno Split Set.....	35
Figura N°35: Esquema perno MDX	36
Figura N°36: Ensayos Pull test pernos helicoidales 4,0 m	41
Figura N°37: EK_216GB601. Ubicación pernos MDX	43
Figura N°38: EK_216GB601. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloque	43
Figura N°39: EK_268GB600E. Ubicación pernos MDX ensayados	44
Figura N°40: EK_268GB600E. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloque	44
Figura N°41: MN_500GTE. Ubicación pernos MDX ensayados	45
Figura N°42: MN_500GTE. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloques.....	46
Figura N°43: MN_525. Ubicación pernos MDX ensayados.....	46
Figura N°44: MN_525. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloques	47
Figura N°45: Prueba de resistencia de anclaje mecánico.....	48
Figura N°46: MC_400GTE. Ubicación Prueba anclaje mecánico	48
Figura N°47: MN_425. Ubicación pernos MDX instalados.....	50
Figura N°48: EM_405. Ubicación pernos MDX instalados.....	51
Figura N°49: EM_355. Ubicación de los pernos MDX instalados	52
Figura N°50: EM_355. Ubicación pernos MDX.....	53
Figura N°51: MC_300RP-EC576. Ubicación pernos MDX instalados.....	54
Figura N°52: Ensayos Pull-test MDX 3,8 m. Curva desplazamiento-carga	56
Figura N°53: MN_350. Vista en planta	58
Figura N°54: MN_350. Calidad de roca según modelo de bloques geomecánico.....	58
Figura N°55: MN_350CX035. Proyección estereográfica	59
Figura N°56: MN_350CX035. Cuña máxima, sin apertura.....	60



Figura N°57: MN_350CX035. Cuña máxima luego de aperturas basales.....	61
Figura N°58: MN_350CX035. Cuña máxima sostenida con pernos MDX.....	61
Figura N°59: Proyección costos mano de obra, instalación pernos en intersección	70
Figura N°60: Proyección costos equipos, instalación pernos en intersección	71
Figura N°61: Proyección costos materiales para instalación de pernos en intersección	72
Figura N°62: Proyección costos de instalación pernos en intersección	73
Figura N°63: Tiempo de instalación pernos en intersección	74
Figura N°64: Proyección stock pernos para intersección.....	75
Figura N°65: Gráficas pull test, calidad de roca buena	76
Figura N°66: Gráfica pull test. Calidad de roca regular	77
Figura N°67: Gráfica pull test. Calidad de roca mala	78

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N°1: Fortificación tipo spilling.....	31
Imagen N°2: EM_355GTE-CX039. Pernos MDX instalados en corona	52
Imagen N°3: EM_355GTE-EV040. Pernos MDX instalados en corona	53
Imagen N°4: EM_355GB-Cx033. Pernos MDX instalados en corona	54
Imagen N°5: MC_300RP-EC576. Pernos MDX instalados en corona	55
Imagen N°6: MC_300RP-EC576. Error de emboquille en instalación de perno.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Unidades litológicas principales (fuente NI43-101 Technical Report, 2.011).....	9
Tabla N°2: Definición de Clases Geomecánicas	13
Tabla N°3: Resultados ensayos de laboratorio muestras del sector 1.	15
Tabla N°4: Resistencias estimadas en el sector 1 a partir de observaciones de Campo	15
Tabla N°5: Resistencias estimadas en el sector 2 a partir de observaciones de Campo	16
Tabla N°6: Caracterización Macizo Rocoso y Módulo de Young para rocas del sector 1.	16
Tabla N°7: Caracterización del Macizo Rocoso (Basado en Mapeos) y Módulo de Young....	16
Tabla N°8: Clasificación del Macizo Rocoso según valores de RQD.....	19
Tabla N°9: Instalación pernos helicoidales	40
Tabla N°10: Pull test pernos helicoidales 4,0 m.....	41
Tabla N°11: Pernos MDX instalados en hastiales	42
Tabla N°12: EK_216GB601. Pernos MDX instalados en hastiales	43
Tabla N°13: EK_268GB600E. Pernos MDX instalados en hastiales.....	45
Tabla N°14: MN_500GTE. Pernos MDX instalados en hastiales.....	46
Tabla N°15: MN_525CX021. Pernos MDX instalados en hastiales	47
Tabla N°16: Ensayos Pull test pernos MDX instalados en hastiales.....	49
Tabla N°17: MN_425. Ensayos pull test pernos MDX en corona.....	51
Tabla N°18: Ensayos pull test MDX 3,8 m corona	56
Tabla N°19: MN_350Cx035. Relevamiento estructural.....	59
Tabla N°20: MN_350Cx035. Sets principales.....	60
Tabla N°21: Característica cuña máxima	62
Tabla N°22: Tiempo total perforación pernos helicoidales	64
Tabla N°23: Tiempo total lechado pernos helicoidales	64
Tabla N°24: Tiempo total instalación pernos helicoidales	64
Tabla N°25: Costos equipos para instalación de pernos helicoidales	65
Tabla N°26: Costo mano de obra minera	65
Tabla N°27: Costo materiales para instalación pernos helicoidales de 4,0 m	65
Tabla N°28: Costo de perforación pernos helicoidales	66
Tabla N°29: Costo mano de obra perforación pernos helicoidales	66
Tabla N°30: Costos total perforación Perno helicoidal 4,0 m	66
Tabla N°31: Costos lechado pernos helicoidales 4,0 m.....	66



Tabla N°32: Costos instalación placa y tuerca.....	67
Tabla N°33: Costo total instalación de pernos helicoidales de 4,0 m.....	67
Tabla N°34: Tiempo instalación pernos MDX	68
Tabla N°35: Costo instalación pernos MDX.....	68
Tabla N°36: Costos mano de obra instalación pernos MDX	68
Tabla N°37: Costos materiales instalación pernos MDX.....	69
Tabla N°38: Costo total instalación pernos MDX	69
Tabla N°39: Proyección costos mano de obra de pernos para intersección	70
Tabla N°40: Proyección costos equipos, pernos en intersección.....	71
Tabla N°41: Proyección costos materiales para intersección	72
Tabla N°42: Proyección Costos de instalación en intersección	73
Tabla N°43: Proyección tiempos de instalación pernos en intersección	73
Tabla N°44: Proyección stock pernos para intersección.....	75

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO N°1: Equipo pull test	84
ANEXO N°2: Equipo de fortificación DS311	85
ANEXO N°3: Equipo de perforación DD321	86
ANEXO N°4: Equipo manipulador telescópico.....	87
ANEXO N°5: Lechadora hidráulica.....	88
ANEXO N°6: Preparación lechada cementada.....	89
ANEXO N°7: Aplicación Software Dip V6.0	90
ANEXO N°8: Aplicación Software Unwedge V5.1	91
ANEXO N°9: Costos perforación jumbo	93
ANEXO N°10: Costos manipulador	94
ANEXO N°11: Costos mezcladora hidráulica	95



RESUMEN

En minería subterránea, la estabilidad de las excavaciones requiere sistemas de fortificación adecuados y eficientes que garanticen la protección de trabajadores, instalaciones y servicios. Entre las soluciones más empleadas se encuentran los pernos de anclaje, utilizados para asegurar el techo y las paredes de las labores. Su función principal es estabilizar y reforzar las estructuras del macizo rocoso, controlando el movimiento y previniendo fallas como derrumbes, deslizamientos o inestabilidad locales.

En la actualidad en el mercado se dispone de diferentes tipos de pernos, varios de ellos muestran solo diferencias menores en su diseño, que básicamente son variantes de un mismo concepto para adecuarse a condiciones geológicas específicas.

En el presente trabajo, se analizará la implementación de un sistema de fortificación, que garantice la estabilidad y seguridad en sectores tales como la intersección de labores, en las que se genera una zona crítica en la corona debido al aumento de las dimensiones de estas.

En la Mina del caso de estudio, actualmente se emplean pernos helicoidales como sistema de fortificación, presentan una estructura con forma de espiral o hélice que les permite anclarse de manera eficiente en el terreno. Se fabrican en diferentes tamaños, siendo las utilizadas en la mina los pernos de 22 mm de diámetro y longitudes de 2,4 m y 4,0 m.

Para cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo, se realizará un análisis comparativo de la utilización de pernos MDX (Mechanical Dynamical Expansion) como sistema de fortificación, con el sistema utilizado actualmente.

Para ambos sistemas (pernos helicoidales y MDX), se llevó a cabo el seguimiento estricto de los procedimientos estándares de instalación, incluyendo los protocolos de fortificación y las directrices específicas para intersecciones aplicados por la empresa; empleando la maquinaria existente a tal fin, asignándose personal calificado necesario para asegurar la correcta implementación y cumplimiento de los requisitos del proyecto.

Los pernos MDX fueron instalados en varios sectores activos de la mina abarcando diversas clasificaciones de macizos rocosos. Esta variabilidad permite una evaluación exhaustiva del comportamiento de los pernos bajo diferentes condiciones geotécnicas. Una vez instalados los pernos MDX, fueron sometidos a pruebas de tracción (pull tests) para evaluar la capacidad de anclaje y resistencia. Los resultados obtenidos demostraron un rendimiento óptimo, lo que justificó su posterior instalación en zonas críticas, como la intersección de labores, donde las condiciones de estabilidad son diferentes.

Para dar soporte al estudio, se utilizó el software Unwedge, que está diseñado para ser una herramienta rápida, interactiva y fácil de usar para el análisis de la geometría y la estabilidad de cuñas definidas por las discontinuidades estructurales que se intersectan en excavaciones subterráneas. El mismo permite calcular el factor de seguridad de cuñas inestables y modelizar la influencia de los elementos de refuerzo en su estabilidad.

También se incorpora el análisis de costos que comprende: materiales, mano de obra calificada y uso del equipo de instalación.

Esto permitió realizar una comparación técnica económica entre el uso de pernos helicoidales y pernos MDX; considerando factores tales como el costo por metro de avance, la aplicación de shotcrete, y principalmente el tiempo asociado con la implementación de cada sistema de fortificación.

Esta evaluación integral proporciona una visión clara de la eficiencia y rentabilidad de ambos métodos bajo distintas condiciones operativas.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El control del terreno en minería subterránea es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las excavaciones. Por ello, resulta indispensable implementar un plan de manejo que establezca los principios de diseño y fortificación orientados a mitigar los riesgos de inestabilidad propios del comportamiento del macizo rocoso en condiciones operativas, constituyendo este el propósito de la presente investigación. Dicho plan define los métodos y procedimientos a aplicar en todas las unidades operativas de la mina para asegurar la estabilidad de las labores.

Uno de los aspectos críticos del control del terreno es la fortificación en las intersecciones de labores; dado que cuando las aberturas son superiores a 8,0 m, se requiere refuerzo adicional de la corona.

En la actualidad se emplean pernos helicoidales de 4,0 m de longitud, instalados en un patrón geométrico de 2,0 m x 2,0 m. Esta configuración permite distribuir las cargas y optimizar la capacidad de soporte del macizo, garantizando la estabilidad estructural de la excavación.

Se debe tener en cuenta que la caracterización geomecánica de la roca es un factor determinante en el diseño de la fortificación, parámetros como la resistencia a la compresión uniaxial, el grado de fracturación y la presencia de discontinuidades estructurales influyen directamente en la selección y diseño de los sistemas de sostenimiento.

En sectores donde la calidad de la roca es baja, es necesario implementar sistemas de soporte más densos y robustos, tales como mallas, pernos de mayor capacidad o refuerzos adicionales; en zonas con mejor calidad de roca, los requerimientos de fortificación pueden ser menos estrictos, permitiendo mayor flexibilidad en el diseño sin comprometer la estabilidad.

El objetivo de esta investigación es evaluar la viabilidad técnica-económica de reemplazar los pernos helicoidales por pernos MDX en las labores de intersección. Estos últimos combinan los mecanismos de fricción de los pernos Split Set con la capacidad de anclaje activa de una barra de acero de 20 mm, equipada con un sistema de expansión mediante cuña en su extremo.

Lo propuesto no busca reemplazar el patrón geométrico de la fortificación ya establecido, sino optimizar los tiempos de instalación y mejorar la eficiencia del control de terreno.

El uso de pernos MDX podría reducir el tiempo de los ciclos de avance, incrementar la productividad operativa y disminuir los costos asociados al sostenimiento, sin comprometer la seguridad ni la estabilidad estructural en áreas críticas de la mina.

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la eficacia de la instalación de pernos MDX, tendiente a mejorar la estabilidad y optimizar los ciclos de avance en las intersecciones de labores, aumentando la seguridad y reduciendo los tiempos de operación.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso según sistemas de GSI, RMR, y Q de Barton.



- Identificar e implementar los estándares de fortificación adecuados para cada tipo de macizo rocoso.
- Analizar el comportamiento de los pernos helicoidales lechados, desde su instalación y posterior seguimiento en diferentes tipos de macizos rocosos.
- Analizar el comportamiento de los pernos MDX, desde su instalación y posterior seguimiento en diferentes tipos de macizos rocosos.
- Realizar evaluación técnica-económica comparativa del sistema de fortificación con pernos helicoidales y pernos MDX.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

En el desarrollo del presente estudio, y con la finalidad de garantizar la confidencialidad de la información provista por la empresa minera, se ha decidido omitir mencionar a la empresa en la que se desarrolló la investigación, incorporando las denominaciones: “mina en estudio”, y “sector 1”, “sector 2” y “sector 3”, en referencia a los sectores en producción donde se realizaron los ensayos para cumplir con los objetivos planteados.

Como punto de partida, será necesario reconocer las zonas de intersección de labores en las que es necesario optimizar el sistema de fortificación.

No se tendrá en cuenta en el estudio el análisis de las tareas de perforación, voladura, saneado, ventilación y extracción, que forman parte del ciclo de avance, dado que serán los mismos para la instalación de ambos tipos pernos de anclaje.

La empresa cuenta además con estándares de fortificación que se emplean en todas las labores mineras que conforman la Mina.

Se empleará información brindada por el área de geología y geomecánica de la empresa, que servirá para identificar y clasificar el macizo rocoso.

Los equipos y los parámetros operativos considerados son los que actualmente se encuentran activos en el proyecto.

Se empleará los datos obtenidos por la empresa respecto al comportamiento de los pernos helicoidales, teniendo en cuenta la clasificación del macizo rocoso, y que servirán como punto de comparación a la hora de tomar una decisión.

Para estudiar el comportamiento de los pernos MDX, estos se colocarán en sectores estratégicos, teniendo en cuenta la clasificación del macizo rocoso (buena, regular, mala), considerando además ubicarlos en sectores alejados a la operación para poder controlar todas las variables que influyan en su instalación.

Se estudiará, además, el comportamiento del anclaje en zonas próximas a cámaras, para determinar el impacto y perturbación de la voladura de producción.

Una vez instalados los pernos MDX, se llevará a cabo ensayos “pull test” de los mismos. Para ampliar el margen de estudio se emplearán pernos MDX de 39 mm de diámetro y 2,4 m de longitud y de 47 mm de diámetro y longitudes de 2,4 m y 3,0 m; que serán instalados mediante equipos mecanizados Jumbo DD y Bolter DS.

Se confeccionarán planillas que sirvan para recopilar información respecto a la ubicación, longitud y diámetro de perno, condiciones de macizo rocoso, calidad de la roca, tiempos de ciclos, como así también el requerimiento de equipamiento y mano de obra que se empleará.

Los resultados obtenidos de los ensayos permitirán tomar la decisión de incluir o no como sistema de fortificación a los pernos MDX.



Se realizará un análisis costo-beneficio, que permita observar el contraste entre ambos escenarios operacionales, teniendo en cuenta las variables de instalación operativas, las condiciones de exposición del personal y la aplicación a otros escenarios potenciales.

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El método para desarrollar el trabajo contempla las siguientes etapas que describen los pasos más importantes del proceso:

- a) Análisis de la información
 - Situación actual de las zonas de intersección.
 - Análisis y estudio de los sistemas estandarizados que maneja la empresa: clasificación de macizos rocosos, parámetros de fortificación.
 - Parámetros operativos de los equipos a utilizar.
- b) Ejecución del estudio
 - Elección de la zona de estudio, en las diferentes minas activas.
 - Instalación y estudio del comportamiento de pernos helicoidales.
 - Instalación y estudio del comportamiento de los pernos MDX, en paredes de diferentes minas activas.
 - Ensayos pull test en ambos sistemas de fortificación.
 - Determinación de los tiempos de instalación de ambos sistemas de fortificación.
 - Determinación de las dimensiones de las cuñas en la corona, a través de la aplicación del software Unwedge.
- c) Análisis de los resultados
 - Instalación y ensayos “pull test” de los pernos helicoidales y MDX en corona.
 - Análisis técnico - económico, de ambos sistemas de fortificación.
- d) Conclusiones
- e) Recomendaciones

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE MINERO Y SUS CARACTERÍSTICAS

2.1.1 Historia relevante de la mina

La Mina en estudio se encuentra ubicada en la provincia de Santa Cruz, en la parte baja de la llanura Patagónica Argentina, a una altura aproximada de 600 m.s.n.m (Figura N°1). La infraestructura comprende caminos de acceso pavimentados y de ripio hacia la ciudad provincial más cercana de Las Heras, localizada a 110 Km al noreste. A 160 Km al noreste de Las Heras se encuentra ubicada la ciudad de Comodoro Rivadavia, con una población de 140.000 habitantes, que cuenta con puertos marítimos y aeropuerto.

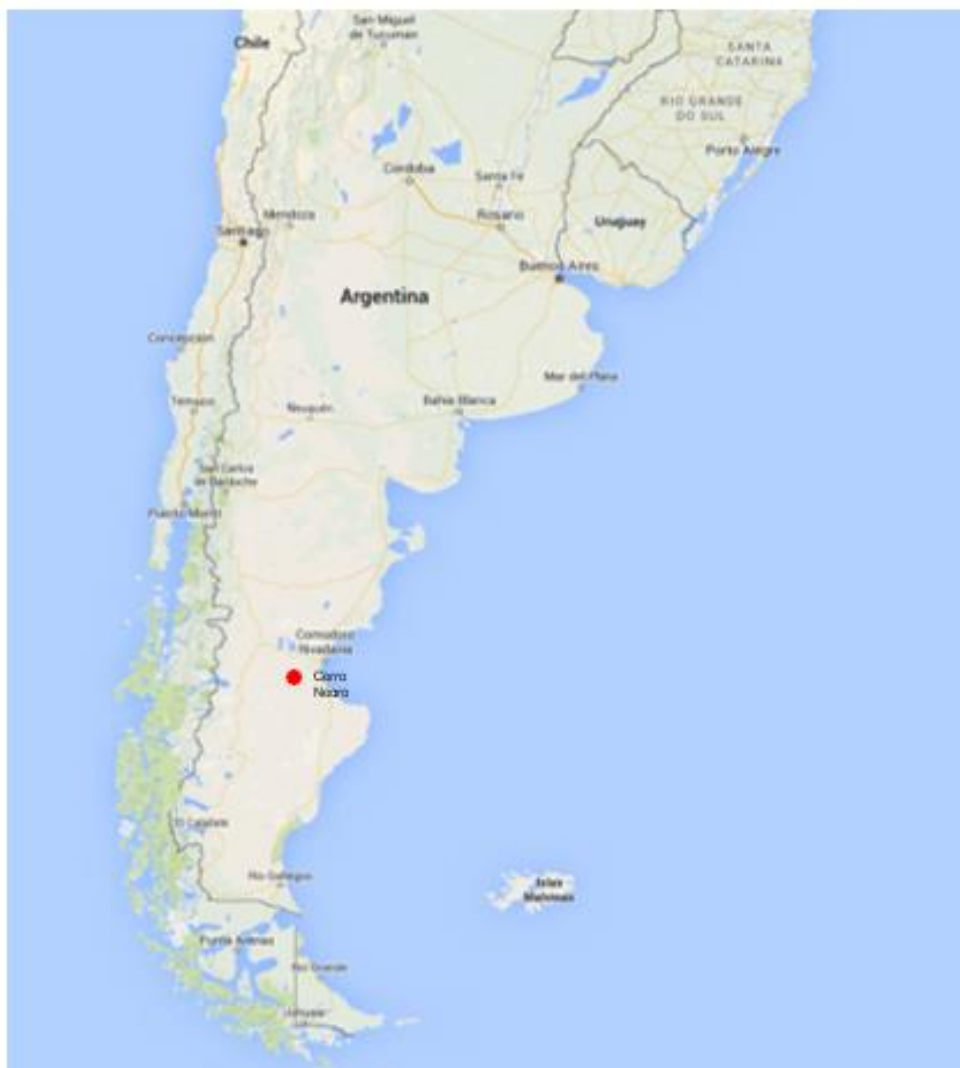


Figura N°1: Ubicación geográfica.

La propiedad comprende 27.000 ha y, abarca 9 áreas de prospecto identificadas con manifestaciones de mineralización de oro epitermal de baja sulfuración (y potencialmente de plata), emplazados en vetas de cuarzo asociadas a stockworks. Dentro del área de proyecto, se han reconocido zonas de mineralización epitermal, y en ellas podemos diferenciar aquellas Minas Subterráneas Activas que la componen:

- **Sector 1** (Figura N°2), localizada cerca del margen oeste de la propiedad y la cual contiene grandes afloramientos de las vetas de cuarzo por más de 4,0 Km a lo largo del rumbo, y que ha registrado leyes de oro significativas.
- **Sector 2:** Veta MN y veta MC (Figura N°2), localizada al Noreste de la zona de la veta EK.
- **Sector 3**
- **Sector 4**, localizado a 5,0 Km al Noreste de la zona de la veta EK.

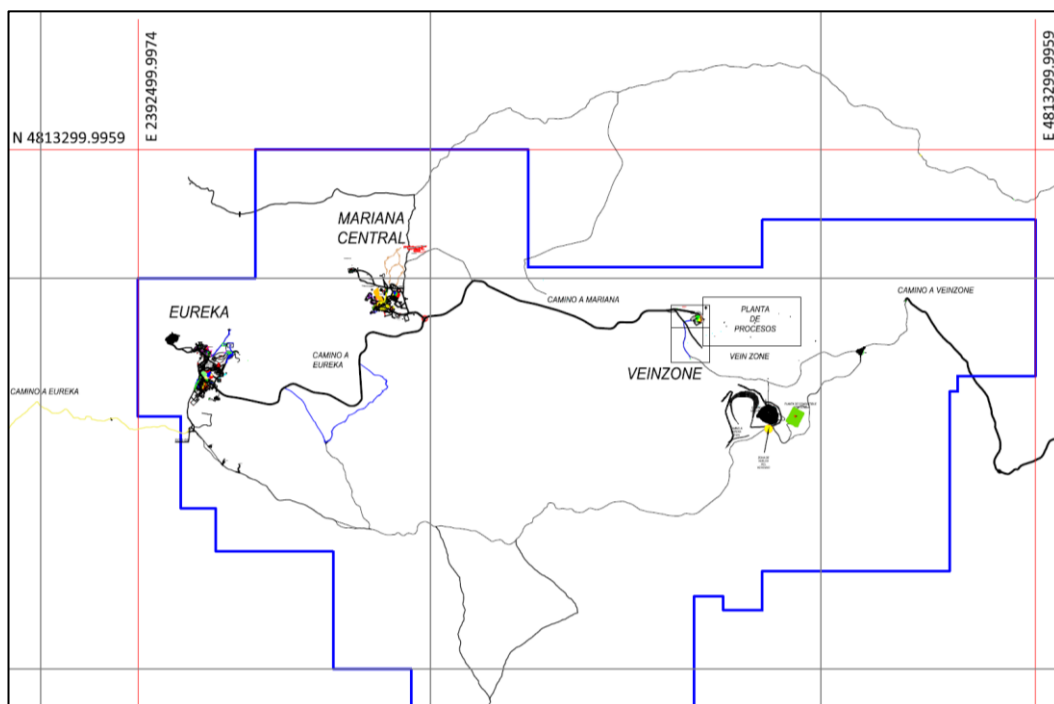


Figura N°2: Mina en estudio – ubicación de Mina sector1, sector 2 y sector 3.

2.2 MÉTODO DE MINADO

2.2.1 Descripción del Método de Minado

El método minero es un proceso iterativo que integra sistemas, equipos y operaciones organizadas de manera secuencial y repetitiva para permitir la explotación eficiente de un yacimiento. Su correcta selección es determinante, ya que condiciona la productividad y la recuperación de mineral.

Para vetas con una potencia mayor a 8 m, el método más adecuado es el Sublevel Stoping con relleno. En contraste, cuando la potencia de la veta es menor a 8 m, se recomienda emplear el método Sublevel Retrieve.

La etapa de preparación inicia con el desarrollo de una galería de transporte paralela a la zona mineralizada, diseñada en distintos niveles y ubicada aproximadamente 30m de la veta. Desde esta se ejecutan los corta veta, dispuestos cada 30m en explotaciones transversales o cada 105m en explotaciones longitudinales, según el método de minado seleccionado.

2.2.2 Sublevel Stoping

El método Sublevel Stoping se emplea en yacimientos tabulares de gran espesor y macizos rocosos competentes. Su objetivo es explotar grandes volúmenes de mineral

mediante cámaras de producción de gran tamaño. Las cámaras se desarrollan y extraen de forma alternada (primarias y secundarias) para optimizar la recuperación y mantener la estabilidad.

La perforación y voladura se realizan en dirección descendente, permitiendo altas tasas de producción. Las cámaras primarias se estabilizan con relleno cementado, mientras que las secundarias utilizan relleno detrítico, favoreciendo eficiencia económica. Este método destaca por su elevada mecanización, buena recuperación y productividad, siempre que la roca sea competente.

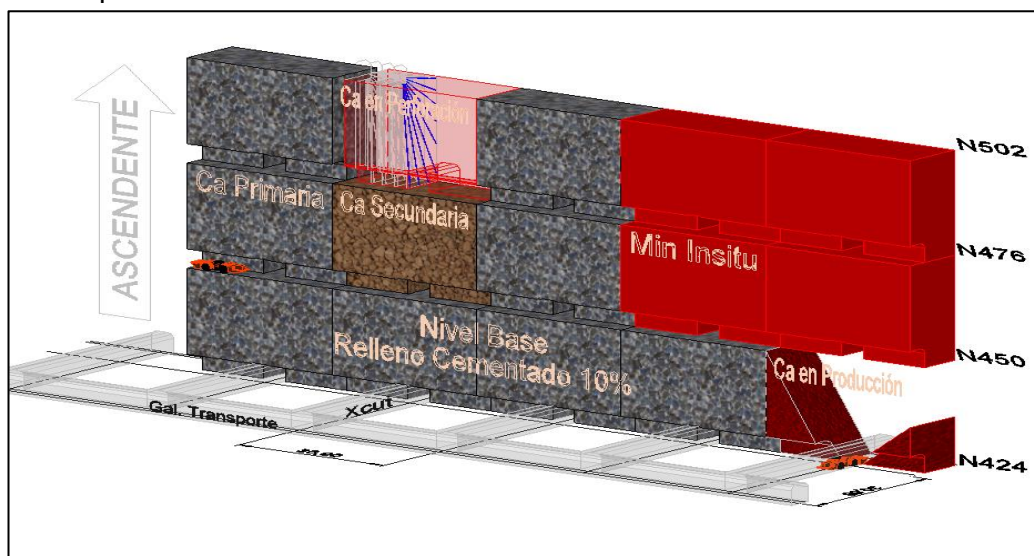


Figura N°3: Método Sublevel Stopping.

2.2.3 Sublevel Retrieve

El método Sublevel Retrieve se aplica preferentemente en vetas con potencias menores a 8 metros y permite menos metros de labores de desarrollo. Las voladuras son cargadas en forma descendente empleando emulsión. La secuencia de explotación es mediante el uso de relleno cementado para las cámaras primarias, y las cámaras posteriores llevan cemento hasta formar un pilar de 5 m en el nivel superior, luego es relleno con material de estéril sin cemento.

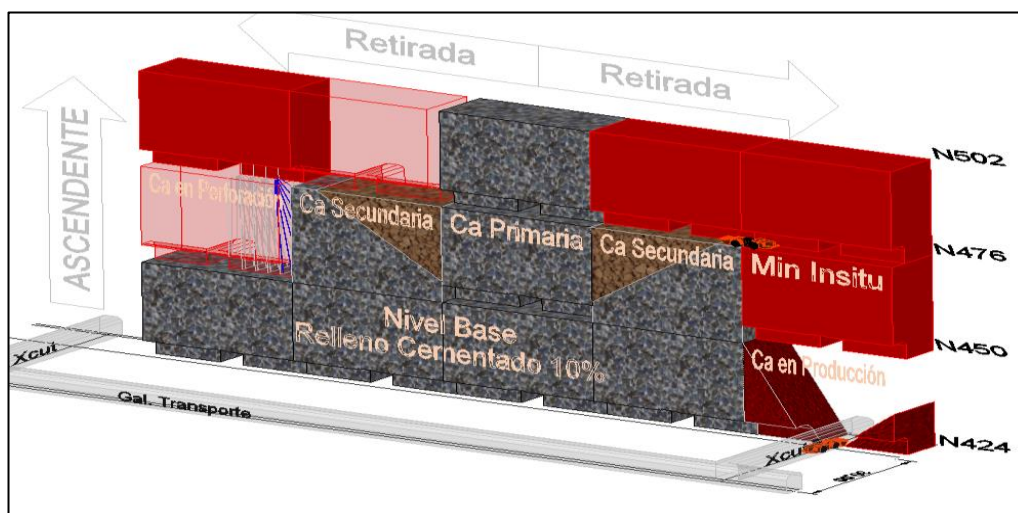


Figura N°4: Método Sublevel Retrieve

2.3 GEOLOGÍA Y DATOS GEOTÉCNICOS

2.3.1 Geología regional

Las vetas de oro y plata del Complejo están situadas cerca del margen oeste del Macizo del Deseado, un bloque de corteza rígido de 60.000 km² en el sur de Argentina, limitado al norte por el Río Deseado, al sur por el Río Chico, al este por la Costa Atlántica y al oeste por la Cordillera de los Andes.

2.3.2 Características del yacimiento

Los depósitos epitermales de la mina están íntimamente asociados con la tectónica de los volcanes del Jurásico tardío, en la región noroeste del Macizo de Deseado. Los depósitos son un sistema de vetas de alto nivel, que ha experimentado muy poca erosión, aunque en la mayoría de los casos están parcialmente preservadas por debajo de una cobertura delgada de materiales volcánico-clásticos, o, de depósitos de vertiente en desarrollo en las terrazas del bloque fijo de grandes fallas normales. Estas grandes fallas predominantemente con rumbo WNW, controlan grabenes locales de gruesas capas de material volcánico-clástico y tobas post y posiblemente sin mineralización, localmente denominadas Formación La Matilde.

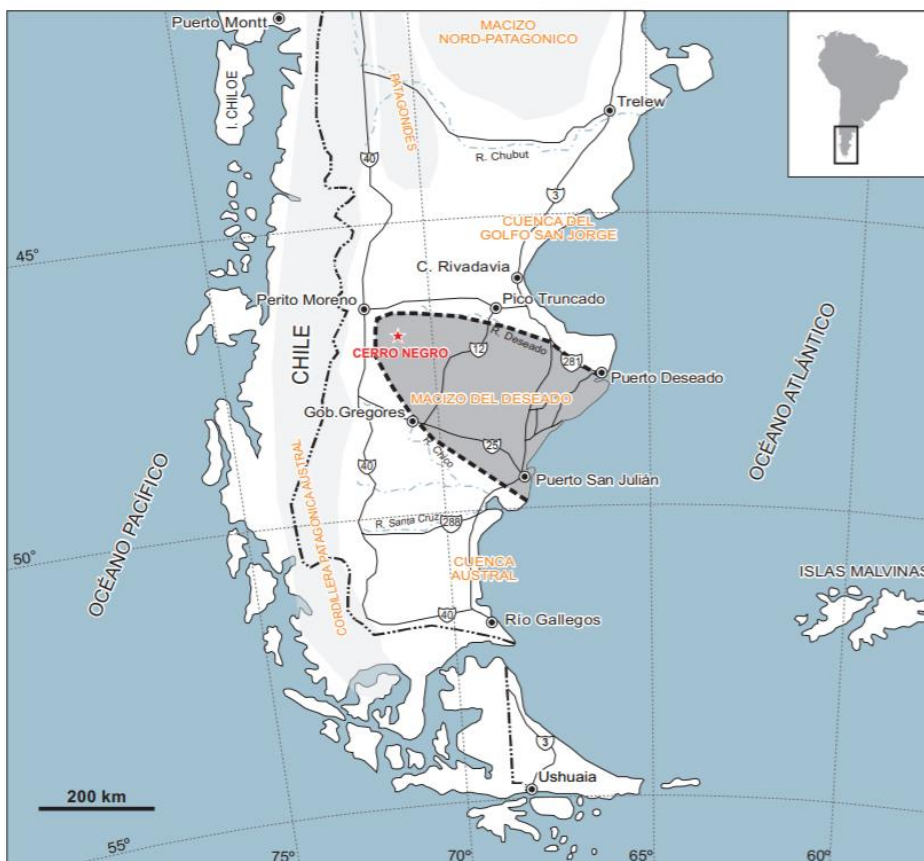


Figura N°5: Mapa con ubicación del distrito CN en el marco de la Patagonia.

El volcanismo del Jurásico medio a tardío en el Macizo del Deseado está convencionalmente dividido en la Formación andesítica de Bajo Pobre, y el Complejo riolítico de Bahía Laura, este último comprende las Formaciones Chon Aike y La Matilde. El volcanismo basáltico comenzó en el Cretácico y continuó a lo largo del Cenozoico; los sedimentos volcánicos-clásticos fueron depositados y las tobas fueron erupcionadas en el

Terciario temprano. Estas unidades están por debajo de extensas terrazas de gravas fluviales del Pleistoceno.

Tabla N°1: Unidades litológicas principales (fuente NI43-101 Technical Report, 2.011)

Unidad	Depósitos/Mineralización	Litologías	Equivalencias Postuladas
Complejo Volcánico – Subvolcánico de Eureka	Eureka, Marina, y San Marcos	Flujos andesíticos basales y brechas, suprayacidas por ignimbritas más félsicas y lavas andesíticas más jóvenes. Intruyen pórfidos andesíticos a dacíticos.	Formación Bajo Pobre
Ignimbrita de Cerro Negro	Bajo Negro y VeinZone	Más de 500 m de espesor de ignimbritas dacíticas y riolíticas; tobas andesíticas subordinadas. Se pueden encontrar ignimbritas con clastos de esquistos derivados del basamento subyacente y sedimentos menores.	Formación Chon Aike
Estratos del Lago Marina	Depósitos de hot-spring y montículos de travertino son la expresión superficial del evento de mineralización de Eureka y Mariana.	Serie de sedimentos de lago finamente estratificados y tobas de cenizas menores en las que se desarrollaron los depósitos silíceos de hot-spring y los montículos de travertino.	
Complejo riolítico de Eureka	Brechas alteradas con rumbo oeste en un domo riolítico a 0,5-1Km de las vetas de Mariana Norte y Mariana Central.	Riolita con bandeamiento de flujo, masiva, porfirítica y en parte esferulítica o vidriada.	
Ignimbrita Las Margaritas	Venillas de cuarzo menores.	Pómez e ignimbritas ricas en cristales, sedimentos epiclásticos estratificados, y vitrófidos menores. Forman un colchón de piroclastos que buza hacia afuera al norte y sur del Complejo riolítico de Eureka.	Los sedimentos epiclásticos han sido referidos como la Formación La Matilde.
Brecha de Escombros (BAFU)	Donde las perforaciones intersectan la BAFU en la vecindad de los depósitos de Mariana Central y Mariana Norte, se observan fragmentos de cuarzo en la parte inferior de BAFY inmediatamente por encima de las vetas.	Formada por la degradación y colapso del bloque piso de fallas normales principales las cuales están asociadas con la mineralización. La composición de los clastos refleja las rocas fuentes de las cuales se ha derivado, las cuales incluyen, pero no se limitan, a Andesitas.	La brecha es una unidad erosional, algunas veces referida como BAFU (unidad basal de fragmentos andesíticos - basal andesitic fragmental unit).
Terciario		Cenizas Terciarias localizadas, basaltos Terciarios extensivos.	
Cuaternario a reciente		Gravas fluviales, relleno de valle no consolidado del Holoceno, depósitos de gravas re-trabajados.	

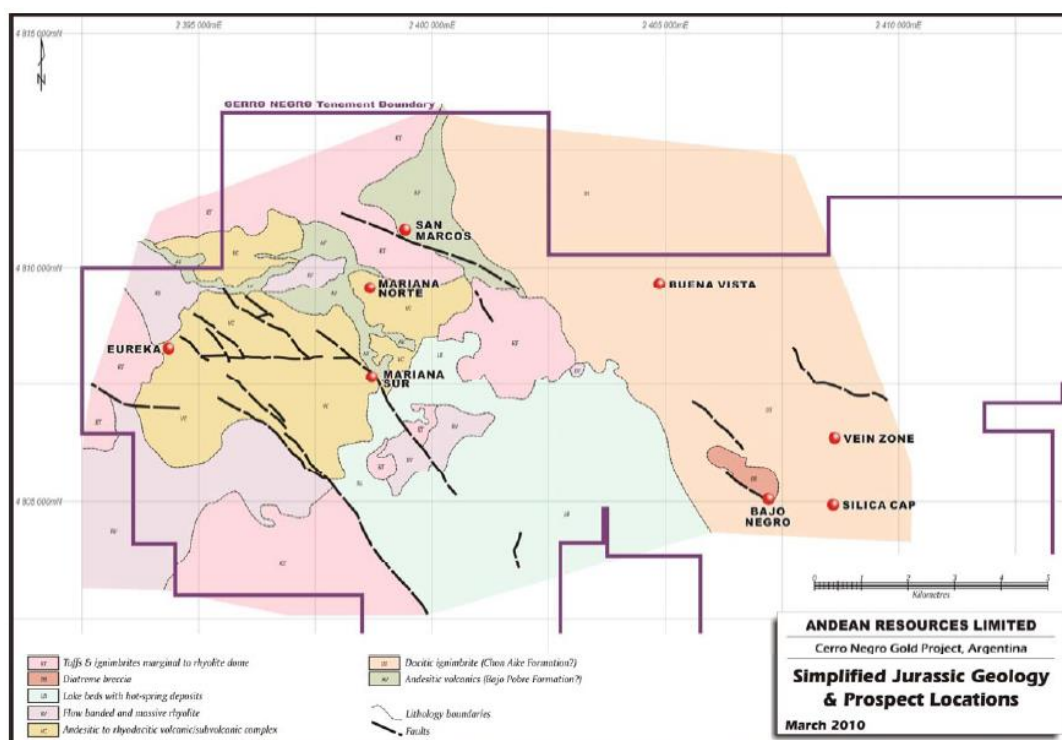


Figura N°6: Plano geológico-litológico: Andesita, Ignimbrita, Bafu y estructuras principales

2.3.3 Geología estructural (Dave Coller, 2.010)

Las vetas presentes en la mina en estudio son las estructuras geológicas principales en el sector. Estas presentan geometrías típicas de redes de fallamiento normal, desarrolladas en respuesta a grandes desplazamientos de fallas en un ambiente de tipo rift, los cuales controlan grabenes estrechos.

El sistema de vetas epitermales se ve influenciado por desplazamientos relativamente menores, localizados cerca de complejos de fallas extensionales superficiales. Estas fallas se originaron como resultado del levantamiento y posterior colapso de bloques de piso asociados a grandes fallas normales con orientación noroeste. La erosión de estos bloques elevados y el truncamiento de las zonas superiores de algunas vetas, fue ocasionado como resultado de deslizamientos lítricos de bajo ángulo y la subsecuente formación de conglomerados de vertiente (BAFU), visibles en los sectores 2 central y 2 norte.

Se interpreta que tanto la formación de las vetas como la degradación de los bloques de piso forman parte del mismo proceso extensivo que tuvo lugar durante la extensión y resurgencia de una gran caldera en el sector oeste. La presencia de conglomerados interestratificados, tobas félsicas y volcanoclastos en los paquetes de deslizamiento también indica un volcanismo félsico activo durante esta etapa.

2.3.3.1 Veta Sector 1

La veta está compuesta principalmente de cuarzo, con rellenos de limonita, calcita, entre otros minerales. Presenta espesores variables entre 5,0 m y 18,0 m, con texturas características de sistemas epitermales, tales como bandeamiento crustiforme y coloforme, y brechas. Esta estructura se encuentra alojada en una matriz de andesitas, y su disposición

está fuertemente condicionada por el control estructural del sistema, lo que indica una estrecha relación entre la mineralización y las fracturas preexistentes.

Las alteraciones hidrotermales reconocidas en el área abarcan desde facies silíceas hasta argílicas, con intensidades que oscilan entre media y alta. Estas se manifiestan tanto en los contactos entre la veta y las andesitas, como en forma de parches orientados verticalmente en dirección este-oeste, tal como se ilustra en la Figura N°7.

En los niveles superficiales, se observa una marcada oxidación de la veta como resultado de la interacción con aguas meteóricas. A medida que se desciende en profundidad, las condiciones se tornan más reductoras, disminuyendo la oxidación hasta el nivel 320. A partir de esta cota, se evidencia nuevamente un incremento en los procesos de oxidación, tanto en la veta como en la roca encajante, asociado a cambios litológicos y a la influencia de estructuras que actúan como canales de percolación de fluidos.

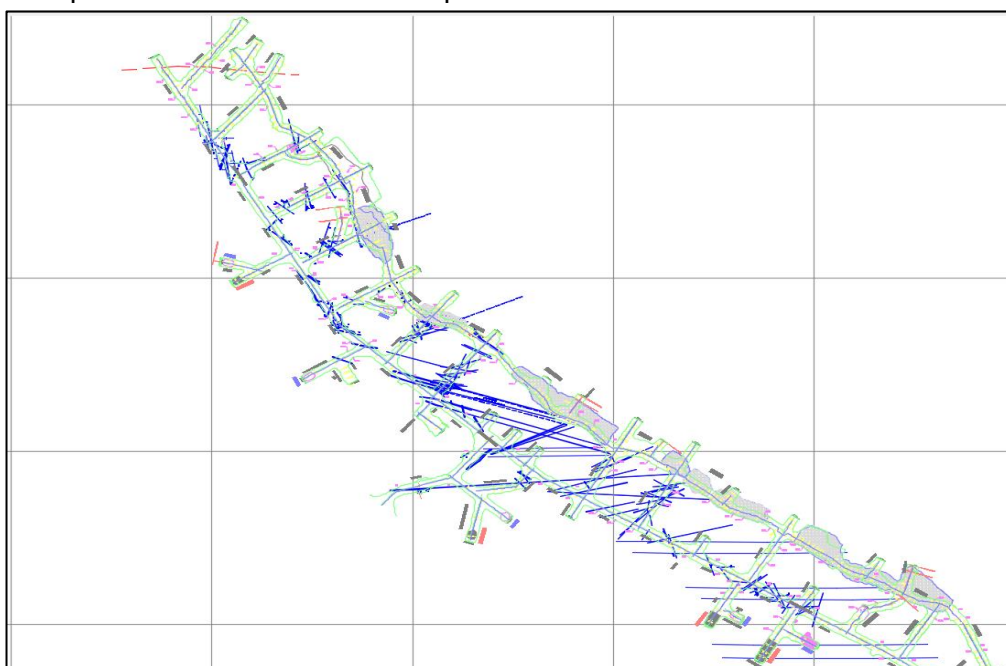


Figura N°7: Nivel 476, Mina sector 1. Estructuras principales

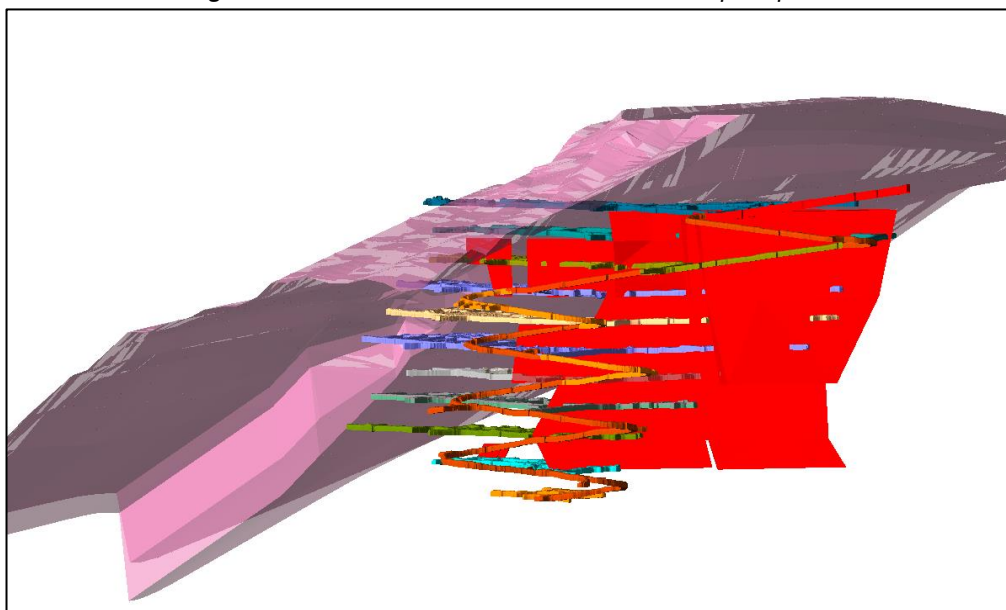
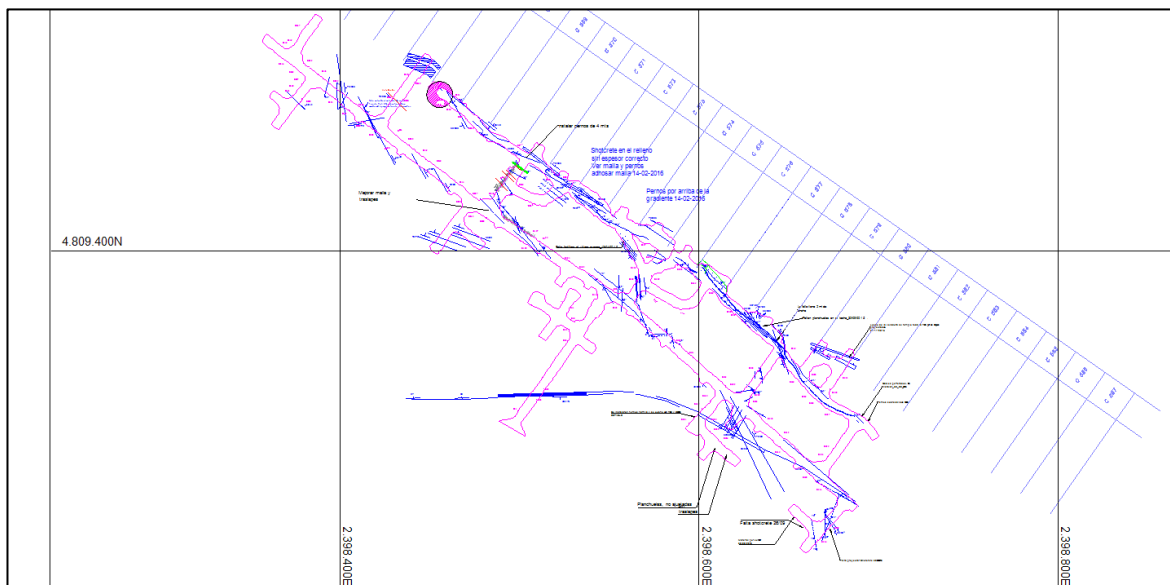


Figura N°8: Fallas principales en mina sector 1, contacto formación La Matilde

2.3.3.2 Veta sector 2 central y sector 2 norte

Es una veta hidrotermal, principalmente de cuarzo con cantidades significativas de calcita que ocupan cavidades dentro del cuarzo. Las potencias son de alrededor de los 12,0 m aproximadamente. Ambas vetas están emplazadas en rocas andesíticas que han sufrido la contaminación de alteraciones silíceas fuertes. En el sector 2 se han identificado dos fallas principales afectando la veta, una hacia la caja piso y la otra hacia caja techo, a lo largo de las cuales se han identificado las cavidades.



2.4 CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

En geología, el macizo rocoso se define como una sección de la corteza terrestre compuesta por materiales consolidados, la cual está delimitada por fallas o fisuras. Estos cuerpos rocosos constituyen el entorno físico fundamental en el cual se desarrollan las labores mineras subterráneas.

Para la caracterización del macizo rocoso en la mina objeto de estudio, la empresa ejecutó una serie de estudios preliminares, complementados con mapeos geomecánicos en interior mina. Durante este proceso, se recopilaban datos relevantes, tales como la dirección y buzamiento de las estructuras principales, el RQD (Rock Quality Designation), el grado de alteración de la roca y las condiciones de las discontinuidades presentes tanto en la roca caja como en el cuerpo mineralizado.

La clasificación geomecánica del macizo rocoso se llevó a cabo mediante la aplicación de los métodos Q de Barton, RMR (Rock Mass Rating) y GSI (Geological Strength Index). A partir de estos análisis, fue posible identificar cuatro clases de macizo rocoso en la roca caja, así como diversas clases dentro del cuerpo mineralizado. En función de esta caracterización, se determinó el tipo de sostenimiento requerido para cada clase de macizo, con el fin de garantizar la seguridad y estabilidad de las labores mineras.

Tabla N°2: Definición de Clases Geomecánicas

Tipo de Macizo Rocos	Clase	Q	RMR	GSI
Roca Caja (Andesita sector 1 y 2)	F2	$0,4 < Q < 1$	44-36	Figura N°9 – Círculo Amarillo
Roca Caja (Andesita sector 1 y 2)	F3	$0,1 < Q < 0,4$	23-36	Figura N°9 – Círculo Azul
Roca Caja (sector 1)	F4	$0,1 < Q < 0,04$	20-30	Figura N°9 – Círculo Rojo

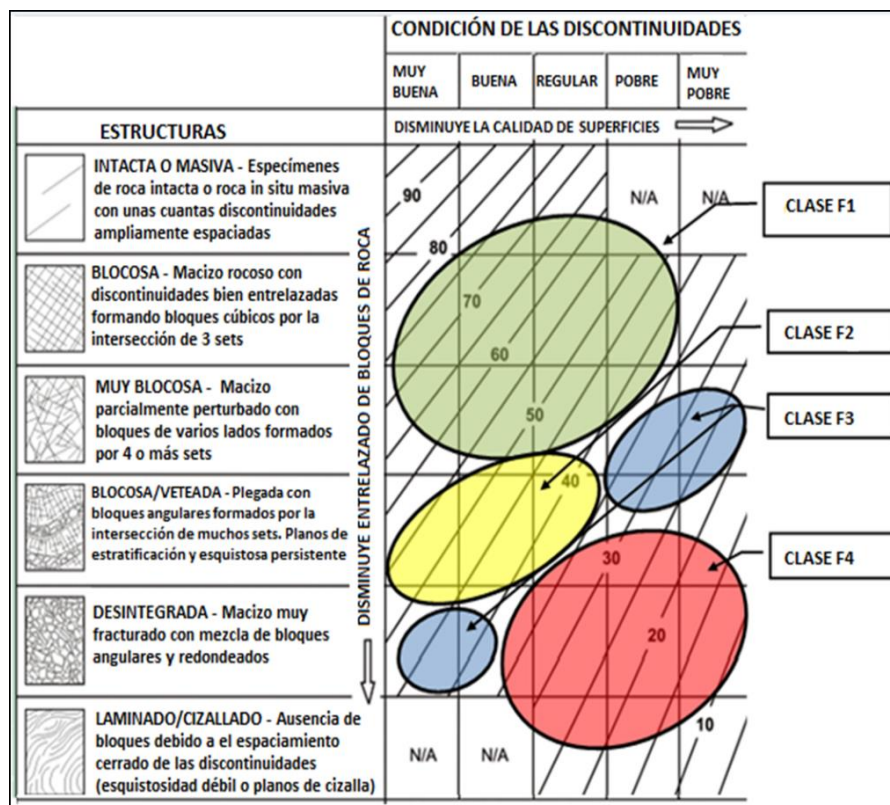


Figura N°11: Clasificación del macizo rocoso

De acuerdo a la Tabla N°2 se ha identificado en el sector 1:

- Que, la roca caja del yacimiento corresponde predominantemente a una andesita, en la cual predominan las clases F2 (caja piso) y F3 (caja techo). Estas unidades geológicas presentan un estado de alteración que varía entre bueno y moderado, y muestran valores de GSI y RMR superiores a 40, lo que indica una calidad geomecánica aceptable para el desarrollo de labores subterráneas.
- Las zonas de falla y de alteración con dirección este-oeste, denominadas “alteration seams (son zonas de alteración – debilitamiento químico o físico de la roca – generalmente asociados a la presencia de minerales como arcilla)”, se presentan generalmente con una orientación sub-verticales y afectan principalmente a la caja techo. Son caracterizadas por presentar valores de GSI comprendidos entre 20-45 y de RMR en el rango de 30-40. Dichas zonas tienden a experimentar procesos de degradación progresiva tras su exposición, favoreciendo la formación de minerales arcillosos que inducen el desgranamiento del macizo rocoso. La alteración puede desarrollarse en un intervalo temporal que varía entre 2 y 6 meses, dependiendo de las condiciones de exposición y de la ausencia de medidas de fortificación. Como resultado de este deterioro, los valores de GSI y RMR pueden descender hasta niveles inferiores a 20, indicando una disminución significativa en la calidad Geomecánica de la roca.
- Las tobas de la formación La Matilde se caracterizan por ser una roca muy blanda, fuertemente alterada y con un tiempo de autosuporte limitado (entre un par de horas y un máximo 5 días). En el sector EK, estas unidades se encuentran localizadas hacia el extremo oeste de la mina. Al tratarse de una litología posterior al evento de mineralización, no se han identificado depósitos económicos en esta roca. No obstante, se han desarrollado labores relacionadas con la ventilación. Los valores de RMR son inferiores a 30 mientras que el GSI presenta valores menores a 35, evidenciando una calidad geomecánica muy baja que condiciona severamente la estabilidad de las excavaciones.
- Las rocas de la Formación BAFU está compuesta por brechas con matriz de tobas de la Formación La Matilde y clastos de Andesita. Es reconocida por ser la zona de transición entre la Andesita y La Matilde, por lo que sus rocas se encuentran fuertemente alterada. Al igual que La Matilde, las rocas de BAFU presenta valores de RMR menores a 30, y GSI menores a 35, lo que indica una baja calidad del macizo rocoso.
- El mineral (veta), suele estar alterado e intensamente fracturado cerca de la superficie (niveles 528 y 554), y hacia los niveles inferiores (por debajo del nivel 320), presentando valores de GSI y RMR menores a 34 en los peores casos, lo que indica una roca muy pobre desde el punto de vista geotécnico. En el sector intermedio, la veta muestra una menor alteración y escasa oxidación, pero se encuentra moderadamente fracturada.

En el caso del sector 2:

- La roca caja, que corresponde a una Andesita fresca suele clasificarse principalmente como F2, presentando valores de GSI y RMR superior a 50, lo que indica un macizo rocoso de calidad moderada a buena. Este tipo de roca se encuentra estructuralmente afectada por la presencia de fallas y estructuras menores (vetillas), las cuales están

rellenas por materiales de baja cohesión, principalmente carbonatos. Dichas estructuras, contribuyen a la fragmentación del macizo, generando bloques de pequeños y grandes bloques dimensiones.

- El cuerpo mineralizado, está afectado por dos fallas principales que corren paralelas a la veta, una localizada hacia la caja techo y la otra hacia la caja piso. Estas estructuras se caracterizan por la presencia de arcillas poco consolidadas y/o cavernas. Estas cavernas se encuentran a lo largo de toda la veta, presentando diferentes dimensiones de acuerdo con el sector: hacia la parte central y oeste, las cavidades suelen ser de mayor dimensión, y persistentes en profundidad (por ejemplo, en los sectores C563, C568, C570, C574, C576); mientras que hacia el este de la C579, las cavidades suelen ser más pequeñas o ausentes. En las zonas afectadas por las fallas, los valores de RMR y GSI suelen estar por debajo de los 25 y 30, lo que indica condiciones geotécnicas muy desfavorables para el desarrollo de labores subterráneas.
- Al igual que en el sector 1, las rocas de la Formación BAFU y la toba suprayacente, se caracterizan por una calidad geomecánica pobre. En el sector 2 estas rocas se encuentran en la parte superficial por lo que adicionalmente están meteorizadas; fueron intersectadas en los primeros metros de la rampa, por lo cual se debieron instalar marcos como fortificación primaria.

2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO

En el año 2.009 Golder Associates (Memorando agosto 2.009), realizó ensayos de laboratorio en muestras tomadas en el sector 1 cuyos resultados son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla N°3: Resultados ensayos de laboratorio muestras del sector 1.

Zona	UCS Promedio (Mpa)*	# Muestras	UCS Promedio de PLT (Mpa)*	# Muestras
Caja Techo	42	4	48	36
Veta	23	6	108	14
Caja Piso	30	4	30	24

Estos resultados deberán ser actualizados mediante el envío de nuevas muestras al laboratorio, con el fin de obtener datos más representativos de las labores actuales de trabajo.

A partir de las observaciones de campo recientes, realizadas mediante mapeos en ambas minas, se ha definido la resistencia de las rocas, tal como se detalla en las siguientes tablas:

Tabla N°4: Resistencias estimadas en el sector 1 a partir de observaciones de Campo

Zona	UCS asumido de observaciones de campo (ISRM)	UCS asumido de observaciones de campo (Mpa)
Caja Techo	R3	40
Veta	R4	70
Caja Piso	R3	30

Tabla N°5: Resistencias estimadas en el sector 2 a partir de observaciones de Campo

Zona	UCS asumido de observaciones de campo (ISRM)	UCS asumido de observaciones de campo (Mpa)
Caja Techo	R4	75
Veta	R5	150
Caja Piso	R4	75

2.5.1 Características del macizo rocoso según ensayos de laboratorio

En base a los ensayos de laboratorio y a las observaciones de campo, se han definido los siguientes parámetros geomecánicos para cada una de las rocas.

Tabla N°6: Caracterización Macizo Rocosos y Módulo de Young para rocas del sector 1.

Dominio	Tipo de Roca	Q'	RMR	Módulo de Young (GPa)	Poisson	GSI
Caja Techo	Andesita	6,7	53	2,5	0,3	35-55
Veta	Veta de Cuarzo	5,7	53	4,9	0,3	35-55
Caja Piso	Andesita/Ignimbrita	6,2	62	4,9	0,3	>40
La Matilde	Toba	1,25	25	0,3	0,3	<35

Tabla N°7: Caracterización del Macizo Rocosos (Basado en Mapeos) y Módulo de Young para rocas del sector 2 estimadas a partir de observaciones de campo y Roclab.

Dominio	Tipo de Roca	Q'	RMR	Módulo de Young (GPa)	Poisson	GSI
Caja techo	Andesita	7	61	50	0,3	>40
Veta	Veta de cuarzo	3	37	40	0,3	30
Caja Piso	Andesita	7	56	50	0,3	>40

2.6 PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACIÓN DE INFRAESTRUCTURA

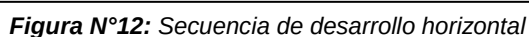
2.6.1 Métodos de perforación y voladura - desarrollo horizontal

Los principales desarrollos horizontales incluyen la rampa, galerías de transporte, galerías basales.

La rampa es de 4,5 m de ancho (W) x 4,7 m alto (H), con una gradiente del -15%. Esta se encuentra sostenida con una combinación de perno helicoidal con resina o lechado, malla y shotcrete de acuerdo con el requerimiento asociado a la calidad del macizo rocoso (ver estándar de sostenimiento). Esta infraestructura está diseñada a una distancia mínima de 60 m de la veta, a fin de evitar subsidencias producto del sobre-excavación de la explotación de las cámaras.

La preparación minera se inicia con el desarrollo de una galería de transporte paralela a la zona mineralizada, ubicada a 30,0 m de distancia de la veta. A partir de esta galería se construyen las cortas vetas, cuyo espaciamiento depende del método de explotación utilizado: cada 30 metros para explotación transversal y cada 105,0 m para explotación longitudinal. Las galerías de transporte presentan las mismas dimensiones que la rampa.

El explosivo utilizado es emulsión, usando detonadores electrónicos; en los sectores con presencia de fallas o cavidades, la voladura se realiza en dos etapas, volando inicialmente el arranque y la parte inferior de la labor, y en un segundo evento, volando el contorno con cordón detonante para cuidar el techo de la labor.



2.7 PROCEDIMIENTO DE MAPEO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.

El objetivo de la clasificación geotécnica es caracterizar el macizo rocoso, se utiliza un método acorde con la norma Internacional Society for Rock Mechanics (ISRM). Esta clasificación permitirá coleccionar información geotécnica que servirá para los diferentes tipos de sostenimiento propuestos, la planificación de la explotación y las dimensiones de las labores subterráneas también permitirá desarrollar un monitoreo efectivo para manejar el riesgo geotécnico.

La caracterización del macizo rocoso se ha hecho en base a estudios previos y mapeos geomecánicos en interior mina, lo mismo se realizan en frente actual de labores o zona representativa de la calidad del macizo. Para ello se han tomado datos de dirección y buzamiento de las estructuras principales, RQD, grado de alteración y condición de las discontinuidades en ambas minas.

Para el mapeo estructural, se proyectan y digitalizan a la altura de la gradiente además tomando como referencia las distancias de los puntos topográficos. Estas estructuras también podrán ser relevadas por el área de topografía.

La clasificación del macizo rocoso se realizó usando los métodos de Q de Barton, RMR y GSI.

2.7.1 Mapeos de caracterización del macizo rocoso (Q Barton)

2.7.1.1 Cálculo del Índice “Q”

El método de clasificación de Barton et al. (1.974) se desarrolló para estimar la fortificación de túneles en función del índice Q de calidad geotécnica, definido como:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

Donde el primer cociente corresponde a una estimación del tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso, el segundo cociente corresponde a una estimación de la resistencia al corte entre bloques, y el tercer cociente representa lo que Barton et al. (1.974) denominan esfuerzo “activo”. Los parámetros que definen estos cocientes son:

- **RQD** es la designación de la calidad de la roca definida por Deere et al. (1.967), que puede variar de 0 (macizos rocosos de muy mala calidad) a 100 (macizos rocosos de excelente calidad).
- **J_n** es un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Set Number), que puede variar de 0,5 (macizo masivo o con pocas estructuras) a 20 (roca totalmente disgregada o triturada).
- **J_r** es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Roughness Number), que puede variar de 0,5 (estructuras planas y pulidas) a 5 (estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3,0 m).
- **J_a** es un coeficiente asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Alteration Number), que puede variar de 0,75 (vetillas selladas en roca dura con rellenos resistentes y no degradables) a 20 (estructuras con rellenos potentes de arcilla).

- **Jw** es un coeficiente asociado a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Water Reduction Factor), que puede variar de 0,05 (flujo notorio de aguas, permanente o que no decae en el tiempo) a 1 (estructuras secas o con flujos mínimos de agua).
- **SRF** es un coeficiente asociado al posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor), que puede variar de 0,05 (concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente) a 20 (condición favorable a la ocurrencia de estallidos de roca).
- Como paso siguiente y luego de haber tomado los datos para llenar las tablas de las estructuras, se debe completar los datos de los parámetros del algoritmo del Índice de “Q”.

El RQD se recomienda calcularlo con la fórmula de Palmstrom (1.982)

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

En donde Jv es la sumatoria de todas las fracturas en las tres direcciones espaciales ortogonales (x, y, z), por unidad de volumen.

Tabla N°8. Clasificación del Macizo Rcoso según valores de RQD

RQD	Calidad Geotécnica
< 25	MUY MALA
25 a 50	MALA
50 a 75	REGULAR
75 a 90	BUENA
90 a 100	EXCELENTE

Barton recomienda usar valores de 5 en 5 siendo estos rangos suficientes para la precisión que se necesita en el cálculo de Q. Cuando el valor estimado de RQD es menor que 10, se debe realizar el cálculo con RQD=10.

Planilla determinación de Barton: en base a lo descripto anteriormente, la empresa generó una planilla de control, incorporando las variables que intervienen para la obtención de la calidad de la roca.

Número de Diaclasas					
Dirección 1	8				
Dirección 2	5				
Dirección 3	13				
Sistema Q					
1	RQD	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS	VALOR	
2	Número de Sistemas de Juntas	Jn	Tres Familias mas ocasionales	20	
3	Número de Rugosidad de Juntas	Jr	Ondulosas, rugosas	1,0	
4	Número de Alteración de Juntas	Ja	Lig. Alteracion	8	
5	Factor de Reducción por agua en juntas	Jw	Secas	1	
6	Factor de Reducción de Esfuerzos	SRF	Cobertura media	5,0	
Q *				0,1	
Roca Tipo:		EXTREMADAMENTE MALA			
Q Ajustado		0,019			
Roca Tipo:		REGULAR A			
		EXTREMADAMENTE MALA			
Correlación entre el RMR y el Q					
RMR = 9 x LnQ +44 =		8			

Figura N°14: Tabla estándar por la empresa para la determinación del Q de Barton.

2.7.1.2 Determinación del GSI

El índice de resistencia geológica (GSI) es un sistema de clasificación Geomecánica propuesto por Hoek y colaboradores, que permite estimar la resistencia y deformabilidad de un macizo rocoso a partir de observaciones visuales del terreno, sin requerir ensayos de laboratorio. Este índice es fundamental en el diseño de excavaciones subterráneas, taludes y obras en roca.

El GSI se determina en función de dos características principales del macizo rocoso:

- Estructura del macizo, que hace referencia a la forma, tamaño y disposición de los bloques de roca.
- Condición de las discontinuidades, evaluando parámetros como la rugosidad, grado de alteración y presencia de relleno en las fracturas.

El valor del GSI varía típicamente entre 10 (roca muy fracturada y alterada) y 100 (roca intacta o masiva). Su determinación se realiza mediante el uso de tablas y esquemas gráficos desarrollados para distintos tipos de litología y condiciones geotécnicas.

Este índice se utiliza como base para calcular los parámetros del criterio de resistencia Hoek-Brown, como el parámetro m_f y el coeficiente s , además de estimar el módulo de elasticidad del macizo. El GSI también permite ajustar el diseño de sostenimientos y estimar la estabilidad de excavaciones en función de la calidad del macizo.

Si bien su aplicación es práctica y ampliamente difundida, el GSI posee un componente subjetivo, por lo que su estimación debe ser realizada por personal con experiencia en geología estructural y geotecnia.

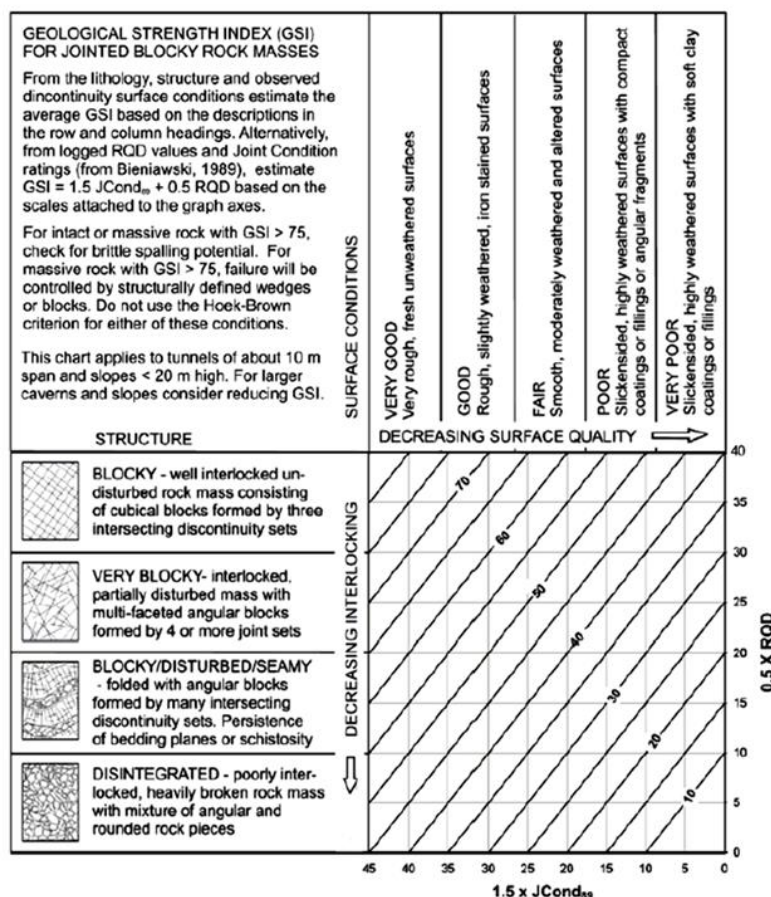


Figura N°15: Índice de resistencia geológica

2.8 ESTÁNDARES DE FORTIFICACIÓN ESTABLECIDOS

2.8.1 Fortificación tipo F2

El macizo rocoso evaluado presenta condiciones clasificadas como regulares a buenas, con un valor de Q mayor o igual a 0,4 y un RMR superior a 36, según los sistemas de clasificación geomecánica de Barton y Bieniawski, respectivamente. Esta condición ha sido identificada de manera subjetiva como un terreno de calidad de regular a buena, en función de las características observadas en terreno.

La estructura del macizo está compuesta por bloques de más de 15 cm de dimensión, separados por discontinuidades con resistencia al corte moderadamente baja a baja, lo que podría influir en la estabilidad post-excavación, especialmente en presencia de esfuerzos redistribuidos. Tras la excavación, se ha observado una apertura de las discontinuidades que varía entre 0 mm y 6 mm, lo que indica un comportamiento estable a moderadamente deformable.

La resistencia a compresión uniaxial (UCS) de la roca intacta es mayor a 25 MPa, lo cual sugiere que el material presenta una resistencia mecánica moderada a alta. En cuanto a las condiciones hidrogeológicas, la excavación se encuentra en un entorno que varía de seco a ligeramente húmedo, lo que representa una baja presencia de agua y contribuye positivamente a la estabilidad del entorno excavado.

2.8.1.1 Fortificación del techo en labor, hasta 5,0 m de intersección

La secuencia de instalación en la figura N°16 se detalla a continuación:

- **Malla Electrosoldada:** se instala cubriendo toda la sección desde gradiente a gradiente. No se podrá realizar traslapes en el techo entre paños de una misma fila. Los traslapes deben reforzarse con una fila adicional de pernos para asegurar la continuidad del sostenimiento.
- **Pernos Split Sets:** Se utilizan pernos de 2,4 m de longitud, y 39 mm de diámetro, dispuestos con una separación de $1,1 \pm 0,2$ m. En caso de requerirse, los pernos split set pueden ser reemplazados por pernos helicoidales u otro tipo de anclajes, siempre que cumplan con los requisitos técnicos de diseño.
- **Pernos Split Sets eventuales:** estos pernos adicionales se instalan en sectores donde se haya producido sobre excavación o donde el macizo rocoso presente fracturación intensa. También pueden colocarse en zonas donde coinciden las traslapes de malla, si se considera necesario. Mantienen las mismas dimensiones que los pernos regulares: 39 mm de diámetro y 2,4 m de largo.

La malla debe quedar instalada hasta el frente, de lo contrario, se considerará al sector como no soportado, comprometiendo la seguridad operativa.

Posterior a cada ciclo de voladura, se debe realizar una verificación de posibles tiros quedados (no detonados) y un saneo del frente para garantizar condiciones seguras antes de reiniciar las labores.

Cumpliendo los puntos anteriores, se continúa con el ciclo de la siguiente voladura.

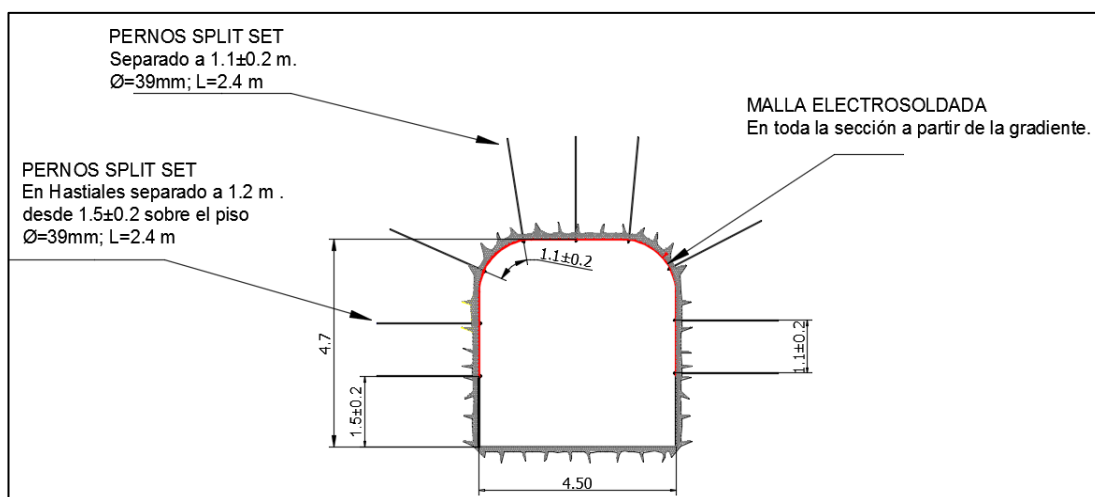


Figura N°16: Esquema de fortificación F2

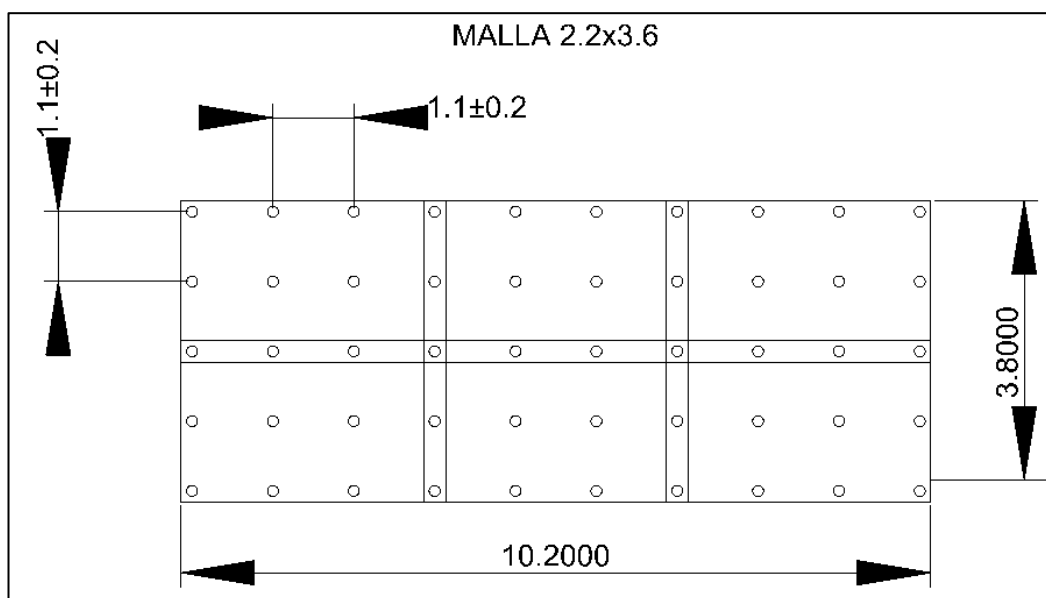


Figura N°17: Fortificación F2, esquema distribución pernos y malla electrosoldada

2.8.1.2 Malla electrosoldada, dimensiones 2,20 x 3,60 m

Su instalación se inicia colocando un paño completo en el techo, con el lado más largo orientado perpendicular al eje de la labor, fijado mediante pernos. A continuación, se instalan paños adicionales a ambos lados del primero, manteniendo la misma orientación, con los traslapes ubicados preferentemente en las esquinas del techo para mejorar la continuidad estructural del sostenimiento. Si es necesario cubrir hasta la gradiente, se incorporan paños adicionales dispuestos de forma horizontal a cada lado. Los traslapes entre paños deben ser de 300 mm (equivalente a tres ventanas de la malla), mientras que los pernos de fijación en los bordes deben colocarse a una distancia de una ventana (100 mm) del borde, y no exceder las dos ventanas (200 mm). Cada paño de malla se asegura con seis pernos, con una separación entre ellos de $1,1 \pm 0,2$ metros, considerando el traslape en el patrón de instalación. La figura N° 17 muestra esquemáticamente la disposición correcta de la malla, sirviendo como guía para garantizar su adecuada colocación y eficiencia estructural.

2.8.1.3 Fortificación del techo en labor, intersección mayor a 5,0 m

La fortificación del techo en labores con intersección mayor a 5,0 m varía según la dimensión de la intersección y las condiciones del terreno

- Para intersecciones entre 5,0 m a 8,0 m: se evaluará la necesidad de reforzar el sostenimiento mediante pernos u otros elementos adicionales, dependiendo de la calidad del macizo rocoso.
- En Intersección de 8,0 m hasta 13,0 m: se requiere el uso de pernos de barra helicoidal de 4,0 m de longitud, instalados en un patrón geométrico con espaciamiento de 2,0 m entre sí.
- Para tramos de techo de 13,0 m a 19,0 m: el sostenimiento debe incluir pernos de barra helicoidal o cables de 6,0 m de longitud, dispuestos en un patrón geométrico con espaciamiento de 2,0 m x 2,0 m.

2.8.2 Fortificación tipo F3

El macizo rocoso evaluado presenta un índice de calidad Q que varía entre 0,1 y 0,4, lo que lo clasifica dentro de la categoría de roca de muy mala calidad según el sistema Q de Barton. Asimismo, la clasificación RMR obtenida oscila entre 23 y 36, correspondiente también a un macizo de baja a muy baja calidad, de acuerdo con el sistema de Bieniawski.

Desde una perspectiva cualitativa, el macizo ha sido descrito como un suelo pobre a muy pobre, debido a su comportamiento mecánico y estructura interna. Está compuesto por bloques de dimensiones reducidas, con tamaños que varían entre 8 cm y 15 cm, separados por discontinuidades que presentan baja o muy baja resistencia al corte. Estas características indican un macizo altamente fracturado, con escasa cohesión entre los bloques y una marcada debilidad estructural.

Posterior a la excavación, se ha observado una apertura significativa de las discontinuidades, que varía entre 6 mm y 12 mm, lo que sugiere un proceso de relajación del macizo y una pérdida de confinamiento que puede comprometer la estabilidad del entorno excavado.

La roca intacta posee una resistencia a compresión simple (UCS) que varía entre 5 MPa y 25 MPa, clasificándola como una roca de muy baja a baja resistencia, lo cual refuerza el diagnóstico de condiciones geomecánicas desfavorables.

Finalmente, las condiciones hidrogeológicas observadas durante el estudio indican la presencia de humedad en el macizo, con zonas que varían de secas a húmedas. Esta condición puede disminuir aún más la resistencia al corte en las discontinuidades, aumentando la susceptibilidad a fenómenos de inestabilidad.

2.8.2.1 Fortificación del techo en labor, intersección hasta 5,0 m

La secuencia de instalación del sostenimiento, representada en la Figura N°18, se desarrolla según los siguientes pasos:

- **Aplicación de pre-shotcrete:** Se proyecta una primera capa de shotcrete con fibras, con un espesor aproximado de 1 pulgada, como medida de protección inicial del macizo rocoso.
- **Instalación de malla electrosoldada:** Se coloca malla en toda la sección del túnel, desde la clave hasta 0,5 m sobre el piso. No se permite ubicar los traslapes de malla

en el techo dentro del mismo paño, a fin de evitar zonas debilitadas. Los traslapes deben reforzarse mediante una fila de pernos.

- **Colocación de pernos Split Set:** Se instalan pernos de fricción tipo Split Set, de 2,4 m de longitud y 39 mm de diámetro, con una separación de $1,1 \pm 0,2$ m.
- **Evaluación de pernos especiales:** El equipo de geomecánica deberá evaluar la necesidad de incorporar pernos especiales de refuerzo, según las condiciones específicas del macizo.
- **Aplicación de shotcrete definitivo:** Se aplica una segunda capa de shotcrete sin fibras, con un espesor de 75 mm, cubriendo toda la sección del túnel desde piso a piso, incluyendo la malla. No debe proyectarse en el frente, salvo que exista una justificación técnica específica.
- **Fraguado del shotcrete:** Se considera un tiempo mínimo de 8 horas para el fraguado inicial. Este debe ser verificado mediante un penetrómetro, siendo la resistencia mínima requerida 4 MPa. Si no se alcanza esta resistencia, no se permitirá el ingreso de personal bajo el techo de la labor subterránea por razones de seguridad.
- **Resistencia del shotcrete a compresión simple:** Se requiere que el shotcrete alcance una resistencia de 22,5 MPa a los 28 días, utilizando acelerante de fraguado en la mezcla.

Adicionalmente, la malla debe estar completamente instalada hasta el frente de avance; de lo contrario, el sector será considerado como no soportado. Inmediatamente después de cada voladura, se debe realizar el lavado y tojeo del frente, lo cual incluye también el lavado de los tiros remanentes de la voladura.

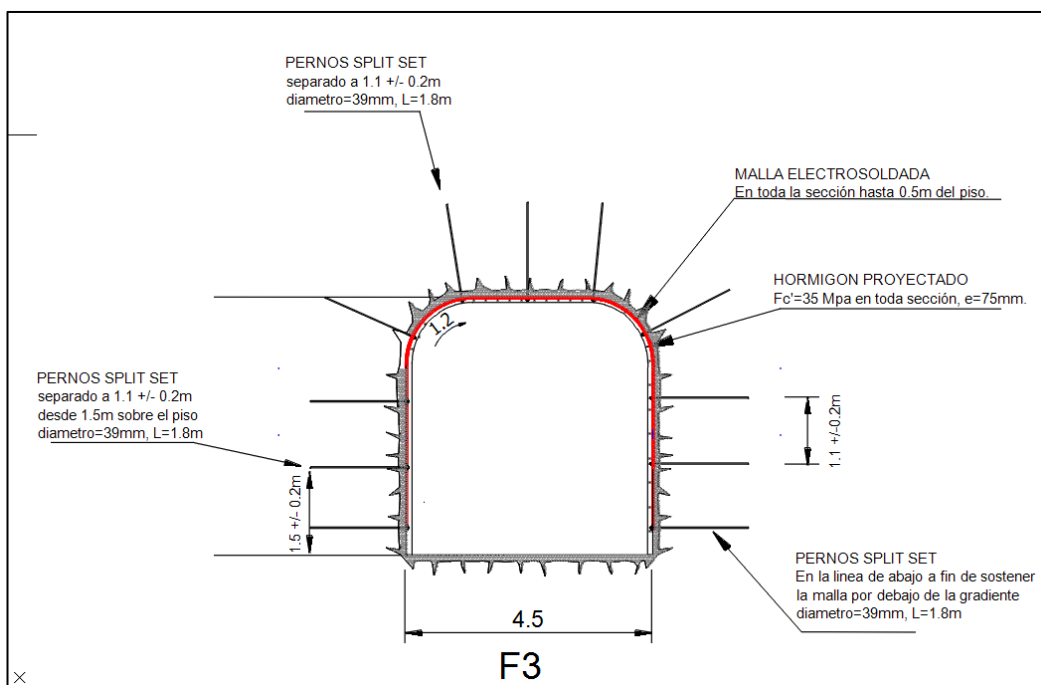


Figura N°18: Esquema de Fortificación F3

2.8.2.2 Fortificación del techo en labor, intersección mayor a 5,0 m

- Para intersecciones de 5,0 m a 8,0 m: se evaluará si la condición de terreno requiere refuerzo de pernos o elementos adicionales.
- Para intersecciones desde 8,0 m hasta 13,0 m requiere la instalación de pernos de barra helicoidal de 4,0 m en patrón geométrico de 2,0 m x 2,0 m.
- Para tramos de techo de 13,0 m a 19,0 m - pernos de barra helicoidal o cable de 6,0 m de largo en patrón de 2,0 m x 2,0 m.
- Para soporte de superficie en el techo y las paredes: Malla electrosoldada en la parte posterior y costillas a 0,5 m sobre el piso.

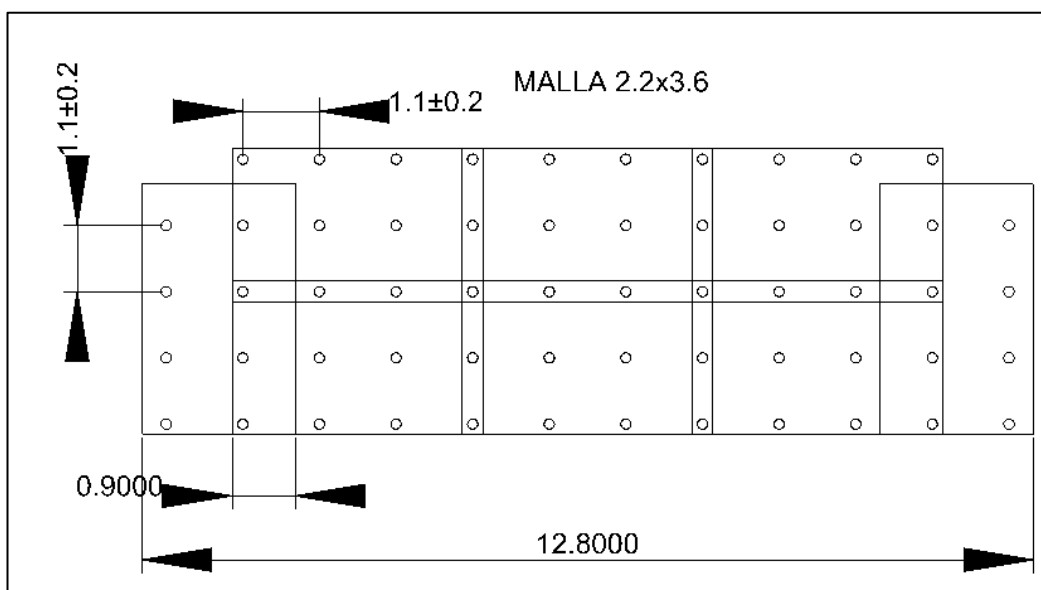


Figura N°19: Fortificación F3, esquema distribución pernos y malla electrosoldada

2.8.3 Fortificación tipo F4

El macizo rocoso evaluado presenta un índice de calidad Q comprendido entre 0,04 y 0,1, lo que lo clasifica dentro de la categoría de roca extremadamente mala, según el sistema Q de Barton. En concordancia, el valor del RMR se encuentra en el rango de 20 a 30, correspondiendo a un macizo de muy baja calidad geomecánica, según la clasificación de Bieniawski. De forma cualitativa, este tipo de terreno puede denominarse como extremadamente pobre, dada su estructura y comportamiento mecánico.

El macizo está conformado por bloques de 8 cm o menores, separados por discontinuidades con resistencia al corte muy baja a extremadamente baja, lo que indica una alta fragmentación y una escasa cohesión interna. Estas condiciones favorecen la aparición de aperturas post-excavación significativas, de entre 6 mm y 12 mm, especialmente a lo largo de fracturas o uniones existentes.

La resistencia a compresión simple (UCS) de la roca intacta es inferior a 5 MPa, lo que la clasifica como una roca de muy baja resistencia, según los criterios de resistencia mecánica de rocas. Las condiciones observadas durante las labores indican que la excavación se desarrolla en un entorno que varía de seco a húmedo, lo cual puede afectar aún más la estabilidad del macizo, especialmente en zonas con presencia de agua.

2.8.3.1 Fortificación del techo en la labor, hasta 5,0 m de intersección

La secuencia de instalación será como se describe a continuación:

- El avance de la labor debe ser de 2,5 m.
- **Pre-Shotcrete:** Se coloca una capa de pre-shotcrete de espesor de 50 mm, con fibras de polipropileno de piso a piso cubriendo toda la sección.
- **Tiempo de fraguado del shotcrete:** Se considera 8 horas para el fraguado. Se realiza la medición con equipo de medición “Penetrómetro” cuya unidad de medición es de 4,0 MPa. Si no se cumple con el tiempo de fraguado de Seguridad 4,0 MPA, no está permitido ingresar personas debajo del techo de la labor subterránea.
- **Resistencia de Shotcrete a la compresión simple:** Su valor debe responder a 22,5 Mpa de resistencia, con adición de acelerante de fragüe, (resistencia a los 28 días)
- **Malla Electrosoldada:** Se instalará en toda la sección de piso a piso. No se podrá ubicar el traslape en el techo en los paños de una misma fila. Se debe colocar la malla a 0,5 m por encima de la elevación del piso
- **Pernos Split Sets:** Se instalarán pernos de longitud de 2,4 m, y diámetro de 39 mm, separados a $1,1 \pm 0,2$ m.
- **Pernos helicoidales 22 mm:** Se instalarán en hastiales pernos helicoidales de 2,4 m de longitud y en el techo pernos helicoidales de 4m de longitud (según figura N°20)
- Adicionalmente se debe instalar malla en el frente, sujetándola con Split sets de 2,4 m de longitud. Esta malla se instalará en la corona superior y los Split sets deberán ser perforados a 0,15 m de los tiros que hayan quedado de la voladura.
- **Shotcrete:** Finalmente se colocará una capa de 50 mm de shotcrete, sin fibras de polipropileno de piso a piso, para completar los 100 mm junto con la primera aplicación, cubriendo toda la sección, cubriendo la malla. No se debe proyectar en el frente salvo que sea requerido específicamente.

2.8.3.2 Fortificación del techo en la labor, mayor de 5,0 m de intersección

Fortificación del techo en labor, mayor de 5,0 m de intersección: Se requiere no excavar dimensiones mayores a 5,0 m en roca de mala calidad.

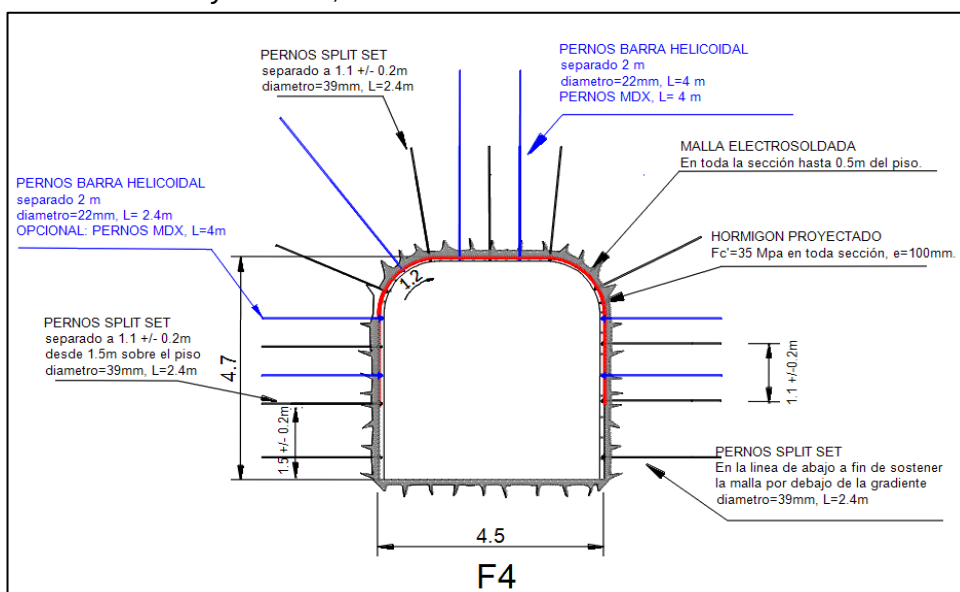


Figura N°20: Esquema de fortificación F4

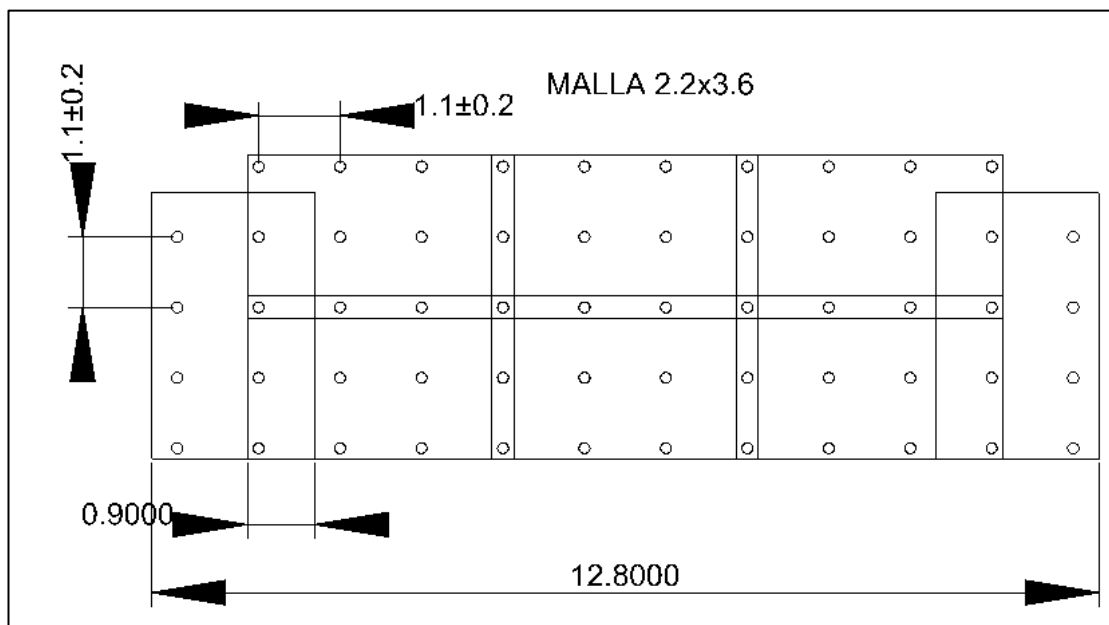


Figura N°21: Fortificación F4, esquema distribución pernos y malla electrosoldada

2.9 ESTÁNDAR DE FORTIFICACIÓN EN INTERSECCIÓN

Las intersecciones son puntos críticos en los proyectos subterráneos debido a que concentran esfuerzos estructurales derivados de la geometría del macizo y las condiciones geomecánicas particulares de cada zona. En estos puntos, las concentraciones de tensiones son significativamente más altas que en tramos lineales de la excavación, lo que incrementa el riesgo de inestabilidad y requiere de un refuerzo más robusto y adecuado.

El diseño de la fortificación en estas zonas debe considerar no solo las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso, sino también la geometría de la intersección, la orientación de las discontinuidades y las condiciones de excavación (como el grado de humedad y la presión del agua subterránea). En función de estos factores, se determina el tipo y la intensidad del sostenimiento necesario para garantizar la seguridad de la labor subterránea y la estabilidad a largo plazo.

La instalación de los pernos en las intersecciones se debe instalar desde el centro de la intersección hacia los hastiales y en dirección vertical, manteniendo un patrón de instalación de 2,0 m x 2,0 m. Para ello la empresa tiene definido estándares de fortificación considerando en cada clasificación el tipo de labor que se interceptan.

2.9.1 Intersección tipo T1

Este tipo de intersección se genera por la unión de una rampa con una galería de acceso, formando una intersección tridireccional con un diámetro circunscrito de 11,9 m. Debido al tamaño y la complejidad del cruce, se requiere la instalación de aproximadamente 21 pernos de sostenimiento. La magnitud del diámetro obliga a considerar una fortificación que garantice confinamiento y resistencia al desprendimiento, especialmente en el techo y los encuentros de las galerías.

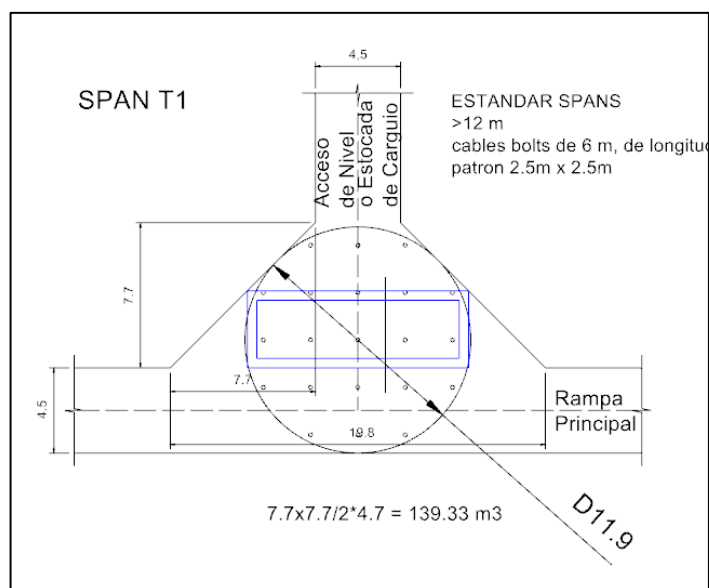


Figura N°22: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T1

2.9.2 Intersección tipo T2

Aquí confluyen la galería de transporte, la galería de acceso, y una galería cruzada. El diámetro generado es de 10,9 m, y también requiere 21 pernos. En este caso, la similitud dimensional con la intersección T1 implica una demanda estructural comparable, aunque la geometría del flujo de esfuerzos puede variar dependiendo de la orientación de las galerías.

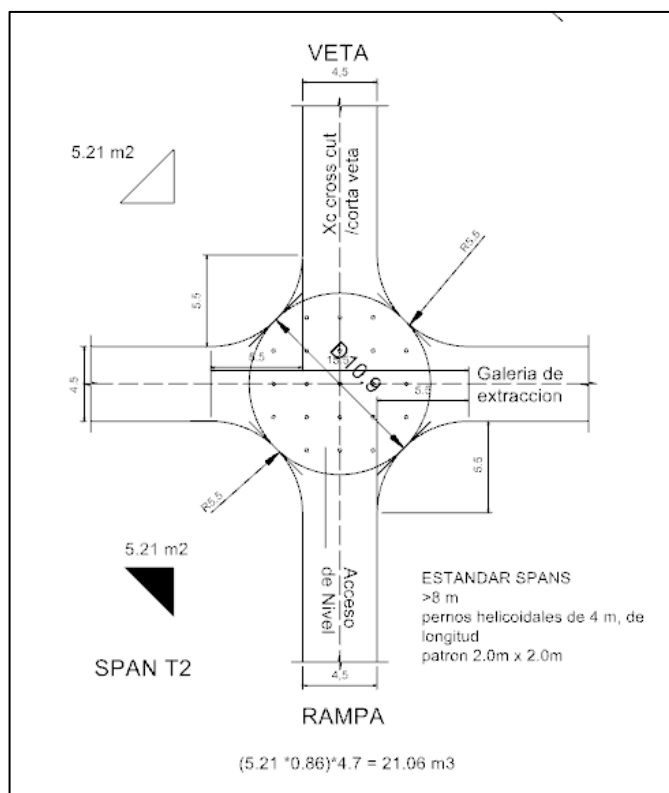


Figura N°23. Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T2

2.9.3 Intersección tipo T3, T4 y T5

Para estos tipos de intersecciones confluyen 3 galerías, galería de transporte con galería de acceso al nivel (T3) o con galería cruzado (T4) o de intersección de galería basal con cruzado (T5). El diámetro este tipo de intersecciones es de 8,4 m. Para este tipo de intersección se requieren aproximadamente 13 pernos para cubrir la sección. No obstante, la disposición espacial de las galerías y la posible anisotropía del macizo pueden demandar estudios de estabilidad local.

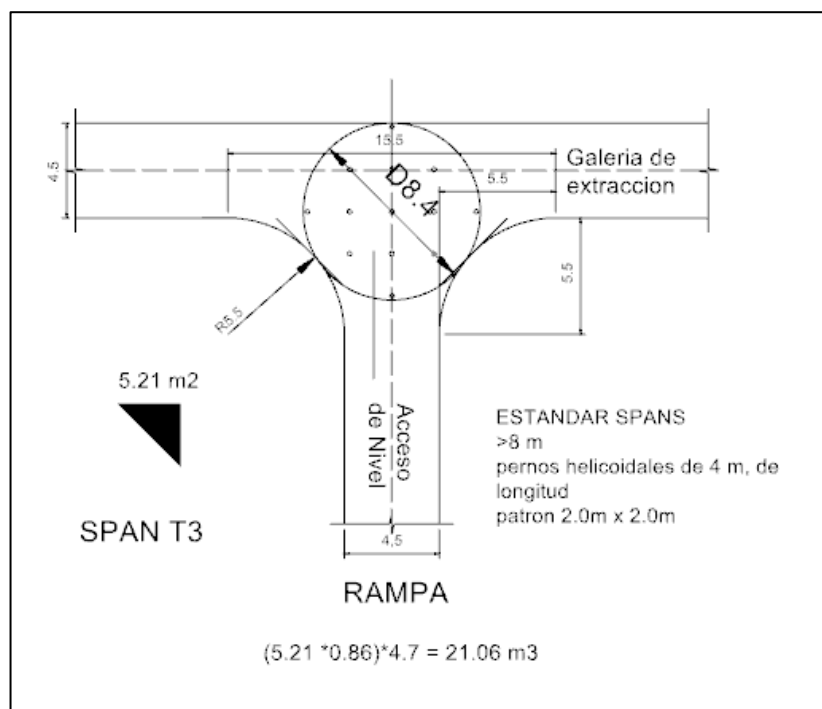


Figura N°24: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T3

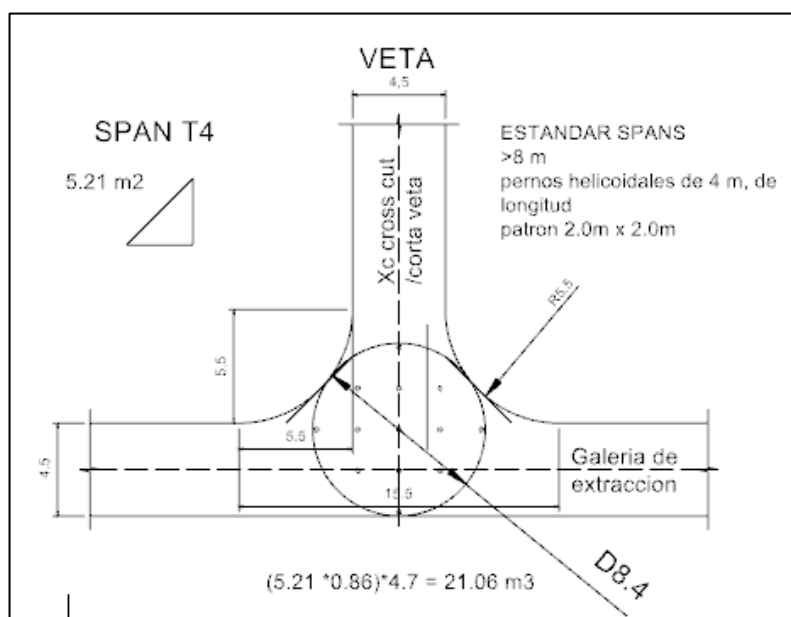


Figura N°25: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T4

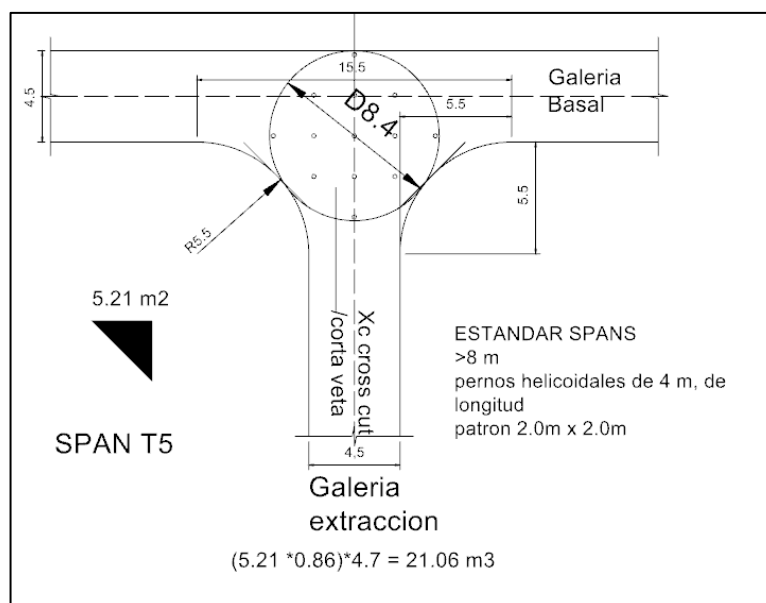


Figura N°26: Esquema de fortificación estándar en Intersección tipo T5

2.9.4 Intersección tipo T6

Para este tipo de intersección donde confluye la galería basal con estocadas de servicio, el diámetro de la intersección que se genera es de 7,3 m. Esta intersección no requiere sostenimiento adicional, siempre que la sección real no supere los 8,0 metros. Esta decisión debe estar respaldada por un mapeo geomecánico actualizado, ensayos de campo, y seguimiento sistemático de convergencias, a fin de confirmar la estabilidad a largo plazo.

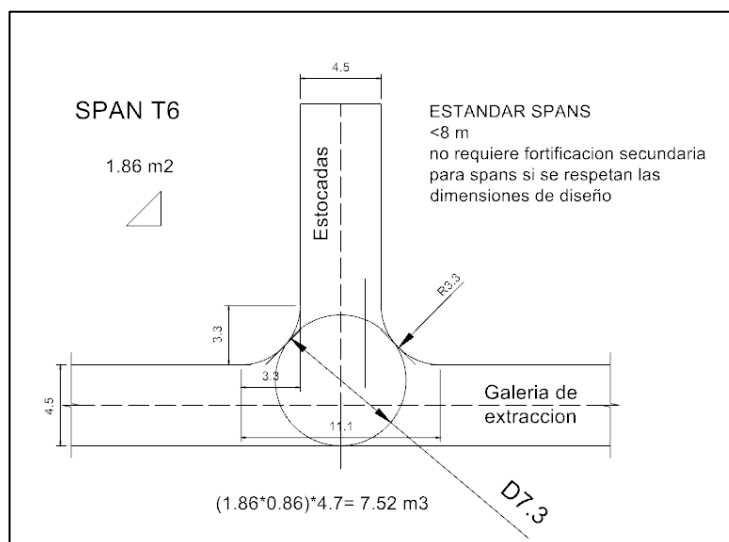


Figura N°27: Esquemas de fortificación estándar en intersección tipo T6

2.10 FORTIFICACIÓN ESPECIAL

2.10.1 Spilling bar

Las barras de pre-refuerzo (spilling bars) se emplean en zonas de falla geológica o en áreas previamente determinadas por el departamento de geomecánica, con el objetivo de

reforzar la corona de la sección de desarrollo antes de realizar una voladura controlada. Esta técnica permite minimizar la sobre-excavación tanto en la corona como en los hastiales de las labores subterráneas, contribuyendo a mantener la estabilidad del macizo rocoso.

La instalación de estas barras se realiza con una inclinación de 15° respecto a la horizontal, utilizando lechada de cemento con una relación agua/cemento de 0,35 y la adición de un súper fluidificante al 1% del peso del cemento, o bien mediante anclaje por fricción.

La disposición recomendada es una separación de 0,40 m entre barras, cubriendo el perímetro del techo y las paredes de la labor.



Imagen N°1: Fortificación tipo spilling

2.10.2 Fortificación en frente

Este tipo de fortificación debe colocarse adicionalmente cuando el geomecánico lo indique, deberá instalarse malla en el frente, sujetándola con Split sets de 2,4 m de longitud en un patrón de 2,0 m x 2,0 m. Esta malla se instalará en la corona superior y los Split sets deberán ser perforados a 15 cm de los tiros que hayan quedado de la voladura.

La frente de toda galería que no requiera mayor avance planificado debe ser fortificada según el estándar de fortificación llevado en el desarrollo.

2.10.3 Fortificación de Viseras

Este estándar se aplica a viseras, generadas por la intersección de los cruzados con la galería basal.

La secuencia de instalación será como se describe a continuación:

- Se debe aplicar el tipo de fortificación primaria (F2, F3 o F4).
- Se instalarán 3 cables bolt de 6,0 m de longitud por fila, siendo un total de tres filas espaciada 1,5 m entre sí.

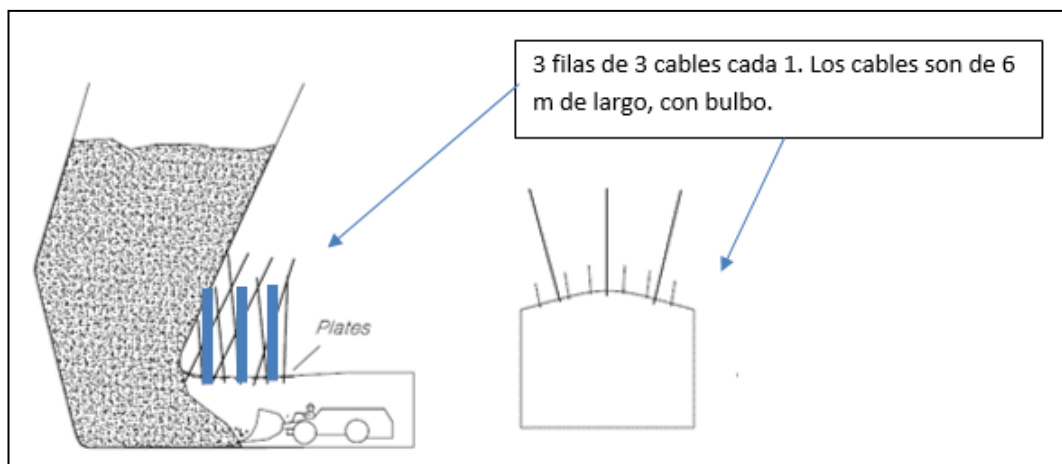


Figura N°28: Esquema cable bolt en cruzados con galería basal

2.10.4 Fortificación de Cavidades

Este estándar se aplicará para fortificar el techo de la galería basal, cada vez que se encuentren cavidades pre-existentes siempre y cuando las paredes presenten una buena calidad geotécnica.

La secuencia de instalación será como se describe a continuación:

- Aplicar el tipo de Fortificación Primaria (F2, F3, F4), en zona aledaña según corresponda de acuerdo con el tipo de roca.
- En caso de identificar cavidades, dependiendo de sus dimensiones se especificará por geomecánica fortificación especial en la zona, dependiendo del tamaño de la cavidad.

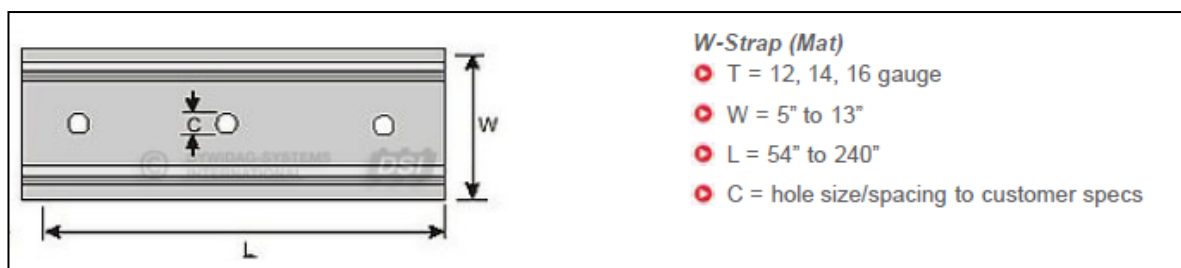


Figura N°29: Cintas strap

2.10.5 Estocadas de ventilación

Las estocadas de ventilación se fortificarán según la roca, como una fortificación permanente. F2, F3, F4. La frente de la labor se fortifica según el mismo estándar de fortificación del desarrollo.

2.10.6 Estocadas eléctricas

Las estocadas eléctricas requerirán una fortificación F3, en todos los casos. La frente de la labor se fortifica según el mismo estándar de fortificación del desarrollo.

2.10.7 Estocadas de bombeo

Las estocadas de bombeo se fortificarán según la roca, como una fortificación permanente. F2, F3, F4. La frente de la labor se fortifica según el mismo estándar de fortificación del desarrollo.

2.10.8 Estocadas de refugios

Los refugios se fortificarán según la roca, como una fortificación permanente. F2, F3, F4. La frente de la labor se fortifica según el mismo estándar de fortificación del desarrollo.

2.11 SISTEMAS DE FORTIFICACIÓN E INSTRUMENTACIÓN

2.11.1 Definición de sistemas de fortificación

La fortificación o soporte se refiere al conjunto de elementos que son instalados durante la construcción de una labor, subterránea o de superficie, con el fin de estabilizar el contorno de la excavación o del terreno, producto de la remoción de material existente.

Se puede resumir su función en 3 objetivos:

- Reforzar el macizo, disminuyendo el fracturamiento de la roca.
- Mantener los bloques, en su posición anclados a roca estable.
- Retener los bloques, dentro del sistema controlando al material proyectado

La Fortificación debe instalarse en la galería inmediatamente después de realizada la voladura del avance. Es decir, el ciclo de voladura puede detenerse si la fortificación no está instalada.

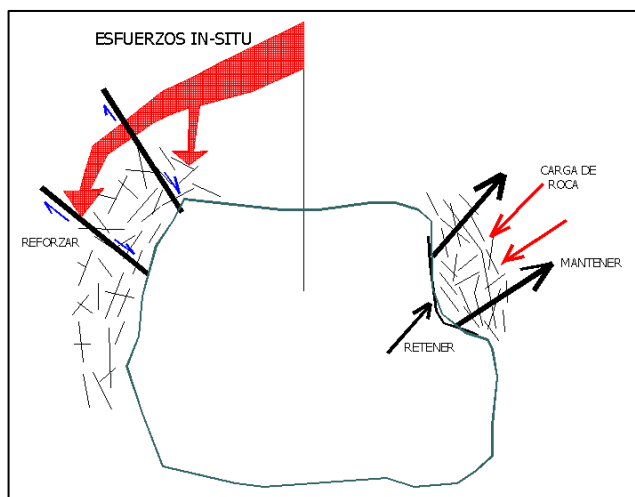


Figura N°30: Sistema de fortificación y funciones de los elementos

2.11.2 Tipos de materiales de sostenimiento y especificaciones técnicas

Todos los elementos de fortificación deben cumplir con la norma ASTM F432. A continuación, se presenta en detalle las especificaciones técnicas de cada uno de ellos.

2.12 ELEMENTOS DE ANCLAJE

A continuación, se describen los diferentes tipos de pernos de anclajes estandarizados empleados en las labores subterráneas:

2.12.1 Pernos de barra helicoidal

El sistema de anclaje helicoidal está constituido por tres elementos (perno, planchuela y tuerca), con el fin de reforzar y preservar la resistencia natural del macizo rocoso y/o suelos.

Las barras tienen 22mm diámetro. $L=2,4\text{m}$ - $L=4\text{m}$. Acero ASTM A615/A615M, GRADO 60 [A630-420]. El diámetro de la perforación deberá ser de 33-35 mm. Tensión de fluencia: 520 MPa; Tensión última 690 MPa.

Las puntas de los pernos de 4m deben estar pintadas para facilitar su identificación una vez instalados. Las tuercas del perno helicoidal, son de material forjado con una resistencia de 30 toneladas, con pin en el tope. ASTM A536, clase 60-40-18. Tensión de fluencia: 600 MPa; Tensión última: 850 MPa.

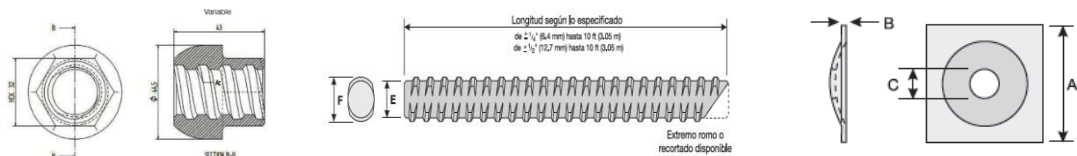


Figura N°31: Anclaje Helicoidal para refuerzo de macizos rocosos

La planchuela cuenta con un domo central en forma troncocónica que permite distribuir de mejor manera los esfuerzos resultantes de la interacción Superficie Macizo – Tuerca, mejorando la transferencia de carga. Deberán estar adosadas a la roca, en caso de utilizar malla se deberá adosar la malla contra la roca. Acero de acuerdo con norma ASTM A-36, límite de fluencia de 36.000 psi o 250 MPa, 150 mm x 150 mm de lado, espesor: 6,35 mm=1/4".

2.12.2 Pernos autoperforantes

Los pernos autoperforantes son un tipo especial de perno utilizado para garantizar la estabilidad del techo y las paredes en la minería subterránea y la construcción de túneles. A diferencia de otros tipos de pernos, no necesitan perforaciones previas y pueden perforar y sostener al mismo tiempo. Están diseñados con una barra roscada hueca que tiene una broca de un solo uso en su extremo. Una vez instalados, se rellenan con resina o mortero de cemento para consolidar el terreno. Además, estos pernos pueden unirse mediante acoplamientos para alcanzar longitudes que serían imposibles con otros tipos de pernos. Las barras tienen 32 mm diámetro y 4,0 m de longitud.

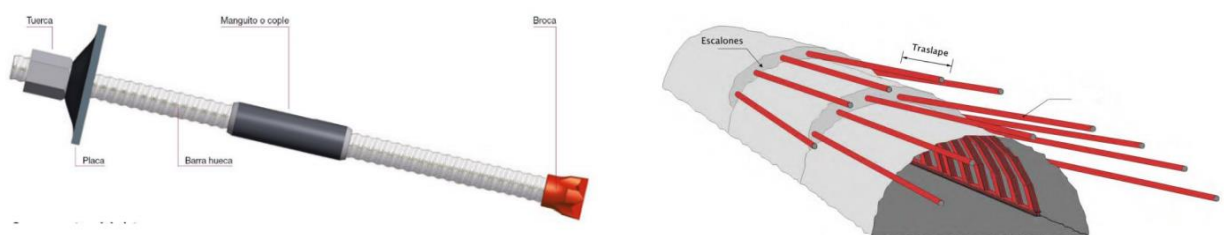


Figura N°32: Sistema Autoperforante para refuerzo de macizos rocosos

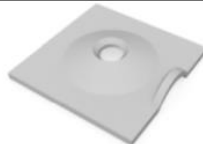
Materiales	Cantidad	Foto
Pernos autoperforantes tipo R32N • Diámetro: 32mm • Longitud: 4000mm • Carga de Fluencia: 230 kN • Carga ultima: 280 kN	500	
Placa • Dimensiones: 200x200mm. • Espesor: 6mm. • Diámetro de Perforación: 42mm	500	
Tuerca • Tipo: R32 • Distancias entre caras: 46mm. • Largo: 45mm	500	
Bit de acero endurecido:	500	
Tapa de inyección	10	
Lechadora		

Figura N°33: Características perno autoperforante

2.12.3 Pernos Split Set

Se utiliza para estabilizar macizos rocosos, trabaja adecuadamente en roca dura o blanda. Su principio de trabajo es por fricción ejercida contra las paredes internas de la perforación en la roca, la cual debe realizarse con un diámetro de bit menor al nominal del perno de fricción. Consiste en un tubo compresible ranurado longitudinalmente, posee extremo cónico para facilitar su inserción al interior de la perforación, y, en el lado posterior, lleva un anillo soldado que sirve como elemento de sujeción de la planchuela.

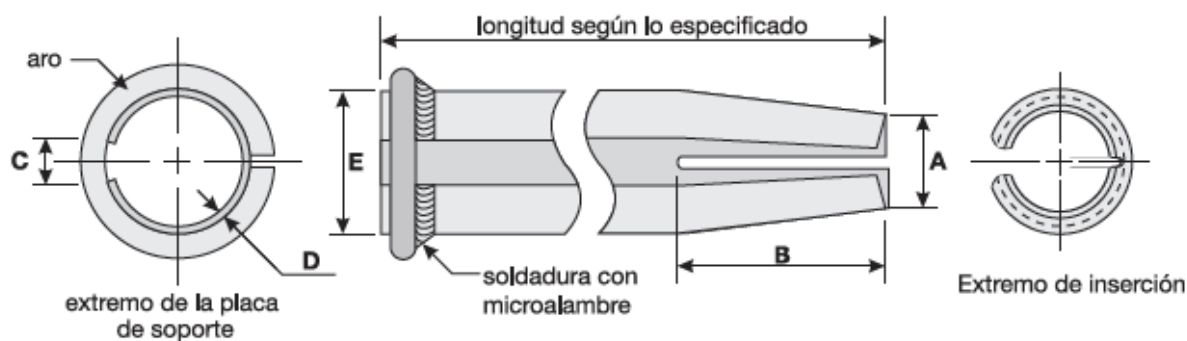


Figura N°34: Esquema perno Split Set

A = Diámetro del emputado: 30 mm.

B = Longitud del emputado: 65 mm.

C = Ancho de la ranura: 16 mm.

D = Espesor de la lámina: 2,5 mm.

E = Tamaño del perno: 39 mm.

El tamaño de broca recomendado de 35 a 38 mm. Su capacidad de anclaje es entre 1,25 – 3 t/m, según la variación del diámetro nominal del perno (39 – 40 mm).

Las planchuelas se deben instalar adosadas a la roca, en caso de utilizar malla se deberá adosar la malla contra la roca.

- Dimensiones: 150 mm x 150 mm x 6 mm.
- Perforación: 42 mm.
- Acero de acuerdo con norma ASTM A36.
- Resistencia a la fluencia 250 MPa (mínimo).
- Resistencia a la tracción 400-550 MPa.
- Elongación 20% mínimo.

2.12.4 Pernos MDX (Mechanical Dynamic Expansion)

El perno MDX es un anclaje que combina la fricción de un perno split set más el refuerzo de una barra de 20 mm y una cuña de expansión en el extremo del perno, una vez que el perno se encuentra completamente insertado en el taladro (como el perno de fricción), la tuerca en la parte externa gira para accionar un conjunto de cuñas que anclan firmemente el extremo del perno en la roca, el diseño de cuña es capaz de expandirse hasta 60 mm. Es un sistema de fortificación que trabaja adecuadamente en roca dura o blanda, y su capacidad de soporte es superior al Split set.

Especificaciones técnicas MDX

- Diámetro nominal por fricción: 47 mm.
- Resistencia máxima a la tracción: 21 t (210 kN)
- Límite elástico: 18 t (180 kN)
- Resistencia al corte (calculada): 25 t (246 kN)
- Capacidad dinámica: 28 kJ - 30 kJ
- Diámetro Bit de perforación: 43-45 mm.

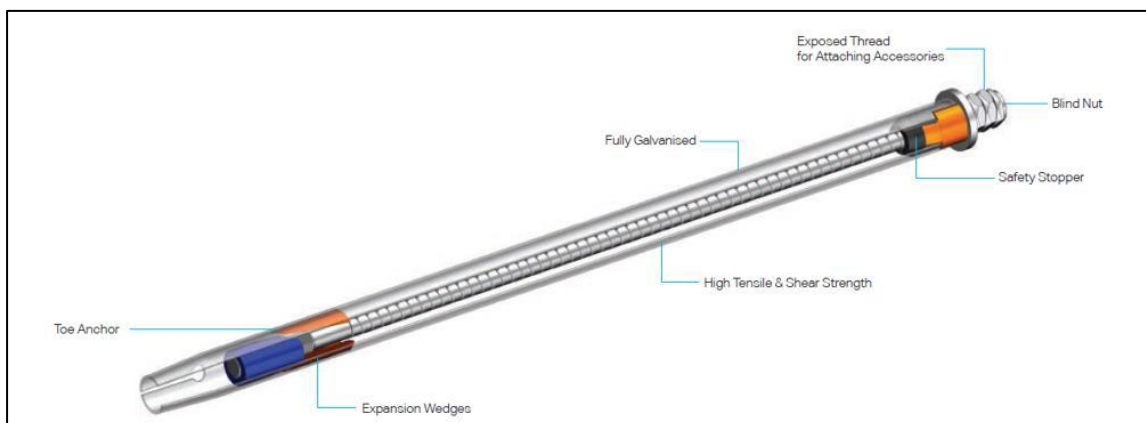


Figura N°35: Esquema perno MDX



2.13 CONTROL DE CALIDAD DE LA FORTIFICACIÓN

2.13.1 Control de Pernos

El control de la instalación de los pernos contempla lo siguientes puntos:

- Control de los pernos, materiales, dimensiones.
- Control de bits de perforación y diámetros de las perforaciones.
- Tiempos de instalación.
- Control de lechada y resina, según corresponda.
- Correcta colocación de la planchuela.
- Control de capacidad de anclaje mediante ensayos Pull Test.
- Control de comportamiento en el tiempo.

Para el caso de pernos Split Set, se debe verificar el diámetro del bit de perforación. La transferencia de carga es efectiva, si el perno queda correctamente adosado al terreno (ejerciendo fricción entre la roca y el perno).

El bit diámetro del bit de perforación debe ser menor (2 a 3mm) que el diámetro del perno.

En el caso de pernos instalados con lechada, se debe controlar la resistencia de la lechada, su dosificación, su bombeabilidad. La relación A/C determina la resistencia de la lechada.

Para pernos instalados con resina, es importante seguir de forma precisa, las indicaciones del fabricante.

El control de ensayos Pull test o de arranque, se realiza para verificar la correcta instalación de los elementos y verificar su capacidad de anclaje. Se deben ensayar el 1% de los pernos instalados, esto aplica para fortificación de avance y fortificación de intersecciones.

Los ensayos son del tipo no destructivos, para el caso de los pernos Split set su carga de aceptación se encuentra estandarizada en $5,0 \text{ t} \pm 0,5 \text{ t}$. Para el caso de los pernos helicoidales su carga de tracción se encuentra estandarizada en $18,0 \text{ t} \pm 0,5 \text{ t}$.

En todos los ensayos se realiza medición de desplazamiento para 1,5 t (500 psi), en caso de la detección de ensayos no aceptables, se procede a informar al Geomecánico de turno, quien evaluará la necesidad de reemplazar el anclaje o cambiar el tipo de fortificación.

2.13.2 Control de shotcrete

Para el control de la correcta aplicación de shotcrete se requiere:

- Control de dosificación y cumplimiento de las especificaciones de los componentes de la mezcla.
- Control de llegada de la mezcla al lugar de proyección.
- Operadores entrenados y capacitados para el uso del equipo de proyección.
- Control de resistencias tempranas y en el tiempo (7, 14, 28 y 56 días).
- Control de espesores

2.13.3 Control de mallas electrosoldadas

Por medio de un torquímetro se verifica la calidad de la soldadura de los alambres de la malla, la misma debe validar un torque de 70 N.m y la dimensión del alambre mediante lectura con calibres.

La frecuencia de testeo está estandarizada en 2 mallas por cada lote de 50 unidades.



CAPÍTULO III: DESARROLLO

Tal como está planteado el objetivo general y los objetivos específicos; el estudio se basa en realizar una comparación del comportamiento entre los sistemas fortificación utilizados en la mina; los Pernos de Anclaje Helicoidales y los MDX, en diversos terrenos para determinar la viabilidad técnica y económica de aplicación de cada uno de ellos.

La finalidad es optimizar las operaciones mineras; una elección adecuada de los sistemas de fortificación puede mejorar significativamente la seguridad de las instalaciones subterráneas, reducir tiempo de ciclos de trabajo, costos y prolongar la vida útil de las estructuras de soporte.

Para ello, se llevó a cabo una evaluación detallada y un seguimiento exhaustivo de la instalación de pernos MDX, comparándolos con los pernos helicoidales previamente estudiados y analizados por la empresa.

El análisis incluyó el uso de elementos de anclaje con distintas longitudes y diámetros, los cuales fueron sometidos a pruebas de arranque mediante ensayos de tracción para medir su resistencia.

Estos ensayos permiten determinar el comportamiento de cada tipo de anclaje ante diferentes condiciones del terreno, lo cual es esencial para tomar decisiones que maximicen la seguridad y la eficiencia operativa de la mina.

Además, el estudio contribuye al desarrollo de una base de datos técnicos para futuros proyectos de fortificación, facilitando la implementación de prácticas basadas en evidencias.

El estudio incluye las siguientes etapas:

- Ciclo de avance-desarrollo horizontal
- Pruebas de pernos helicoidales
- Pruebas pernos MDX

3.1 CICLO DE AVANCE-DESARROLLO HORIZONTAL

3.1.1 Perforación de frente

La tarea de perforación se lleva a cabo mediante equipo mecanizado, se utiliza un jumbo electrohidráulico de dos brazos, que perfora en forma simultánea.

El operador y ayudante dibujan el diagrama de perforación y voladura mediante marcaciones con pintura en aerosol en el frente, según el sector a perforar se realizan los siguiente diagramas:

- Diagrama de perforación y voladura para galerías Basales: Considera la disminución del factor de carga en corona y hastial.
- Diagrama de perforación y voladura para galerías sobre Estéril: Para aquellos sectores de roca de caja, roca andesita fractura.

3.1.2 Carga y voladura

El diagrama de voladura de desarrollo es estándar y no requiere planes de carga individuales de perforación y voladura. Dependiendo de cuántos taladros se perforen en un frente y de las dimensiones de este, se determinará el número de detonadores que se utilizarán y cuántos se necesitarán.

La voladura de desarrollo debe tener en cuenta si éste es sobre desarrollo o sobre basal y va a utilizar como carga la siguiente configuración:



Cebo compuesto de un booster y un detonador No eléctrico, como matriz o carga de columna se utiliza emulsión, mientras que, los taladros del arranque usan explosivo encartuchado.

3.1.3 Ventilación

Se realiza mediante ventilación secundaria se dirige el flujo hacia los frentes activos, ventilación tope ciego mediante mangas de 0,8 m de diámetro. Luego de iniciada la voladura, se evacúa la mina hasta lograr la ventilación, se verifica mediante monitoreo portátil la condición mínima requerida para continuar con la etapa de limpieza.

3.1.4 Limpieza de frente

Se dispone para la extracción del material volado, una cargadora de bajo perfil con balde de 4,3 m³ de capacidad, y camiones de bajo perfil con capacidad de 13,0 m³.

3.1.5 Tojeo mecanizado

Se lleva a cabo por proceso mecánico mediante equipo scamec, donde se realiza el saneo de toda la sección del avance y también del frente.

3.1.6 Relevamiento topográfico y marcación de frente

Mediante puntos de coordenadas conocidas, se realiza el posicionamiento con estación total. El equipo realiza el relevamiento 3D mediante un barrido de puntos del sector volado, a su vez, se realiza la marcación de los hastiales, centro de labor, dirección del siguiente avance y pendiente de la labor.

3.1.7 Fortificación de avance

La fortificación se realiza según la calidad del macizo rocoso, primeramente se estandariza en F2, F3 o F4, según corresponda. La instalación se realiza mediante equipo de perforación DS, para ello, en caso del estándar F2, el ayudante coloca los pernos en el carrusel del equipo con sus respectivas placas. En caso de estándar F3 y F4, es necesario, además, la proyección de shotcrete, este, se ejecuta mediante equipo de proyección mecanizado llamado robotshot.

3.2 INSTALACIÓN DE PERNOS HELICOIDALES 4,0 M

3.2.1 Fortificación de intersección con pernos helicoidales

A medida que se realiza el laboreo en forma continua, se modifican las condiciones iniciales de la mina, el macizo rocoso como tal, presenta ciertas características anisotrópicas, por ejemplo: presencia de agua de infiltración (infiltración natural o percolación de niveles superiores por aporte de agua de producción), alteración propia de la formación mineralizada del cuerpo (alteración arcillosa, presencia de zona de debilidad, zonas de cavidades, etc), estado tensional relacionado a la profundidad del frente en operación, discontinuidades en distintas direcciones formando familias estructurales, dureza de la roca, redistribución de esfuerzos propio de la actividad subterránea.

En la fortificación de labores de intersecciones medianas a grandes, se emplea refuerzo con anclaje de 4,0 m; la fijación del perno al macizo rocoso se obtiene mediante la preparación e inyección de lechada cementada.

La instalación de los pernos helicoidales se realiza de la siguiente manera:

- **3.2.1.1 Perforación taladro:** se utiliza el equipo jumbo de dos brazos, diámetro de perforación de 45 mm, longitud de perforación 3,8 m. el mismo equipo de perforación de frentes para desarrollo horizontales, se marca la grilla de 2,0 m x 2,0 m que sirve de referencia para el emboquille del perforista. Las perforaciones se realizan en dirección vertical, abarcando el total de la abertura generada en la corona. Se requiere disponibilidad de equipo de perforación y dos operadores para ejecutar la perforación.
- **3.2.1.2 Lechado:** Se emplea cemento CPP40 en saco de 50,0 kg, el cemento se prepara en un mixer de accionamiento hidráulico empotrado en el canastillo del equipo de levante, mediante una manguera rígida se inyecta la lechada preparada, según especificaciones técnica relación agua/cemento 0,35 a 0,4. Se requiere un operador en equipo de levante, y dos operadores en canastillo para la preparación e inyección de lechada. ANEXO N°6.
- **3.2.1.3 Instalación de placas y tuercas:** Se considera 16 horas de fragüe, luego se procede a la colocación de las placas y tuerca, esto se realiza en forma manual con equipo de levante mecanizado, para ello, se emplea un operado de manitou, y dos operadores en el canastillo del equipo. ANEXO N°4 y 5.

Los estándares de seguridad en minería, no permite el avance en los frentes una vez generada la condición de apertura de la intersección. En estas labores, y por tratarse de cuestiones relacionada a la seguridad e integridad de la operación, se asume la peor condición, que es la existencia de bloque o cuñas dada por la dimensión de la abertura de la intersección. Lo que requiere discontinuar el avance del ciclo de desarrollo e instalar refuerzo según estándar de intersecciones.

Tabla N°9: Instalación pernos helicoidales

Instalación Pernos Helicoidales 4,0 m Lechados			
Etapas	Equipo	Personal Requerido	Tiempo (h)
Perforación	Jumbo DD	2	1,5
Lechado	Manitou + Mezcladora	3	3
Placa + tuerca	Manitou	3	1

3.2.2. Ensayos Pull-test Pernos helicoidales de intersección

La verificación de la calidad de los pernos instalados en la corona de las intersecciones se realizó mediante ensayos pull test no destructivos, aplicando cargas progresivas de 1,5 toneladas hasta alcanzar la carga estándar de 18 toneladas, establecida como requisito operativo.

La tabla N°10 presenta los resultados obtenidos para diez pernos helicoidales, identificados como H1 a H10. Estos datos provienen de la base histórica de geomecánica, con el fin de evaluar el desempeño de este tipo de anclajes cuando son instalados específicamente en la corona.

Los desplazamientos fueron medidos en milímetros, registrándose una lectura por cada incremento de carga (1,5 toneladas) hasta alcanzar el máxima de ensayo de 18

toneladas. Además, la tabla incluye la clasificación del macizo rocoso en el que se instalaron los pernos, lo que permite relacionar el comportamiento carga – desplazamiento con las condiciones geomecánicas del terreno y analizar la respuesta del sistema de sostenimiento en distintos contextos de calidad de roca.

Tabla N°10: Pull test pernos helicoidales 4,0 m

Ensayos Pull test Pernos helicoidales 4,0 m										
Carga (t)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,5	1,04	1,45	1,01	0,99	4,60	5,06	1,58	5,15	3,76	1,71
3,0	1,27	2,01	2,14	1,68	8,12	10,14	2,46	11,08	6,56	4,44
4,5	1,60	2,61	4,37	2,43	14,44	15,97	4,03	18,22	8,13	5,88
6,0	4,85	4,96	7,05	4,57	18,40	22,20	6,14	22,66	11,42	9,52
7,5	8,70	7,11	9,07	8,19	24,66	25,26	9,02	28,79	14,35	11,31
9,0	13,10	10,65	12,28	12,70	28,84	28,92	11,45	32,69	17,28	13,86
10,5	14,97	11,65	14,34	14,52	38,09	31,58	15,06	34,26	20,37	15,28
12,0	18,46	15,87	17,28	17,08	41,66	36,27	18,42	36,39	23,03	18,45
13,5	23,46	18,75	20,09	20,15	43,98	38,99	24,18	38,09	27,92	24,01
15,0	24,57	20,24	23,36	26,11	50,96	42,03	25,04	42,85	29,88	29,22
16,5	24,97	26,87	24,23	27,47	58,63	46,74	30,92	52,00	33,61	32,40
18,0	25,52	28,10	26,88	31,38	63,64	57,84	41,70	55,59	34,90	39,12
Calidad de roca	BUENA	BUENA	BUENA	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR

La figura N°36, muestra el comportamiento de los anclajes helicoidales de 4,0 m verificado por medio de ensayos de tracción, registrados en la tabla N°10. Según la calidad del macizo rocoso podemos distinguir: **verde** para roca de buena calidad, **amarillo** para roca de calidad regular y **rojo** para roca de mala calidad.

En la mismas se puede observar que independientemente de la calidad de macizo rocoso instalados, el anclaje alcanza la carga mínima de diseño de 18,0 t. No obstante, el desplazamiento requerido para alcanzar dicha carga varía significativamente según la calidad del terreno. Para los pernos helicoidales instalados en roca buena calidad, el desplazamiento máximo registrado a 18,0 t es de 28,10 mm. En macizos de calidad regular, este valor aumenta a 41,70 mm, mientras que en roca de mala calidad el desplazamiento máximo asciende a 63,64 mm.

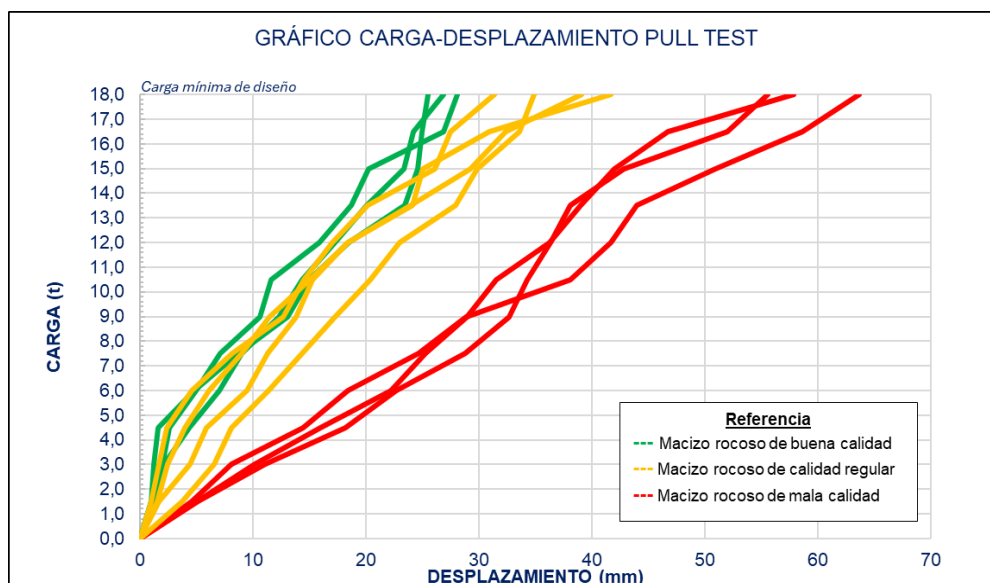


Figura N°36: Ensayos Pull test pernos helicoidales 4,0 m

3.3 PRUEBAS DE PERNOS MDX

Las pruebas en terreno consistieron en realizar seguimiento, observaciones de instalación y posteriores ensayos para determinar la resistencia del anclaje mediante ensayos no destructivos, es decir, que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, mecánicas o dimensionales.

Para realizar los ensayos se determinaron sectores de las minas que se encuentran operativas para la instalación de los pernos en diferentes condiciones de entorno y calidad de roca.

La instalación se realizó de manera mecanizada y dependiendo de las dimensiones del perno se hizo uso de dos equipos diferentes:

- **Equipo Sandvik DS311** Ver ANEXO N°4: Equipo limitado a la instalación de pernos MDX de 39 mm de diámetro y 2,4 m. de longitud (perforación de 37 mm). La instalación es similar a la colocación de pernos Split set de 2,4 m, se agrega un adaptador al martillo para generar la rotación final que acciona la expansión de la cuña en el interior del anclaje una vez adosada la placa al macizo rocoso.
- **Equipo Sandvik DD320/321** Ver ANEXO N°3: Puede instalar pernos de 2,4 m, 3,0 m y 4,0 m, diámetro 47 mm (perforación de 45 mm). Para la instalación se perfora con un brazo según la longitud del perno a instalar y con el brazo restante se inserta el perno a percusión, luego de adosar la placa al macizo se realiza la rotación final. El adaptador para la instalación de los pernos MDX se coloca en el martillo de perforación.

Los pernos instalados en la primera etapa son posicionados a la altura de la gradiente (1,5 m desde el piso), para facilitar la instalación y posterior prueba de ensayos pull-test.

La primera etapa de prueba consiste en un lote de 23 pernos MDX de distintas longitudes y diámetros. El siguiente cuadro detalla la cantidad y dimensión geométrica de los pernos:

Tabla N°11: Pernos MDX instalados en hastiales

PERNO MDX		
CANTIDAD	L (m)	Ø (mm)
8	2,4	39
7	2,4	47
6	3	47
2	Extremo	47

3.3.1 Prueba N°1. EK_216Gb601

Se procedió a la instalación de 4 pernos MDX, cada uno con una longitud de 2,4 m y un diámetro de 39 mm. Para llevar a cabo esta tarea, se empleó un equipo de fortificación bolter DS, diseñado específicamente para la colocación de anclajes en estructuras subterráneas. Los pernos MDX fueron integrados al carrusel del equipo, utilizando la placa correspondiente para asegurar una correcta fijación y estabilidad. La figura N°37 proporciona una visualización detallada de la ubicación de los pernos MDX dentro del área de trabajo.

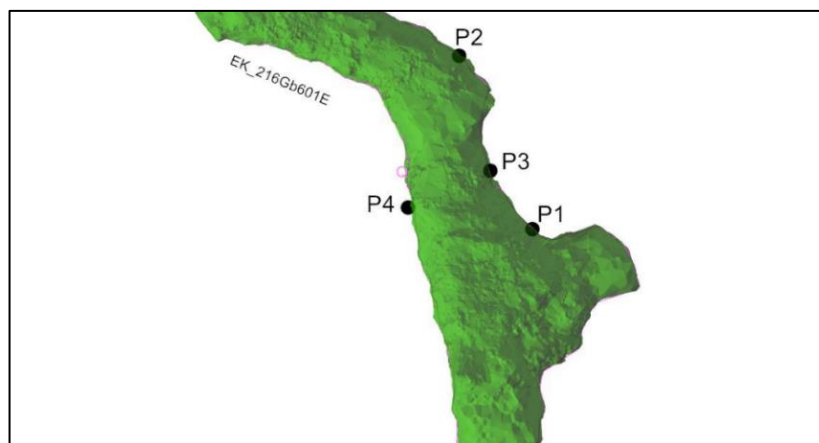


Figura N°37: EK_216GB601. Ubicación pernos MDX

3.3.1.1 Calidad de macizo rocoso

Esta descripción se refiere a los sectores mineralizados, donde se observan estructuras alineadas paralelamente a la mineralización y un contacto con la roca de caja, específicamente andesita blocosa. La figura N°38 proporciona una visión detallada de la calidad del macizo rocoso, evaluada según el modelo de bloque R.Q.D, lo que permite una mejor comprensión de la estabilidad y características del terreno en relación con la mineralización presente.

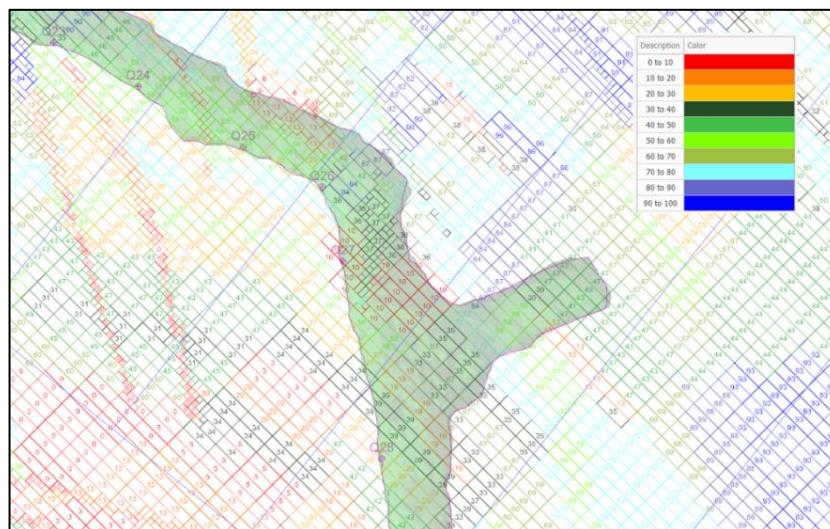


Figura N°38: EK_216GB601. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloque

Teniendo en cuenta la calidad de macizo rocoso, se plasma las características de cada perno instalado en la siguiente tabla:

Tabla N°12: EK_216GB601. Pernos MDX instalados en hastiales

PERNO MDX			CALIDAD DE ROCA			CLASIFICACIÓN
ID PERNO	L (m)	Ø (mm)	RMR	Q	GSI	
P1	2,4	39	25	0,1	20	MALA
P2	2,4	39	42	0,5	37	REGULAR
P3	2,4	39	42	0,5	37	REGULAR
P4	2,4	39	42	0,5	37	REGULAR

El perno P1 se instaló intencionalmente en una estructura arcillosa de mala calidad Geomecánica. Mientras que el perno P2, P3 se instalaron en la caja piso, el perno P4 en la caja techo, todos estos en sector de calidad geomecánica regular.

3.3.2 Prueba N°2. EK_268Gb600E

Para esta prueba se instalaron 7 pernos MDX en un sector de calidad geomecánica que varía de regular a mala. Para esta tarea, se utilizó el equipo de perforación Sandvik DD320, especializado en la perforación y anclaje en condiciones de roca de baja calidad.

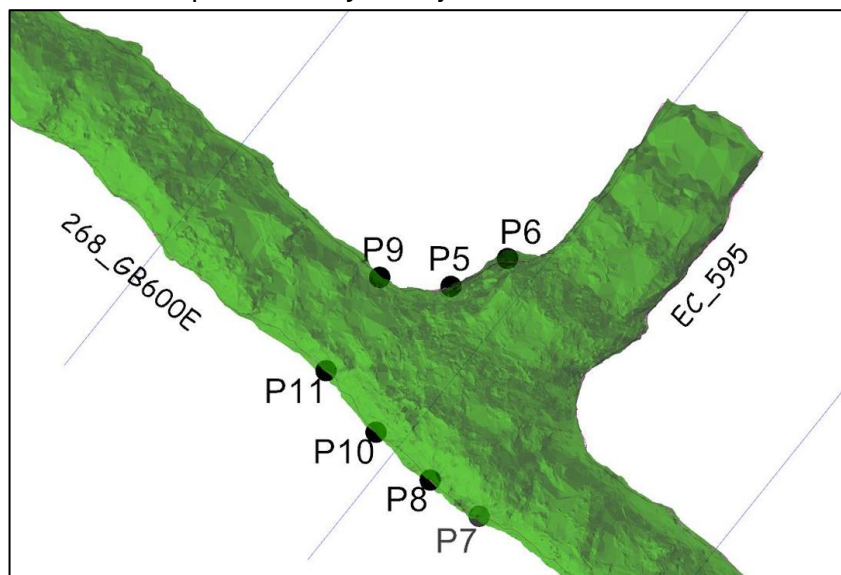


Figura N°39: EK_268GB600E. Ubicación pernos MDX ensayados

3.3.2.1 Calidad de macizo rocoso

Para esta situación la evaluación del área revela que la zona hacia la caja norte presenta una calidad de roca regular a mala, en este sector se realizaron las instalaciones de los pernos identificados como P5, P6 y P9. Por otro lado, la caja sur exhibe una calidad de roca que también se clasifica como regular, en la cual se instalaron los pernos P7, P8, P10 y P11.

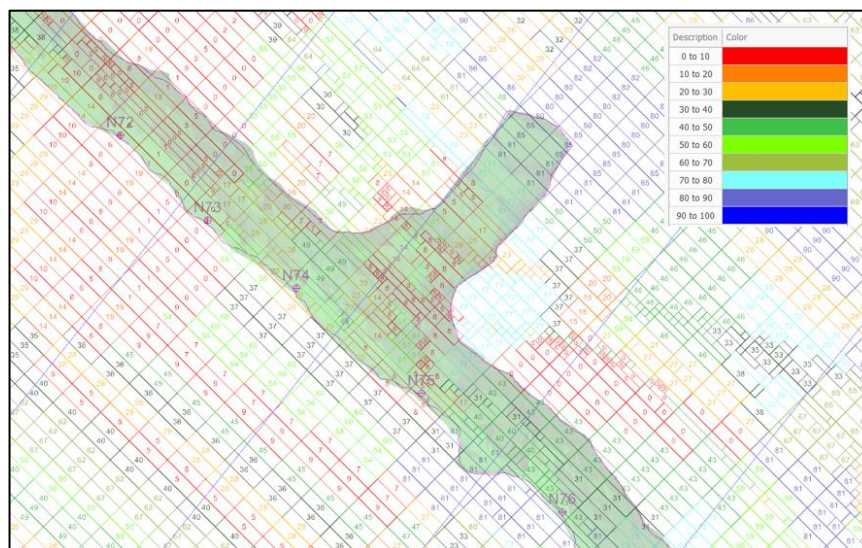


Figura N°40: EK_268GB600E. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloque

La siguiente tabla, detalla la ubicación de los pernos P5 a P11 instalados con su respectiva clasificación, según los 3 métodos de clasificación de macizo rocoso.

Tabla N°13: EK_268GB600E. Pernos MDX instalados en hastiales

ID PERNO	L (m)	Ø (mm)	CALIDAD DE ROCA			CLASIFICACIÓN
			RMR	Q	GSI	
P5	3	47	34	0,11	40	REGULAR
P6	2,4	47	34	0,11	40	REGULAR
P7	2,4	47	43	1,33	50	REGULAR
P8	3	47	43	1,33	50	REGULAR
P9	3	47	36	0,16	40	MALA
P10	2,4	47	43	1,33	50	REGULAR
P11	2,4	47	43	1,33	50	REGULAR

3.3.3 Prueba N°3. MN_500GTE

Se procedió a la instalación de 6 pernos MDX, con un diámetro de 47 mm y longitudes variables de 2,4 m y 3,0 m, utilizando el equipo de perforación Sandvik DD321, conocido por su eficacia en la perforación de rocas en condiciones diversas.

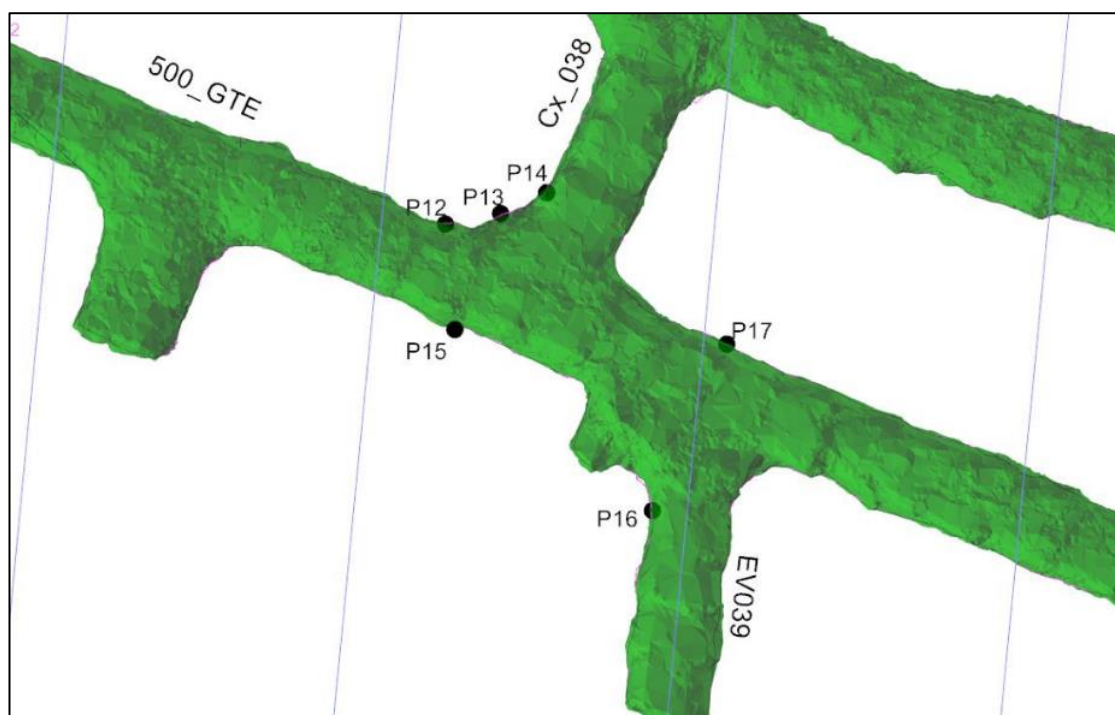


Figura N°41: MN_500GTE. Ubicación pernos MDX ensayados

3.3.3.1 Calidad de macizo rocoso

Los pernos fueron colocados en una formación de andesita fresca, que se caracteriza por su alta calidad geomecánica, proporcionando una base sólida y estable para el anclaje. Sin embargo, se identificó una excepción significativa en el perno P17, que se instaló en una sección de la estructura con características arcillosas y de mala calidad geomecánica.

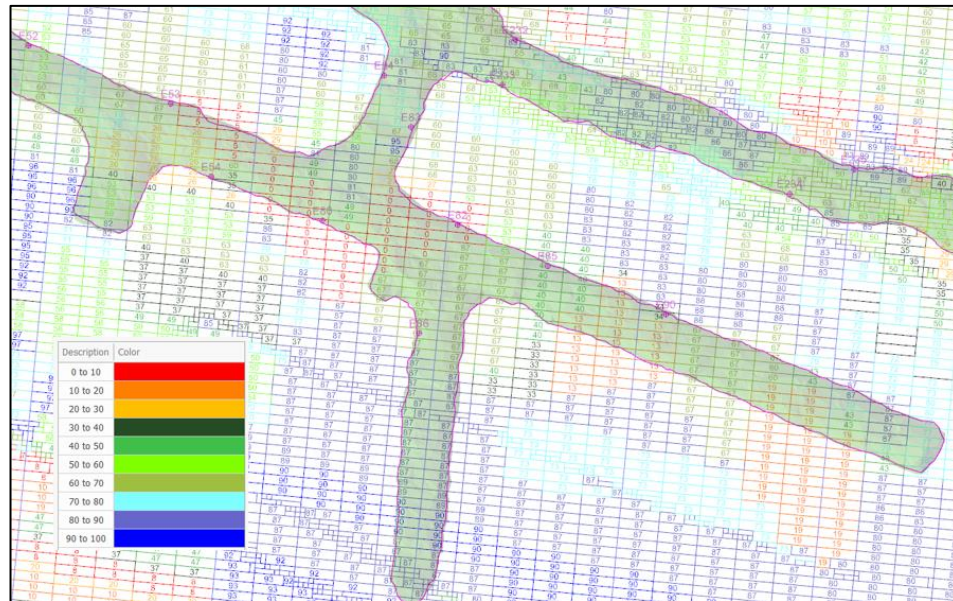


Figura N°42: MN_500GTE. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloques

La siguiente tabla resume la característica geométrica de los pernos instalados con su respectiva clasificación de macizo rocoso:

Tabla N°14: MN_500GTE. Pernos MDX instalados en hastiales

PERNO MDX			CALIDAD DE ROCA			
ID PERNO	L (m)	Ø (mm)	RMR	Q	GSI	CLASIFICACIÓN
P12	2,4	47	66	5,3	70	BUENA
P13	3	47	66	5,3	70	BUENA
P14	3	47	66	5,3	70	BUENA
P15	3	47	66	5,3	70	BUENA
P16	2,4	47	66	5,3	70	BUENA
P17	2,4	47	31	0,1	35	MALA

3.3.4 Prueba N°4. MN_525Cx021

En este sector se instalaron 2 pernos en el cruzado Cx021 y 2 pernos en la basal GB021E_V2, para lo cual se utilizó el equipo Sandvik DS311, con el objetivo de determinar el efecto de la voladura de producción en la cámara cercana al anclaje.

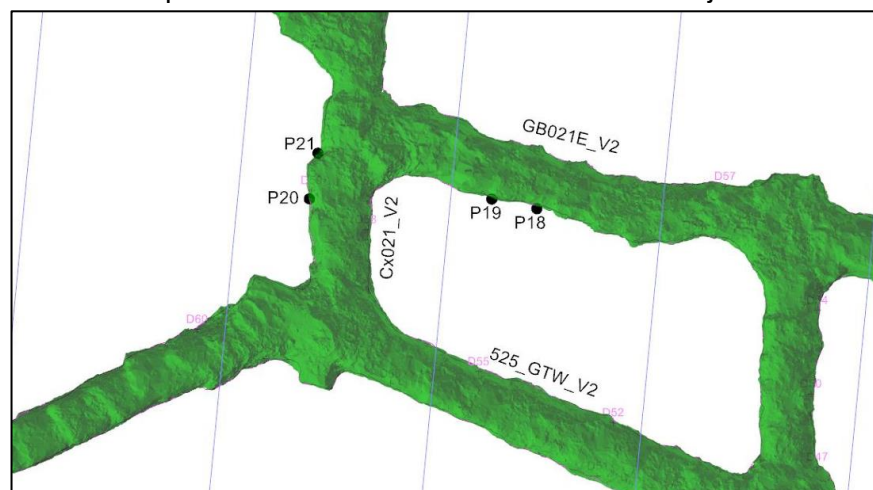


Figura N°43: MN_525. Ubicación pernos MDX ensayados

3.3.4.1 Calidad de macizo rocoso

El modelo geomecánico de bloques, en este caso, permite clasificar el macizo como bueno, lo cual nos brinda características estables para el anclaje.

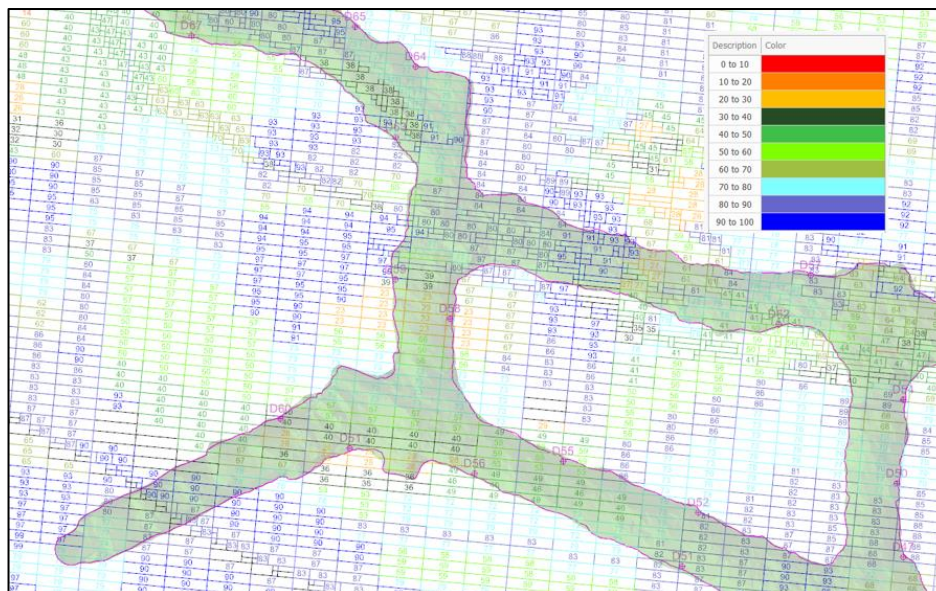


Figura N°44: MN_525. Calidad del macizo rocoso según modelo de bloques

La siguiente tabla resume las características de los pernos ensayados, junto a su respectiva clasificación:

Tabla N°15: MN_525CX021. Pernos MDX instalados en hastiales

PERNO MDX			CALIDAD DE ROCA			
ID PERNO	L (m)	Ø (mm)	RMR	Q	GSi	CLASIFICACIÓN
P18	2,4	39	62	4,6	65	BUENA
P19	2,4	39	62	4,6	65	BUENA
P20	2,4	39	57	3	60	BUENA
P21	2,4	39	57	3	60	BUENA

3.3.5 Prueba N°5. MC_400GTE. Resistencia de anclaje mecánico

El objetivo para esta última prueba consistió en determinar la resistencia del anclaje mecánico, sin considerar la parte del Split set que trabaja contra la fricción. Para ello fue necesario realizar la perforación utilizando dos diámetros de perforación diferentes; se utilizaron 2 pernos MDX, cuya longitud es 2,4 m; y diámetro de 47 mm. La instalación de estos, se realizó en el hastial derecho, en roca de buena calidad geomecánica, y se utilizó el equipo de perforación Sandvik DD320.

La figura N°45 muestra el esquema de perforación del taladro, para el primer tramo se empleó broca de 51 mm y una longitud de perforación de 1,9 m; mientras que para el segundo tramo se perforó una longitud de 0,50 m utilizando una broca de 45 mm (diámetro óptimo para perno de 47 mm), con esta configura de perforación de diámetro variable, se logró aislar el anclaje mecánico del perno MDX.

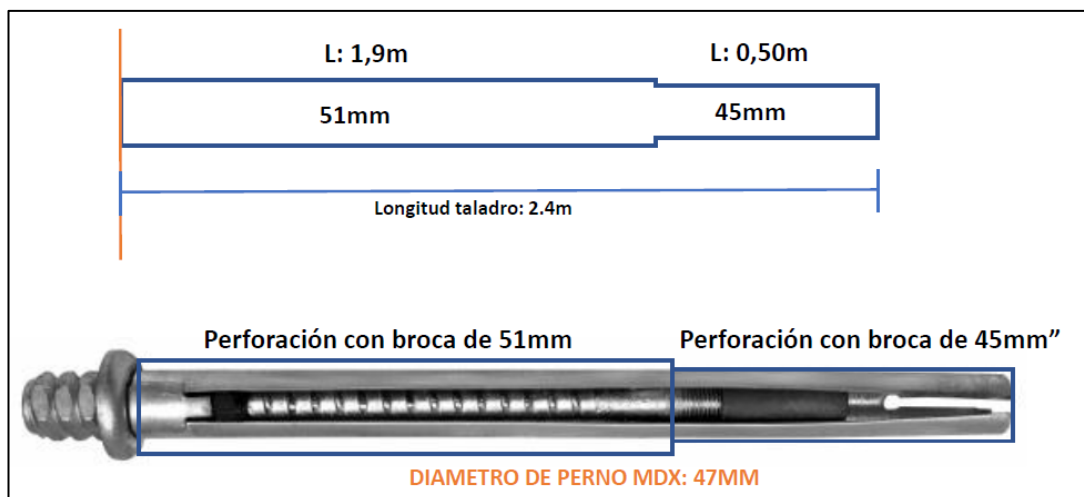


Figura N°45: Prueba de resistencia de anclaje mecánico



Figura N°46: MC_400GTE. Ubicación Prueba anclaje mecánico

3.3.6 Ensayos pull test pernos MDX en hastiales

Este ensayo consiste en una prueba mecánica que se realiza al perno expansivo instalado en paredes de galerías subterráneas, el mismo busca medir su capacidad de tracción, su deformación y su comportamiento ante la aplicación de una carga. Así, por medio de un equipo hidráulico se aplica la fuerza máxima necesaria para comprobar si el perno se mantiene anclado al macizo rocoso (ver Anexo N°1).

El objetivo es verificar que están instalados correctamente, y que se ha seguido toda la metodología geomecánica de la mina y criterios de seguridad.

Las pruebas realizadas, fueron del tipo de ensayo no destructivo, se tomó como criterio de aceptación aquellos pernos que verifique la solicitud de carga de 18,0 t, se consideró una toleración de 1,5 t, por lo que el rango de aceptabilidad queda definido en **18,0 t ± 1,5 t**, es

decir, todo ensayo ejecutado que presenta fallo a carga menor de 16,5 t, será considerado como deficiente en la prueba de tracción pull-test.

Durante las pruebas, se hicieron mediciones y registros, la carga aplicada y la elongación del perno. Por medio de lectura en el manómetro se registró cada carga y la correspondiente elongación, hasta un valor pico, por encima del cual, el perno empezaba a salirse del taladro y la carga en el manómetro dejaba de subir por encima de ese valor.

Una vez finalizado el ensayo, los resultados se registran en una gráfica en forma de curva que representa la carga aplicada y el alargamiento que sufre el perno en base a la tensión aplicada.

Si el resultado de la prueba es positivo, el perno alcanza la carga de 18,0 t queda demostrado que el perno está instalado adecuadamente y cumpliendo su función de estabilizar el terreno rocoso.

La tabla N°16, muestra el resumen de las resistencias obtenidas de ensayos de tracción a cada uno de los anclajes instalados, en la misma se especifica el diámetro, longitud, desplazamiento máximo y la resistencia alcanzada.

Para el caso del perno P5, el ensayo se llevó a su máxima capacidad de carga para determinar el valor de rotura del anclaje, el mismo no fue posible por condiciones de seguridad, alcanzando éste un máximo de 27,0 t.

El perno P11, fue llevado a rotura, alcanzando este una carga máxima de 24,0 t.

Tabla N°16: Ensayos Pull test pernos MDX instalados en hastiales

ENSAYOS PULL TEST PERNOS MDX				
ID PERNO	L (m)	Ø (mm)	DESPLAZAMIENTO (mm)	RESISTENCIA (t)
P1	2,4	39	38,90	9,0
P2	2,4	39	40,47	9,0
P3	2,4	39	29,49	9,0
P4	2,4	39	69,7	18,0
P5	3,0	47	77,63	27,0
P6	2,4	47	73,07	18,0
P7	2,4	47	55,04	18,0
P8	3,0	47	82,18	18,0
P9	3,0	47	76,90	12,8
P10	2,4	47	59,46	18,0
P11	2,4	47	58,29	24,0
P12	2,4	47	22,52	9,0
P13	3,0	47	57,82	18,0
P14	3,0	47	64,56	18,0
P15	3,0	47	55,73	18,0
P16	2,4	47	29,01	9,0
P17	2,4	47	55,64	18,0
P18	2,4	39	68,81	18,0
P19	2,4	39	51,57	18,0
P20	2,4	39	17,51	7,5
P21	2,4	39	73,78	18,0
P22	Anclaje mecánico	47	-	18,0
P23	Anclaje mecánico	47	-	18,0

De la tabla N°16, se observa que los pernos que presentaron mejor comportamiento a las pruebas de tracción fueron los pernos MDX de 3,0 m de longitud y 47 mm de diámetro, de un total de 8 pernos ensayados, 7 de ellos verificaron la carga mínima de 18 t, 1 perno no llegó a la carga esperada, el mismo falló a 12,8 t.

Para el caso de los pernos de longitud 2,4 m y diámetro 47 mm, de los 7 pernos ensayados, 5 verificaron la carga a tracción de 18,0 t, 2 de ellos presentaron fallo a 9,0 t.

Los pernos MDX de longitud 2,4 m y diámetro 39 mm, de los 8 pernos ensayados, 3 verificaron la carga de 18,0 t, 4 pernos fallaron a 9,0 t y 1 perno falló a 7,5 t.

En total se ensayaron 23 pernos tipo MDX, de longitud 2,4 m y 3,0 m y diámetro 39 mm y 47 mm.

3.4 PRUEBAS PERNOS MDX EN CORONA

Finalizados los ensayos en hastiales y tras analizar el comportamiento de los pernos MDX, se identificó que el mejor comportamiento de los anclajes MDX instalados en hastial corresponde a los pernos de 3,0 m de longitud y 47 mm de diámetro. Estos resultados permitieron validar la capacidad de carga de 18 t para los pernos de 47 mm de diámetro.

En la siguiente etapa de pruebas, se procedió a instalar pernos de 3,8 m de longitud y 47 mm de diámetro, con el objetivo de evaluar su desempeño en la corona de intersecciones de labores de desarrollo.

3.4.1 Prueba N°1. MN_425CX023

La primera prueba de campo consistió en la colocación de 10 pernos MDX de 3,8 m de longitud; 9 de los cuales fueron instalados en la intersección MN_425Cx023; y 1 perno en refuerzo de intersección contigua (GT). La altura de la galería es de 4,8 m a 5,4 m. Para la instalación de estos fue necesario contar con el equipo JU03 DD320, con el cual se completó la instalación en un total de 3,0 hs.

La figura N°47, muestra la ubicación de las intersecciones involucradas.



Figura N°47: MN_425. Ubicación pernos MDX instalados

3.4.2 Prueba N°2. EM_405ACC032-EC030

En este sector se instalaron 14 pernos MDX de los cuales 3 fueron sometidos a pruebas de pull test para verificar su comportamiento en el sector de la corona. La ubicación describe una intersección tipo T3, cuya altura de galería es de 5,5 metros. Se emplearon pernos de 3,8 metros de longitud y 47 mm de diámetro.

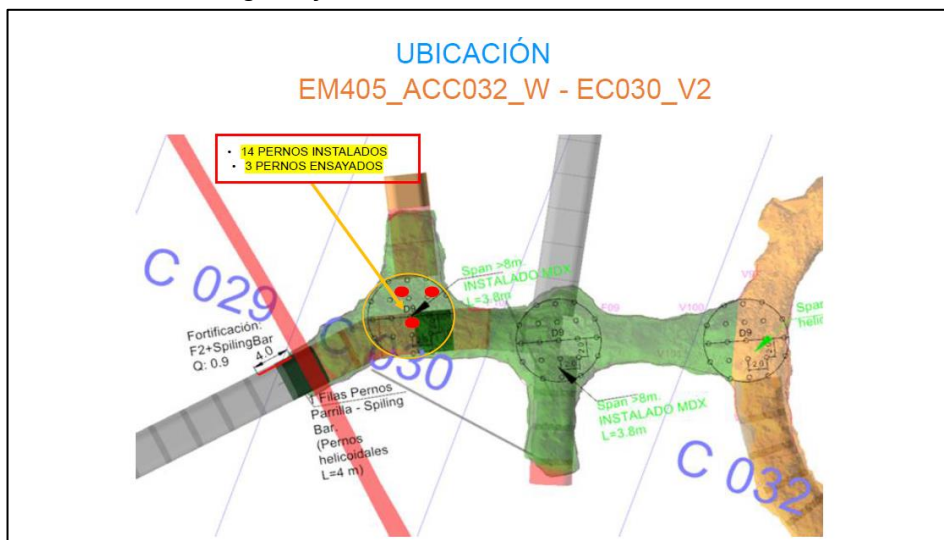


Figura N°48: EM_405. Ubicación pernos MDX instalados

Tabla N°17: MN_425. Ensayos pull test pernos MDX en corona

PERNO MDX			CALIDAD DE ROCA				ENSAYO PULL TEST	
ID	L (m)	Ø (mm)	RMR	Q	GSi	CLASIFICACION	PSI	T
P1	3,8	47	34	0,1	30	Zona de falla	4.000	12
P2	3,8	47	34	0,1	30	Zona de falla	6.000	18
P3	3,8	47	34	0,1	30	Zona de falla	6.000	18

Durante el ensayo en el perno identificado P1, se detuvo la medición del ensayo a los 3.000 psi al notar que el perno se empieza a doblar al acomodarse la placa sobre la superficie de la roca. El ensayo alcanza 12,0 t a una presión de 4.000 psi. Mientras que en el caso de los ensayos en pernos P2 y P3 se tracciona el perno a una presión de 6.000 psi. El ensayo verifica 18,0 t.

3.4.3 Prueba N°3. EM 355GTE-CX039/EV_040

Para este ensayo fue necesario la utilización del jumbo DD321 para la instalación de los pernos. La altura de la galería es de 5,9 m. Se instalaron un total de 12 pernos de 14, debido a que los pernos no ingresaban completos en el taladro los 2 restantes no fueron colocados.

El tiempo de instalación de cada perno fue de 10 minutos y esto incluye la carga del perno, su posicionamiento y la instalación.

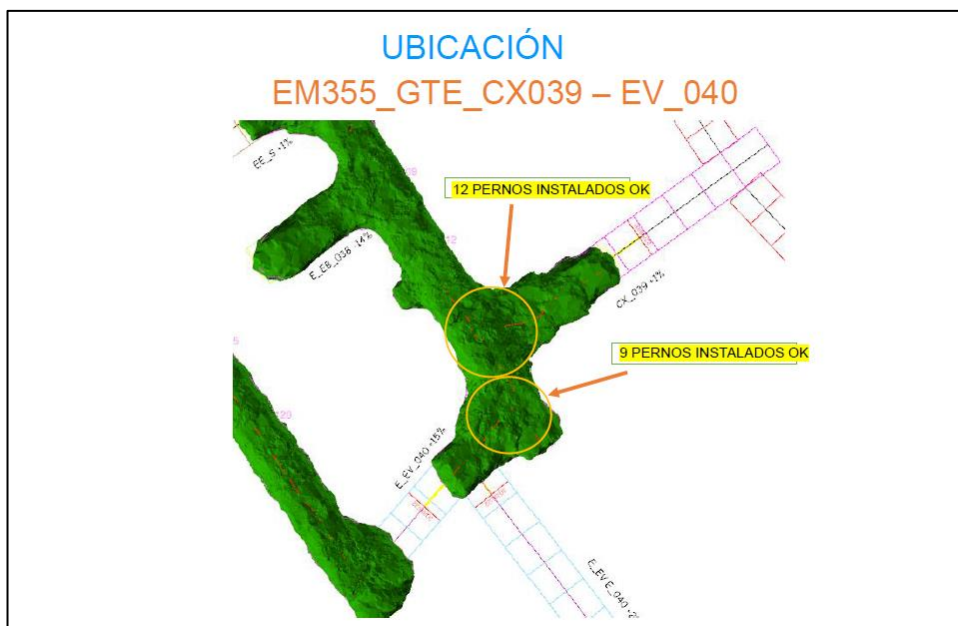


Figura N°49: EM_355. Ubicación de los pernos MDX instalados



Imagen N°2: EM_355GTE-CX039. Pernos MDX instalados en corona

3.4.4 Prueba N°4. EM_355GTE-EV040

Para esta situación fue necesario la utilización del jumbo DD321 para la instalación de los pernos. La altura de la galería es de 5,6 m. Se instalaron un total de 9 pernos de 11, los 2 pernos restantes no fueron colocados debido a que no ingresaba completo en el taladro. El tiempo de instalación de cada perno fue de 5 minutos y esto incluye la carga del perno, su posicionamiento y la instalación.



Imagen N°3: EM_355GTE-EV040. Pernos MDX instalados en corona

3.4.5 Prueba N°5. EM_355GB-CX033

Para esta situación fue necesario la utilización del jumbo DD321 para la instalación de los pernos. La altura de la galería es de 5,2 m. Se instalaron un total de 9 pernos de 10, el perno restante no fue colocado debido a que no ingresaba completo en el taladro. El tiempo de instalación de cada perno fue de 5 minutos y esto incluye la carga del perno, su posicionamiento y la instalación.

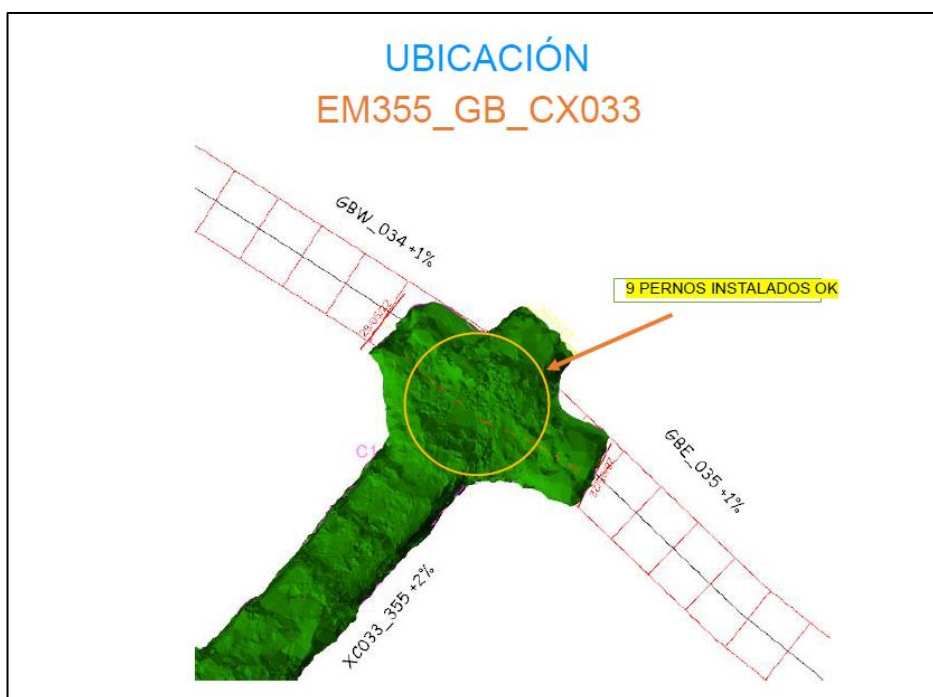


Figura N°50: EM_355. Ubicación pernos MDX



Imagen N°4: EM_355GB-Cx033. Pernos MDX instalados en corona

3.4.6 Prueba N°6. MC_300RP-EC576

Para esta situación fue necesario la utilización del jumbo DD321, utilizando con ello broca de 45mm, para la instalación de los pernos. Se colocaron pernos MDX de 3,8 m de longitud en intersecciones span del Nivel 300 de mina MC. La altura de la galería es de 6,5 m.

Se instalaron un total de 11 pernos, de los cuales 10 se hicieron de forma correcta (175 bar), es decir, ingresó la totalidad del largo del perno en el taladro, mientras que el perno restante se lo consideró como instalación fallida, al presentar daño por el incorrecto emboquille, el operador aplicó percusión antes que el perno se encuentre dentro del collar del taladro.

El tiempo de instalación de cada perno fue de 6 minutos y esto incluye la carga del perno, su posicionamiento y la instalación.

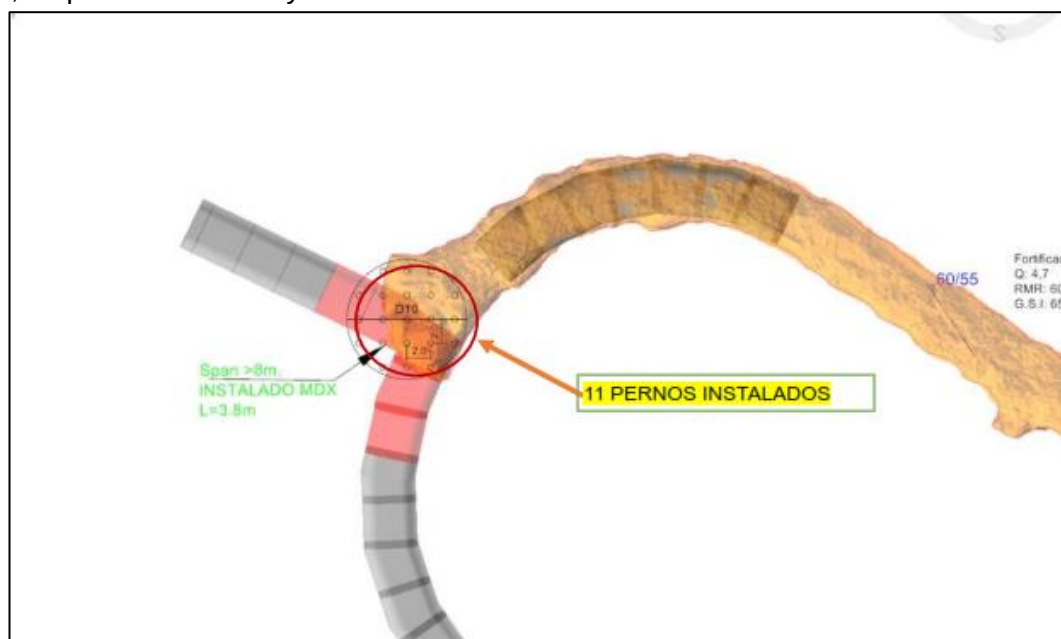


Figura N°51: MC_300RP-EC576. Ubicación pernos MDX instalados



Imagen N°5: MC_300RP-EC576. Pernos MDX instalados en corona



Imagen N°6: MC_300RP-EC576. Error de emboquille en instalación de perno

3.4.7 Ensayos Pull test pernos MDX en Corona

Durante las pruebas de instalación en corona, se obtuvieron valores de desplazamiento mediante ensayos pull test. El objetivo fue obtener la gráfica de deformación versus carga de tracción, realizando mediciones cada 500 psi, lo que equivale a 1,5 t de carga axial.

La tabla N°18 presenta los resultados de desplazamiento registrados para cada perno ensayado y su correspondiente calidad de macizo rocoso donde fueron instalados.

Tabla N°18: Ensayos pull test MDX 3,8 m corona

Ensayos Pull test Pernos MDX 3,8 m									
Carga (t)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,5	1,08	1,40	1,04	0,86	2,35	6,16	6,74	5,24	7,97
3,0	1,84	2,67	1,27	3,24	5,13	9,43	17,10	7,47	12,21
4,5	6,25	4,08	2,60	7,92	16,54	13,02	20,73	11,23	18,97
6,0	8,63	6,46	4,85	10,30	17,92	18,40	22,11	23,61	21,35
7,5	11,02	8,08	8,70	18,69	23,31	29,79	26,24	33,00	34,74
9,0	17,53	8,77	13,10	20,61	31,23	53,71	30,65	40,92	47,66
10,5	21,72	13,71	14,97	24,87	45,49	64,88	33,68	47,18	55,92
12,0	24,17	15,91	18,53	28,01	47,86	67,63	35,20	52,06	68,41
13,5	27,94	21,79	23,29	33,45	57,38	73,98	37,57	63,64	74,58
15,0	30,50	26,97	24,57	40,51	61,09	80,76	40,28	73,78	84,52
16,5	35,25	27,35	25,17	46,87	62,50	81,82	41,48	81,86	87,92
18,0	36,88	28,26	26,29	50,19	66,11	83,71	44,56	85,54	94,53
Calidad de roca	BUENA	BUENA	BUENA	REGULAR	REGULAR	REGULAR	MALA	MALA	MALA

La figura N°52 presenta las curvas carga-desplazamiento obtenidas para los anclajes MDX de 3,8m, cuyos resultados se encuentran detallados en la Tabla N°18. Las curvas se clasifican según la calidad del macizo rocoso: **verde** para roca de buena calidad, **naranja** para calidad regular y **rojo** para roca de mala calidad.

En todos los casos, los anclajes alcanzaron la carga mínima requerida de 18t, cumpliendo con el estándar operativo. Sin embargo, la deformación asociada a dicha carga evidencia una marcada influencia de la competencia del terreno.

Para los pernos instalados en roca de buena calidad, el desplazamiento máximo registrado a 18t fue de 36,88mm. En macizos de calidad regular, el valor asciende a 83,71mm mientras que en roca de mala calidad se registró un desplazamiento máximo de 94,53mm. Esta variación confirma que, aunque el anclaje desarrolla la resistencia exigida, la rigidez del sistema de anclaje-roca disminuye notablemente a medida que empeora la calidad del macizo rocoso, resultando en mayores deformaciones bajo la misma condición de carga.

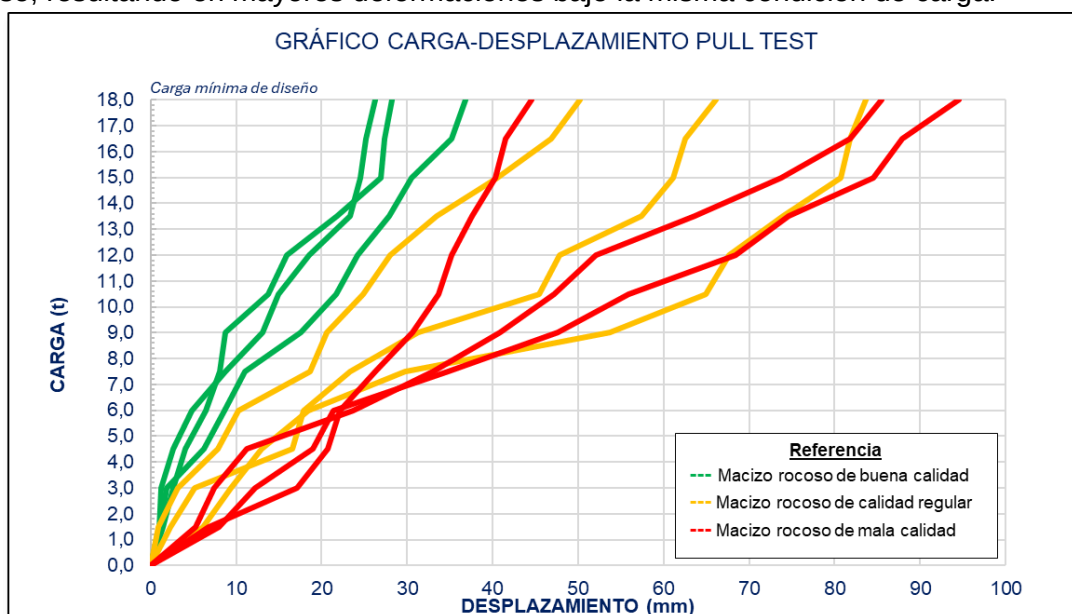


Figura N°52: Ensayos Pull-test MDX 3,8 m. Curva desplazamiento-carga



3.5 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE UNWEDGE MN_350CX-GB025

3.5.1 Suposiciones iniciales

Se consideraron las siguientes suposiciones iniciales y limitaciones previo a la simulación mediante software Unwedge.

Unwedge se emplea para analizar la caída de cuñas en zonas de excavación donde las discontinuidades son persistentes, y donde no existan esfuerzos que provoquen la rotura. Se asume que el desplazamiento tiene lugar en las discontinuidades del terreno, y que las cuñas se mueven como cuerpos rígidos sin deformación o fragmentación interna.

Las cuñas son de naturaleza tetraédrica, formadas por la intersección de tres discontinuidades. Se pueden analizar un máximo de tres planos de la estructura al mismo tiempo. Si se identifican más de tres planos en la estructura durante el análisis de los datos, deberán ser tenidas en cuenta todas las combinaciones posibles de esos planos.

Todas las superficies de los planos de discontinuidad se consideran perfectamente planas.

Se asume que las superficies de discontinuidad son persistentes y se desarrollan por todo el volumen de interés, por lo que las discontinuidades que definen la cuña no terminan en la zona donde se han formado las cuñas. Esto implica que no se necesitan nuevas fracturas para el análisis del movimiento de las cuñas.

Las discontinuidades se consideran extensas, en otras palabras, pueden tener lugar en cualquier zona del macizo rocoso donde se genera la abertura.

Se considera que la excavación subterránea tiene sección constante a lo largo de su eje.

El análisis de fallo/rotura está basado en la consideración de que las cuñas están sometidas exclusivamente a la fuerza de la gravedad, debido al peso de la cuña, no se tienen en cuenta los esfuerzos que pueda ocasionar el macizo rocoso circundante.

Se utiliza como caso de estudio para la simulación de la dimensión máxima de la cuña el sector MN_350CX-GB035 se lleva a cabo en andesita y el según caso en la intersección de una basal, condición de avance más desfavorable.

3.5.2 Caso de estudio MN_350CX-GB035

3.5.2.1 Información general

Se selecciona el Cx035 del nivel 350, se considera el ingreso al nivel por rampa principal del portal MN, hasta llegar al nivel 350, donde se accede por galería de transporte este hasta llegar al Cx035, la figura N°53 muestra el nivel donde se generará las aperturas de las basales 035E y 035W.

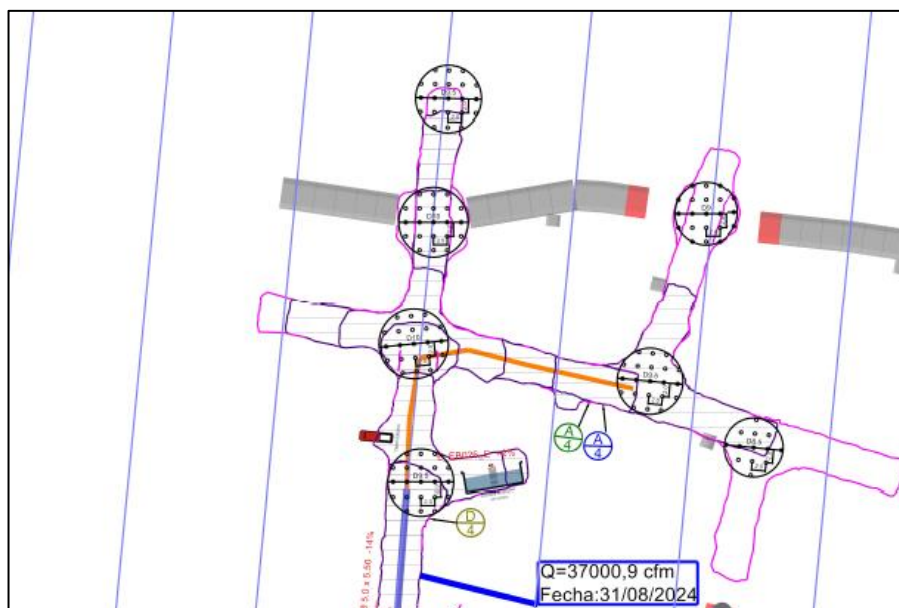


Figura N°53: MN_350. Vista en planta

3.5.2.2 Calidad de macizo rocoso

Para determinar la calidad de macizo rocoso en la labor Cx035 y correspondientes aperturas Gb035W y Gb035E, se emplea el modelo de bloques geomecánico, donde se observa que al llegar a zona mineralizada, la calidad de macizo rocoso disminuye, se puede apreciar en el siguiente gráfico, el laboreo actual del nivel y la superposición con el modelo de bloque R.Q.D. como resultado se obtiene un clasificación de macizo rocoso de calidad regular a mala, el cruzado presenta característica de andesita muy fracturada y zonas de alteración arcillosa fuerte, al llegar a la mineralización, se puede observar la estructura principal dominante paralela al cuerpo mineralizado, compuesto principalmente cuarzo bandeado con zonas de alteración arcillosa fuerte.

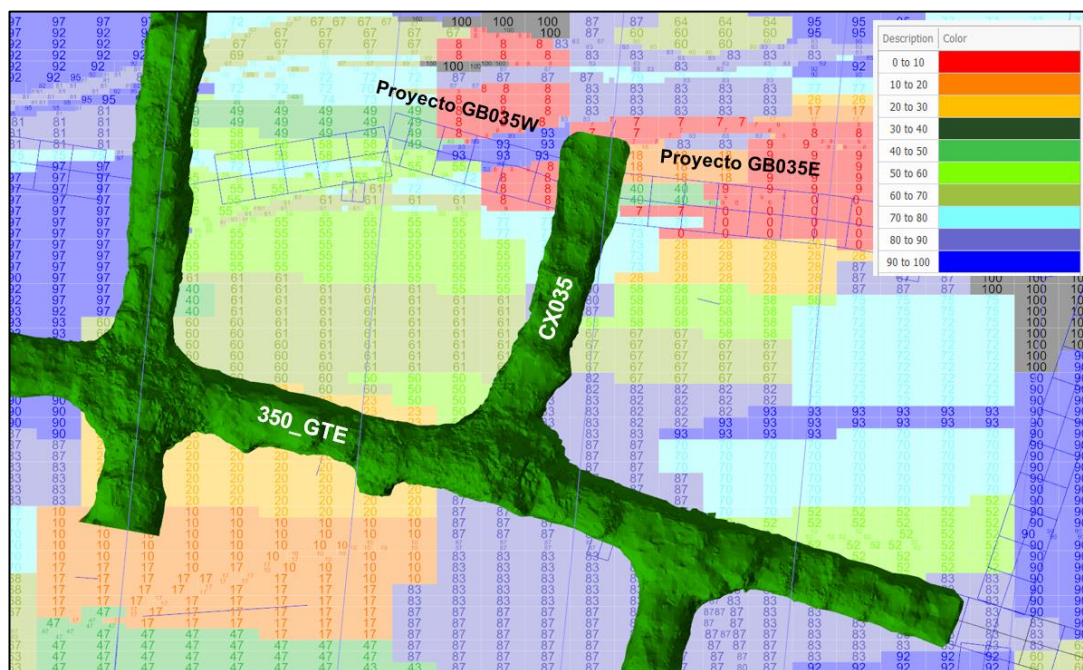


Figura N°54: MN_350. Calidad de roca según modelo de bloques geomecánico

3.5.2.3 Información estructural

La zona analizada presenta estructuras de distintos tipos y relleno, las mismas forma parte de la blocosidad del macizo rocoso donde se genera los desarrollos del nivel 350, se puede observar que el set principal es una estructura primaria, ya que es la dirección dominante coincidente con la dirección del cuerpo mineralizado.

La tabla N°19 detalla la información estructural de los Cx035 y zonas cercanas a la zona analizada.

Tabla N°19: MN_350Cx035. Relevamiento estructural

RELEVAMIENTO ESTRUCTURAL							
MINA	Nivel	DIP	DIPDIR	ESTRUCTURA	PERSISTENCIA	RELLENO	TIPO DE RELLENO
MN	350	41	205	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	46	213	DIACLASA	3-5 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	44	212	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	43	215	DIACLASA	3-5 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	44	215	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	44	200	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	43	85	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	85	215	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	44	220	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	50	95	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	51	99	DIACLASA	3-5 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	52	98	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	45	350	DIACLASA	3-5 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	52	98	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	52	100	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	5	100	DIACLASA	3-5 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	52	98	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	65	340	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	65	343	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	67	355	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	30	25	FALLA	>5 m	BLANDO	Arcillas, arenas, roca triturada
MN	350	33	25	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	70	342	FALLA	>5 m	BLANDO	Arcillas, arenas, roca triturada
MN	350	68	340	DIACLASA	<1 m	PÁTINA	Relleno parcial de arcilla
MN	350	72	355	DIACLASA	<1 m	BLANDO	Arcillas, arenas, roca triturada
MN	350	70	338	FALLA	>5 m	BLANDO	Arcillas, arenas, roca triturada

A partir de la tabla N°19, se carga como información de entrada en software Dips, donde se determinan tres zonas principales.

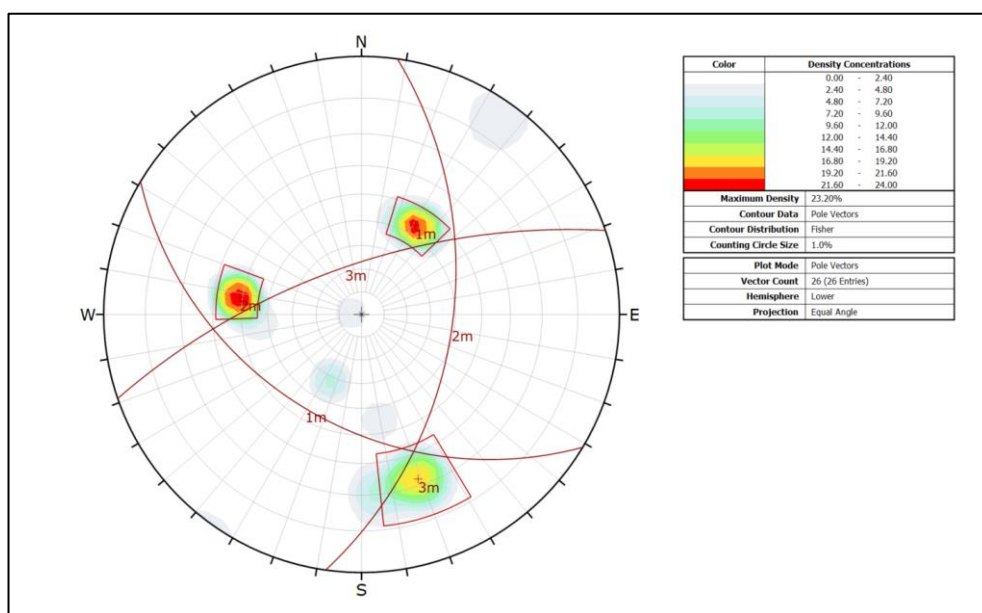


Figura N°55: MN_350CX035. Proyección estereográfica

Por consiguiente, la tabla N°20 resumen la dirección estructural de los sets analizados a partir de la información estructural relevada.

Tabla N°20: MN_350Cx035. Sets principales

ESTRUCTURAS		
FAMILIA	DIP	DIP DIRECTION
SET 1	43°	212°
SET 2	52°	98°
SET 3	68°	343°

Esta información se emplea como dato entrada estructural para la simulación del bloque máximo en corona.

3.5.2.4 Simulación Unwedge

Para la simulación de la cuña máxima en software Unwedge se tiene en cuenta las estructuras principales, levantamientos topográficos y diseño de la fortificación de avance. La finalidad es simular la estabilidad de la cuña máxima, para lo cual, el factor de seguridad debe ser mayor a 2, condición necesaria y suficiente.

Según modelo de bloques geomecánico, se identifican zonas de calidad regular a mala, esto se puede observar en la figura N°54, en verde el desarrollo actual y los cuadros pigmentados muestra la calidad del macizo en zonas de aperturas. al consultar con el modelo de bloque R.Q.D, modelo generado a partir de la información recopiladas de la recuperación de testigos de pozos de diamantina y posterior logueo geomecánico. La fortificación de avance se lleva a cabo mediante estándar F3.

Los tres sets principales detallado en tabla N°20, se introduce en el software Unwedge, esta información se emplea para dimensionar la cuña máxima en un análisis determinístico, es decir, se adopta la condición estructural más desfavorable.

Se Importa el avance del Cx035 con la topográfica relevada y configura la blocosidad del macizo teniendo en cuenta los 3 set principales determinado en la tabla N°20.

Previo a la apertura de las basales, el bloque máximo formado por la convergencia de los 3 set identificados, y la fortificación de avance primaria dada con pernos de anclajes Split set de 2,4 m, la cuña permanece estable, con factor de seguridad 2,18, como se muestra a continuación:

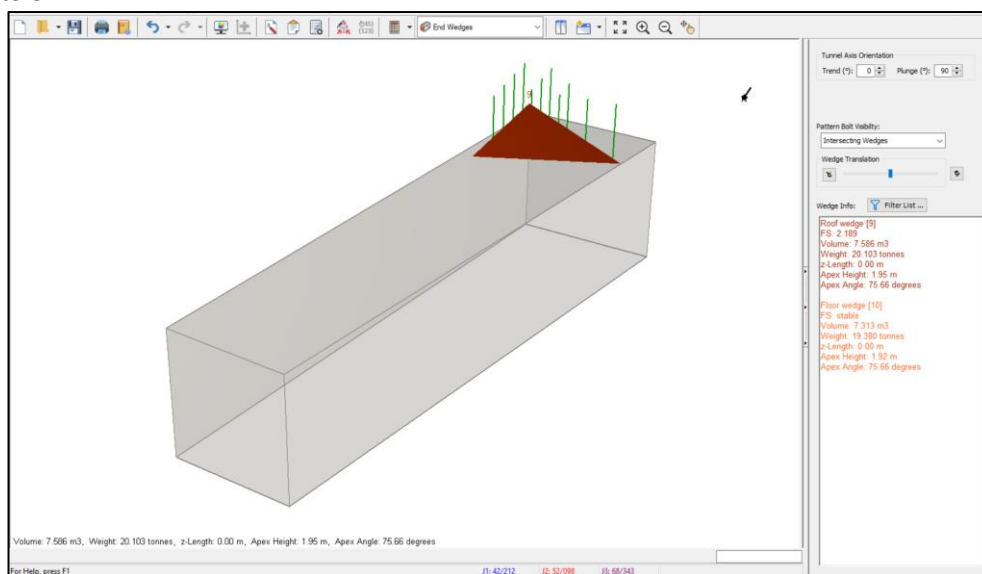


Figura N°56: MN_350CX035. Cuña máxima, sin apertura

Una vez ejecutada las aperturas de las basales Gb035W y Gb035E, la intersección se genera, por consiguiente, se puede observar el incremento en volumen del bloque máximo en zona de corona y la fortificación con pernos Split set instalados, el factor de seguridad resultante es menor a 1, por lo que la cuña se encuentra en condición inestable.

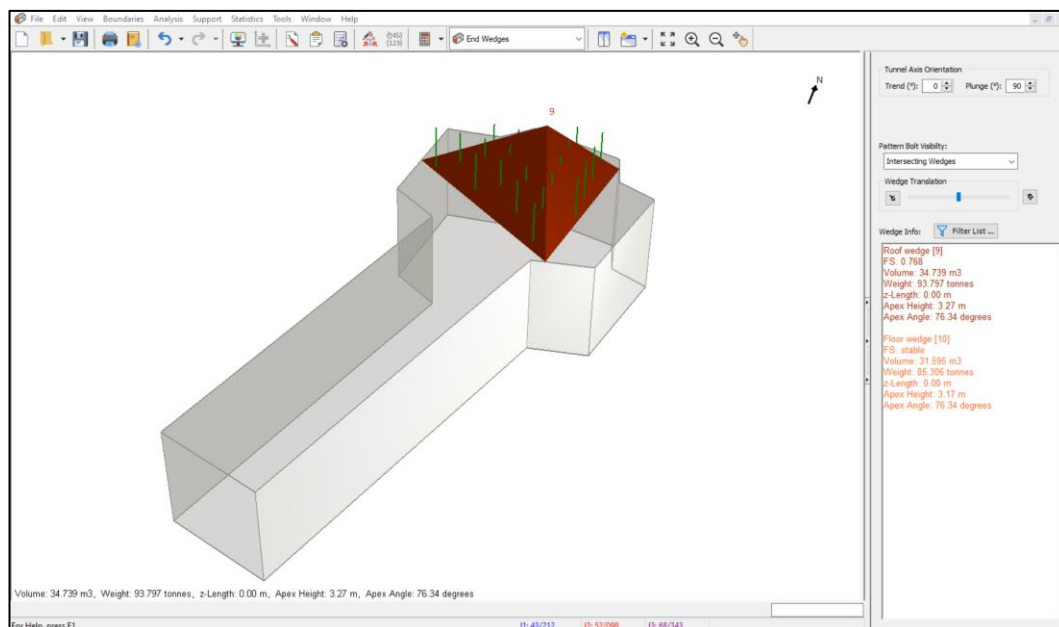


Figura N°57: MN_350CX035. Cuña máxima luego de aperturas basales

Se procede a estabilizar la cuña, la figura N°58 muestra el bloque de dimensión máxima, el anclaje Split set de 2,4 m según estándar de fortificación primaria y la adición de pernos MDX de 3,8 m con grilla de espaciado de instalación de 2,0 m X 2,0 m en zona de corona.

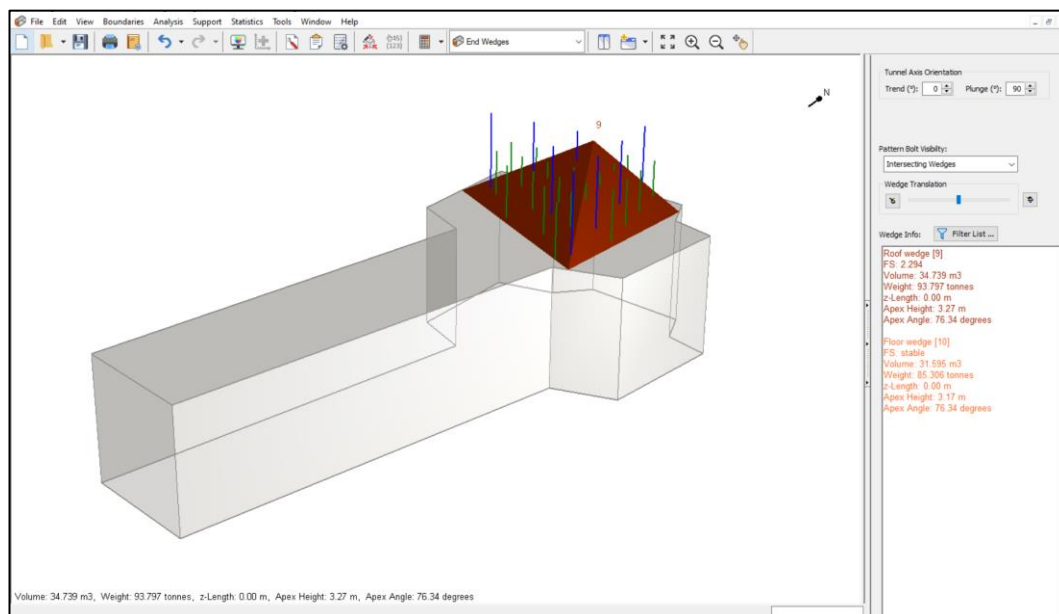


Figura N°58: MN_350CX035. Cuña máxima sostenida con pernos MDX

Con el refuerzo de pernos MDX en la intersección, se demuestra que el factor de seguridad es mayor a 2, condición necesaria para continuar con el desarrollo y asegurar la estabilidad de los frentes activos.

Al pasar de una abertura de 5,0 m a una abertura de 9,5 m luego de ejecutada las aperturas de basales, la geometría de la cuña aumenta, por lo tanto incrementa su tonelaje y su altura ápex, lo que reviste la importancia de aumentar la longitud de anclajes, esto se logra mediante la incorporación de pernos de 3,8 m.

La tabla N°21 detalla las características geométricas y físicas de la cuña máxima formada antes y luego de los avances en la intersección.

Tabla N°21: Característica cuña máxima

Característica Cuña máxima				
Escenario	Abertura (m)	Volumen (m ³)	Peso (t)	Longitud ápex (m)
Previo apertura	5,0	7,58	20,1	1,95
Finalizada apertura	9,5	34,73	93,7	3,27

Este capítulo permitió comparar detalladamente dos sistemas de fortificación empleados en la operación minera: los pernos helicoidales y los pernos MDX. A través del análisis de diferentes etapas del ciclo de avance y del estudio en terreno bajo condiciones geomecánicas variables, se comprobó que los pernos MDX presentan una mayor adaptabilidad y eficiencia en su instalación, especialmente en zonas de alta exigencia estructural como intersecciones o zonas de baja calidad del macizo rocoso.

Los resultados de los ensayos pull test demostraron una resistencia satisfactoria de los pernos MDX, alcanzando valores de carga que garantizan la estabilidad estructural requerida por los estándares de seguridad. **Asimismo, la simulación con software Unwedge respaldó su efectividad en el sostenimiento de cuñas críticas, al incrementar el factor de seguridad por encima de los valores mínimos aceptables.**

En contraste, los pernos helicoidales requieren un proceso más laborioso y presentan limitaciones en cuanto a la rapidez de aplicación, lo cual puede repercutir en los tiempos operativos de la mina.

La información recopilada constituye un aporte técnico relevante para la selección de sistemas de fortificación en futuras operaciones, consolidando una base de datos que respalde decisiones basadas en evidencias tanto técnicas como económicas.



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 INTRODUCCIÓN

El análisis económico constituye un instrumento fundamental en la planificación estratégica, la evaluación de proyectos y el control financiero. Esta metodología permite una evaluación integral de los objetivos propuestos en el presente estudio, facilitando la comprensión de indicadores clave como la rentabilidad y el perfil de riesgo asociado. A través del análisis de datos cuantitativos y cualitativos recolectados, se busca no solo determinar la viabilidad económica del sistema de fortificación, sino también identificar oportunidades de optimización de recursos y mitigación de riesgos financieros. Los resultados obtenidos de este análisis proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones, orientando las estrategias futuras hacia una gestión más eficiente y eficaz.

En este apartado, realizaremos una comparación de costos entre la instalación de pernos helicoidales y pernos MDX. Para ambos casos se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tiempos de instalación promedio.
- Costos de materiales puesto en mina.
- Recursos humano empleado según categoría: se considerará la escala salarial de AOMA (Asociación Obrera Minera Argentina).
- Recurso de equipos mecanizados mínimo requerido: el catálogo de los mismos son incorporados en ANEXOS N°3, 4 y 5.

La primera parte del estudio económico, determina los costos de la instalación de los pernos helicoidales de 4,0 m, con aglutinante de cemento portland puzolánico CPP40, se obtuvieron los tiempos empleados en las tres etapas unitarias sin considerar el tiempo muerto entre cada una de ellas. De los escenarios estudiados en el capítulo III, se obtienen los costos de la tarea unitaria para la instalación de pernos helicoidales de 4,0 m.

De igual manera para el caso de los pernos MDX, el análisis económico tiene su inicio en determinar el costo de instalación y estandarización de una intersección típica de 14 pernos de anclajes. La segunda parte consiste en la determinación de los costos de instalación en intersecciones para pernos MDX de 3,8 m.

Se toma como unidad de referencia la moneda estadounidense USD y el costo mínimo en horas laboral efectiva, USD/h.

El tipo de cambio corresponde a \$950 pesos argentino por cada USD, moneda de referencia para la determinación de los costos.

4.2 COSTOS INSTALACIÓN PERNOS HELICOIDALES DE 4,0 M CON LECHADA

4.2.1 Tiempos de instalación

Los tiempos de instalación se extraen del Capítulo III, Tabla N°9, y representan la duración estimada para cada fase del proceso de instalación. Es importante señalar que estos tiempos reflejan únicamente el tiempo activo de trabajo y no consideran los tiempos muertos o períodos de inactividad entre cada etapa del proceso, tales como esperas, ajustes, o interrupciones que puedan ocurrir durante la instalación.

Tabla N°22: Tiempo total perforación pernos helicoidales

Tiempos Promedio de Perforación Jumbo		
Traslado Equipo + Chequeo + Conexión	30	min/postura
Tiempo Perforación	3	min/taladro
Tiempo Total de Perforación	42	min/ postura
Tiempo Desconexión + Limpieza	15	min/ postura
Tiempo Total de Perforación	1,5	h

Tabla N°23: Tiempo total lechado pernos helicoidales

Tiempos Promedio Lechado P.H 4 m		
Traslado Equipo + Chequeo	20	min/postura
Tiempo Lechado	150	min/postura
Tiempo Limpieza Equipo	10	min/postura
Tiempo Total Lechado	3	h

Tabla N°24: Tiempo total instalación pernos helicoidales

Tiempos Promedio Instalación Placa + Tuerca P.H 4 m		
Traslado Equipo + Chequeo	10	min/postura
Tiempo Instalación Placa + Tuerca	50	min/ postura
Tiempo Total Instalación Placa y Tuerca	1	h

4.2.2 Equipos

El cálculo del costo total debe contemplar diversos elementos, incluyendo el costo asociado con la propiedad del equipo, que comprende su adquisición, mantenimiento y eventuales reparaciones. También se deben incluir los gastos para la sustitución de neumáticos, la compra de accesorios indispensables para su funcionamiento, y los costos relacionados con el consumo de energía y combustible. Esta evaluación exhaustiva permite obtener una visión completa de todos los gastos involucrados en la operación del equipo.

4.2.2.1 Equipo de perforación jumbo

Para llevar a cabo la perforación de los pernos helicoidales, es indispensable contar con un equipo especializado que incluya un operador perforista calificado y un ayudante perforista. El operador perforista es responsable de manejar y controlar el equipo de perforación con precisión, garantizando que las perforaciones se realicen conforme a las especificaciones técnicas. Por su parte, el ayudante perforista proporciona soporte en la preparación y el manejo de los materiales, así como en la logística de la operación, asegurando la correcta ejecución del proceso y la eficiencia en el lugar de trabajo. ANEXO N°3.

4.2.2.2 Equipo de levante

Se requiere un operador capacitado para manejar el equipo Manitou, junto con dos ayudantes que trabajen en el canastillo. El operador es responsable de la operación precisa y segura del Manitou, asegurando que el equipo se maneje de acuerdo con los estándares de seguridad y eficiencia. Los ayudantes, ubicados en el canastillo, apoyan en la manipulación y colocación de los materiales, garantizando una coordinación efectiva con el operador para

realizar las tareas de levantamiento y posicionamiento de manera segura y eficiente. ANEXO N°4.

4.2.2.3 Mezcladora hidráulica

Se utiliza para la preparación e inyección de la lechada. Esta unidad está integrada en el canastillo del equipo de levante, permitiendo un acceso eficiente y seguro durante el proceso de mezcla y aplicación. Ver anexos N°9, 10 y 11.

El siguiente cuadro resume el costo de cada equipo empleado:

Tabla N°25: Costos equipos para instalación de pernos helicoidales

Resumen Costos Equipos		
Costo Jumbo	323,50	USD/h
Costo Elevador	79,08	USD/h
Costo Mezcladora	4,02	USD/h

4.2.3 Costo mano de obra

El cálculo del costo de mano de obra incluye varios componentes esenciales: los salarios del personal, los aportes sociales y beneficios proporcionados por la empresa, así como los gastos asociados a viajes, alimentación, servicios de aseo y estadía. Este análisis se basa en un régimen de trabajo de 14 días laborables seguidos de 14 días de descanso. Los salarios utilizados en el cálculo corresponden a las tasas actualizadas a mayo de 2024, distribuidos según las categorías laborales pertinentes. Esta evaluación integral garantiza una estimación precisa y completa de todos los costos laborales involucrados en el proyecto.

Tabla N°26: Costo mano de obra minera

	Categoría	Aportes Emp (USD)	Pasajes+transporte log (USD)	Costo sitio (USD)	Días efectivos	Horas efectivas	Costo horario
Mano de Obra	Categoría 1	567,93	818,52	338,51	14	6	45,58 USD/h
	Categoría 2	653,54	818,52	338,51	14	6	50,37 USD/h
	Categoría 3	739,15	818,52	338,51	14	6	55,16 USD/h
	Categoría 4	824,78	818,52	338,51	14	6	59,96 USD/h

4.2.4 Costos materiales

Se incluyen en el análisis los costos de materiales, los pernos helicoidales de 4,0 m de longitud, las placas, las tuercas y el cemento Portland puzolánico CPP40 en presentaciones de 50 kg por bolsa.

Tabla N°27: Costo materiales para instalación pernos helicoidales de 4,0 m

Costos Materiales		
Perno helicoidales 4,0 m + placa + tuerca	11,30	USD/U
Total Pernos Helicoidales	158,20	USD/Postura
Cemento Portland Puzolánico CPP40	18,00	USD/50 kg
Lechada Cementada	144,00	USD/postura
Costo Total Materiales	302,20	USD/Postura

4.2.5 Costo de perforación perno helicoidal 4,0 m

El costo estimado para la perforación con taladros de 45 mm se sitúa en 323,5 USD/h, este valor incluye diversos componentes asociados con el proceso de perforación, tales como el acero de perforación, el consumo de brocas, barras y adaptadores, así como los gastos de combustible y el desgaste de neumáticos. Es importante destacar que el costo de mano de obra no está incluido en esta estimación, ya que se calcula por separado.

4.2.5.1 Costo perforación equipo DD perno helicoidales 4,0 m

Según tabla N°22, el tiempo de perforación de una postura para 14 pernos es de 1,5 h, lo que resulta el costo total de perforación en USD485,2, correspondiente a la utilización de equipo DD.

Tabla N°28: Costo de perforación pernos helicoidales

Costo Perforación Jumbo		
Costo Equipo de Perforación	323,5	USD/h
Costo Total Perforación	485,2	USD/postura

4.2.5.2 Costo mano de obra perforación pernos helicoidales 4,0 m

Para la utilización del equipo de perforación jumbo DD, se requiere un operador categoría IV y su ayudante perforista categoría II, teniendo en cuenta los tiempos de perforación involucrados según tabla N°22, se obtiene el siguiente costo de mano de obra para la perforación de 14 taladros.

Tabla N°29: Costo mano de obra perforación pernos helicoidales

Costos Mano de Obra Perforación P.H 4,0 m		
Perforista JUMBO CAT. IV	59,96	USD/h
Ayudante Perforista CAT. II	50,37	USD/h
Costo Total Mano de Obra	165,49	USD/postura

4.2.5.3 Costos total perforación pernos helicoidales 4,0 m

El costo total de perforación, considerando tanto el uso del equipo jumbo DD y la mano de obra involucrada tanto del operador perforista y su ayudante, se sitúa en USD650,74.

Tabla N°30: Costos total perforación Perno helicoidal 4,0 m

Costos total Perforación P.H 4,0 m		
Costo Perforación	485,25	USD/postura
Costo Mano de Obra	165,49	USD/postura
Costo Total perforación	650,74	USD/postura

4.2.6 Costos lechada

Para llevar a cabo las operaciones de instalación, se requiere el uso de un equipo de levante equipado con una mezcladora hidráulica incorporada. Este equipo debe ser operado por un total de tres operadores: uno que maneje el equipo de levante (categoría IV) y la mezcladora hidráulica, y dos adicionales que proporcionen soporte en la operación del equipo y en la gestión de materiales.

El tiempo de preparación de lechada por intersección, se obtiene de tabla N°23 y los costos USD/h de los equipos empleados para dicha tarea, se extraen de tabla N°25, obteniendo un costo total de preparación de lechada de USD1.695,60.

Tabla N°31: Costos lechado pernos helicoidales 4,0 m

Costos Lechado pernos helicoidales 4,0 m		
Costo Operador Manitou. CAT. IV	179,88	USD/postura
Costo Operador Ayudante CAT. II	151,11	USD/postura
Costo Operador Ayudante CAT. II	151,11	USD/postura
Costo Equipo Manitou	79,08	USD/h
Costo Lechadora	4,02	USD/h
Costo Total Mano de obra	1.446,29	USD/postura
Costo Total Equipo	249,31	USD/postura
Costo Total Lechado	1.695,60	USD/postura

4.2.7 Costo Instalación placa y tuerca

En el cálculo del costo de instalación se contempla el uso de un equipo de levante especializado, que debe estar operado por un equipo de tres operadores. Este grupo de operadores incluye al conductor principal del equipo de levante categoría IV, quien es responsable de manejar y coordinar el equipo durante el proceso de instalación, y dos operadores categoría II adicionales, encargados de la colocación de placa y ajuste de la tuerca de cada perno helicoidal.

Tabla N°32: Costos instalación placa y tuerca

Costo Instalación Placa y Tuerca		
Costo Operador Manitou. CAT. IV	59,96	USD/h
Costo Operador Ayudante CAT.II	50,37	USD/h
Costo Operador Ayudante CAT.II	50,37	USD/h
Costo Equipo Manitou	79,08	USD/h
Costo Equipo Manitou	79,08	USD/postura
Costo Total Mano de obra	160,70	USD/postura
Costo Total Instalación Placa + Tuerca	239,78	USD/postura

4.2.8 Costos total instalación pernos helicoidales de 4,0 m lechados

Para una abertura típica, se contempla la instalación de un total de 14 pernos helicoidales, distribuidos de manera uniforme a lo largo de toda la intersección. Esta disposición estratégica asegura una cobertura adecuada y una sujeción eficiente en la abertura, optimizando la estabilidad y seguridad de la estructura. La distribución de los pernos helicoidales se realiza siguiendo criterios técnicos específicos que garantizan la integridad del soporte y la efectividad en la consolidación de la abertura.

El total de la instalación de 14 pernos helicoidales de 4,0 m es de USD2.888,32.

Tabla N°33: Costo total instalación de pernos helicoidales de 4,0 m

Costo Instalación Pernos helicoidales 4,0 m		
Costo Perforación	650,74	USD
Costo Lechado	1.695,60	USD
Costo Instalación Placa y tuerca	239,78	USD
Costo Materiales	302,20	USD
Costo Total instalación P.H 4,0 m	2.888,32	USD

4.3 COSTO INSTALACIÓN PERNOS MDX

Para el calculo económico de la instalación de pernos MDX, longitud 3,8 m, diámetro 47 mm, para una intersección de 14 pernos de anclajes, se consideran los siguientes ítems.

4.3.1 Tiempo de instalación

Los tiempos de instalación se extraen del capítulo III, tabla N°9. El proceso de perforación y la posterior instalación se ejecutan de manera simultánea en una sola fase operativa. En consecuencia, ambos procedimientos se integran y se consolidan en un único apartado dentro del análisis, para optimizar la eficiencia y simplificar la ejecución técnica.

Tabla N°34: Tiempo instalación pernos MDX

Tiempos Promedio de Perforación + Instalación		
Traslado + Chequeo Equipo + Conexión	30	min/postura
Tiempo Perforación + Instalación MDX	5	min/taladro
Tiempo Total de Perforación	70	min/postura
Tiempo Desconexión + Limpieza	15	min/postura
Tiempo Total de Instalación	2	h

4.3.2 Equipo

El análisis de costos de equipo para ejecutar la tarea de perforación y colocación de MDX incluye el costo inicial de adquisición del equipo jumbo DD, los gastos asociados con su posesión y operación continua. Esto abarca el costo de mantenimiento y refacciones periódicas, la sustitución de neumáticos, la adquisición de accesorios necesarios para el funcionamiento eficiente, así como los gastos relacionados con el consumo de energía y combustible.

Para llevar a cabo la perforación e instalación de los pernos MDX, mediante equipo jumbo DD, es necesario contar con un operador perforista altamente capacitado, así como con un ayudante perforista. El operador perforista es responsable de la ejecución precisa y segura de las perforaciones, mientras que el ayudante perforista asiste en las tareas secundarias, asegurando el suministro de materiales, la preparación del área de trabajo y el soporte durante el proceso de instalación.

Tabla N°35: Costo instalación pernos MDX

Tiempos Promedio de Perforación + Instalación		
Tiempo Total de Instalación MDX	2	h
Costo Equipo de Perforación	323,5	USD/h
Costo Total Perforación + Instalación	647,0	USD/postura

4.3.3 Costos mano de obra

El cálculo del costo de mano de obra para la instalación de los pernos MDX debe incluir los siguientes elementos: salarios del personal, aportes sociales y beneficios proporcionados por la empresa, gastos de viaje, costos de alimentación, servicios de aseo y limpieza, así como los gastos de estadía. Este cálculo se basa en un régimen de trabajo de 14 días de trabajo seguidos por 14 días de descanso.

Específicamente, se requiere la contratación de un operador perforista categoría IV y un ayudante perforista categoría II para llevar a cabo las tareas de perforación e instalación de pernos MDX.

Teniendo en cuenta la tabla N°26 y los tiempos empleados en tabla N°34, se obtiene el siguiente costo de mano de obra:

Tabla N°36: Costos mano de obra instalación pernos MDX

Costos Mano de Obra Pernos MDX		
Perforista JUMBO CAT. IV	59,96	USD/h
Ayudante Perforista CAT. II	50,37	USD/h
Costo Total Mano de Obra	220,66	USD/postura

4.3.4 Costos materiales

Se considera los costos de los materiales de pernos MDX y placas puesto en mina.

Se deben considerar todos los costos asociados con los materiales necesarios para la instalación de los pernos MDX y las placas, incluyendo el precio de adquisición de los pernos y las placas, así como los gastos relacionados con su transporte y entrega en el sitio de la mina. Esto abarca el costo de compra de los materiales, los gastos de logística para su traslado desde el proveedor hasta el lugar de instalación, y cualquier otro gasto asociado con el manejo y almacenamiento de los materiales en la mina.

Tabla N°37: Costos materiales instalación pernos MDX

Costos Materiales		
Perno MDX 3,8 m + Placa	80,70	USD/U
Total Pernos MDX	1.129,80	USD/postura
Costo Total Materiales	1.129,80	USD/postura

4.3.5 Costos total instalación pernos MDX

Para una abertura estándar, se contempla la instalación de 14 pernos MDX distribuidos a lo largo de toda la intersección. A partir de esta configuración, se calcula el costo total de la instalación, que incluye todos los gastos asociados, tales como los materiales, mano de obra, y cualquier otro costo adicional relacionado con el proceso.

Tabla N°38: Costo total instalación pernos MDX

Costo Total Instalación MDX		
Costo Perforación + Instalación MDX	647,00	USD/postura
Costo Mano de Obra	220,66	USD/postura
Costo Materiales	1.129,80	USD/postura
Costo Total Instalación MDX	1.997,45	USD/postura

El costo total para la instalación de 14 pernos MDX de 3,8 m en corona de intersección es de USD1.997,45.

4.4 ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DE COSTOS

La sustitución de los pernos helicoidales por pernos MDX en labores de intersección genera impactos significativos en los costos operativos asociados, particularmente en lo referente a tiempos de instalación, requerimientos de mano de obra, consumo de materiales y eficiencia global del ciclo de fortificación. Con el fin de cuantificar de manera objetiva el impacto económico derivado de la implementación de cada tipo de anclaje, se realizó una estimación y proyección anual basada en los parámetros operativos vigentes en la “mina en estudio”.

Para este análisis se consideraron los siguientes supuestos operacionales, definidos en función de los registros históricos de producción y del estándar de fortificación aplicado en intersecciones:

- **Cantidad de pernos instalados por intersección:** 14 unidades
- **Intersecciones ejecutadas por semana:** 3 intersecciones
- **Intersecciones ejecutadas por mes:** 12 intersecciones
- **Intersecciones ejecutadas por año:** 144 intersecciones

4.4.1 Proyección costos mano de obra

Para estimar el costo proyectado de la mano de obra, se considera el costo de mano de obra para la instalación de los pernos helicoidales de 4,0 m y, pernos MDX, según lo

detallado en tablas N°29, 31 y 32 para el caso de los pernos helicoidales y tabla N°36 correspondiente a pernos MDX.

La tabla N°39 muestra la comparativa mensual y el ahorro anual acumulado.

Tabla N°39: Proyección costos mano de obra de pernos para intersección

Costos mano de obra			
Proyección	P.H 4,0 m	MDX 3,8 m	Ahorro
Mes 1	USD 17.355,47	USD 2.647,89	USD 14.707,58
Mes 2	USD 34.710,94	USD 5.295,78	USD 29.415,16
Mes 3	USD 52.066,40	USD 7.943,67	USD 44.122,73
Mes 4	USD 69.421,87	USD 10.591,56	USD 58.830,31
Mes 5	USD 86.777,34	USD 13.239,45	USD 73.537,89
Mes 6	USD 104.132,81	USD 15.887,34	USD 88.245,47
Mes 7	USD 121.488,27	USD 18.535,23	USD 102.953,05
Mes 8	USD 138.843,74	USD 21.183,12	USD 117.660,63
Mes 9	USD 156.199,21	USD 23.831,01	USD 132.368,20
Mes 10	USD 173.554,68	USD 26.478,90	USD 147.075,78
Mes 11	USD 190.910,15	USD 29.126,79	USD 161.783,36
Mes 12	USD 208.265,61	USD 31.774,67	USD 176.490,94

La figura N°59 muestra la evolución mensual de los costos asociados a la instalación de pernos de anclaje en intersecciones, diferenciando entre dos tipos: MDX y P.H, a lo largo de 12 meses. Además, se incluye una tercera serie que representa el ahorro acumulado resultante de la diferencia en los costos de instalación de ambos tipos de anclajes.

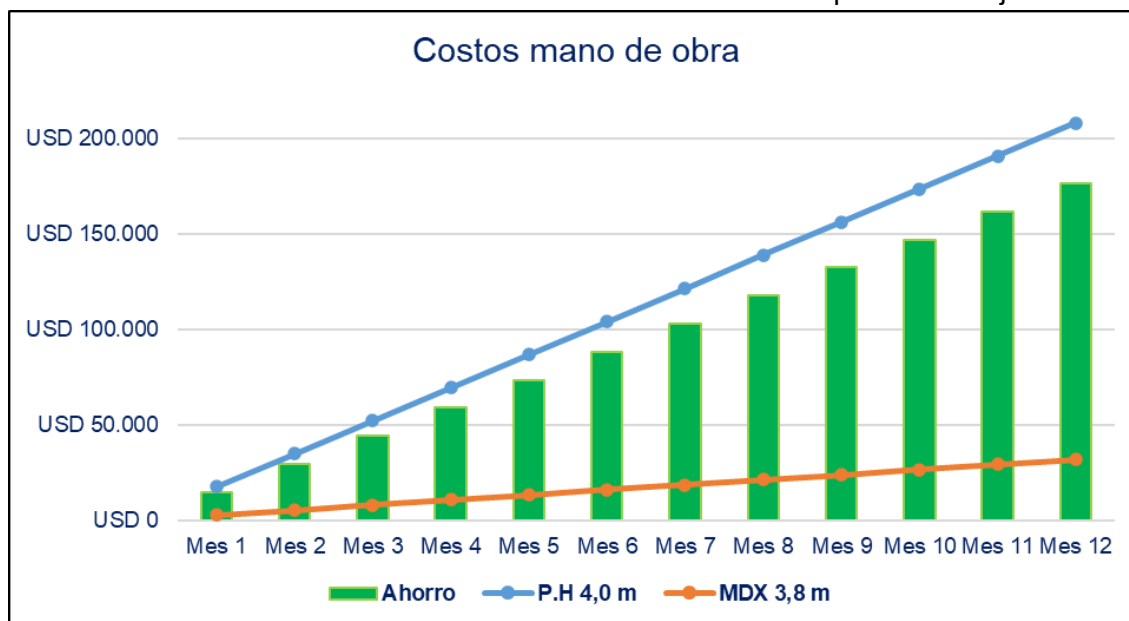


Figura N°59: Proyección costos mano de obra, instalación pernos en intersección

Para este caso, el costo de mano de obra proyectada representa un ahorro de USD176.490,94 a lo largo de un año calendario.

4.4.2 Proyección costos equipos

Para la determinación de los costos de equipo y su comparativa a lo largo del tiempo, se considera los costos de equipos utilizados para la instalación de pernos helicoidales, detallada en la tabla N°33 (se restan los costos de mano de obra y materiales) así como los costos asociados al equipo jumbo empleado en la instalación de pernos MDX, según tabla N°35.

Se presenta un cuadro de proyección mensual que muestra la diferencia de costos y el ahorro efectivo estimado a lo largo del periodo analizado.

Tabla N°40: Proyección costos equipos, pernos en intersección

Costos equipos			
Proyección	P.H 4,0 m	MDX 3,8 m	Ahorro
Mes 1	USD 9.763,70	USD 7.763,97	USD 1.999,73
Mes 2	USD 19.527,40	USD 15.527,93	USD 3.999,47
Mes 3	USD 29.291,10	USD 23.291,90	USD 5.999,20
Mes 4	USD 39.054,80	USD 31.055,86	USD 7.998,94
Mes 5	USD 48.818,51	USD 38.819,83	USD 9.998,67
Mes 6	USD 58.582,21	USD 46.583,80	USD 11.998,41
Mes 7	USD 68.345,91	USD 54.347,76	USD 13.998,14
Mes 8	USD 78.109,61	USD 62.111,73	USD 15.997,88
Mes 9	USD 87.873,31	USD 69.875,70	USD 17.997,61
Mes 10	USD 97.637,01	USD 77.639,66	USD 19.997,35
Mes 11	USD 107.400,71	USD 85.403,63	USD 21.997,08
Mes 12	USD 117.164,41	USD 93.167,59	USD 23.996,82

La figura N° 60, muestra la proyección resultante, el costo de equipo para instalación de MDX acumulada a un año calendario, para el caso de la utilización de anclajes helicoidales asciende a USD117,164,41, en contraste al equipamiento empleado para la instalación de MDX, dado en USD93.167,59, lo que proporciona un ahorro efectivo acumulado de USD23,996,82. En azul, se observa la tendencia acumulada de los costos de equipo empleado para el caso de los pernos helicoidales; en naranja los costos de equipos reflejados para el caso de la instalación de anclajes MDX y en verde la diferencia resultante.

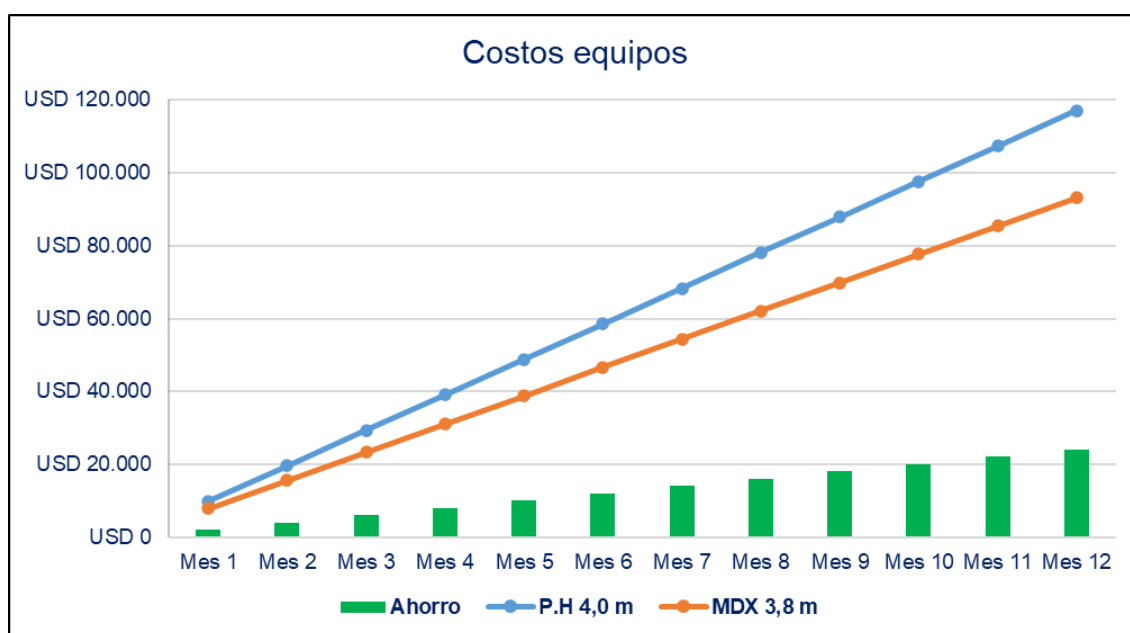


Figura N°60: Proyección costos equipos, instalación pernos en intersección

4.4.3 Proyección costos materiales

Para la estimación de los costos proyectados de materiales, se consideran los componentes necesarios para la instalación de pernos helicoidales, detallados en la tabla N°33, así como los materiales correspondientes a los pernos MDX, según lo indicado en tabla N°37.

Tabla N°41: Proyección costos materiales para intersección

Costos materiales			
Proyección	P.H 4,0 m	MDX 3,8 m	Diferencia
Mes 1	USD 3.626,40	USD 13.557,60	-USD 9.931,20
Mes 2	USD 7.252,80	USD 27.115,20	-USD 19.862,40
Mes 3	USD 10.879,20	USD 40.672,80	-USD 29.793,60
Mes 4	USD 14.505,60	USD 54.230,40	-USD 39.724,80
Mes 5	USD 18.132,00	USD 67.788,00	-USD 49.656,00
Mes 6	USD 21.758,40	USD 81.345,60	-USD 59.587,20
Mes 7	USD 25.384,80	USD 94.903,20	-USD 69.518,40
Mes 8	USD 29.011,20	USD 108.460,80	-USD 79.449,60
Mes 9	USD 32.637,60	USD 122.018,40	-USD 89.380,80
Mes 10	USD 36.264,00	USD 135.576,00	-USD 99.312,00
Mes 11	USD 39.890,40	USD 149.133,60	-USD 109.243,20
Mes 12	USD 43.516,80	USD 162.691,20	-USD 119.174,40

La figura N° 61 presenta la evolución mensual de los costos de materiales asociados a la instalación de pernos de anclaje MDX y P.H, a lo largo de 12 meses. También se incluye una tercera serie que representa la diferencia acumulada entre ambas alternativas.

La línea naranja muestra un incremento sostenido en los costos de materiales de MDX, mayor a los costos de materiales asociado a la instalación de pernos helicoidales, detallada en azul.

Las barras rojas, reflejan la diferencia mensual creciente, al optar por MDX frente a pernos helicoidales.

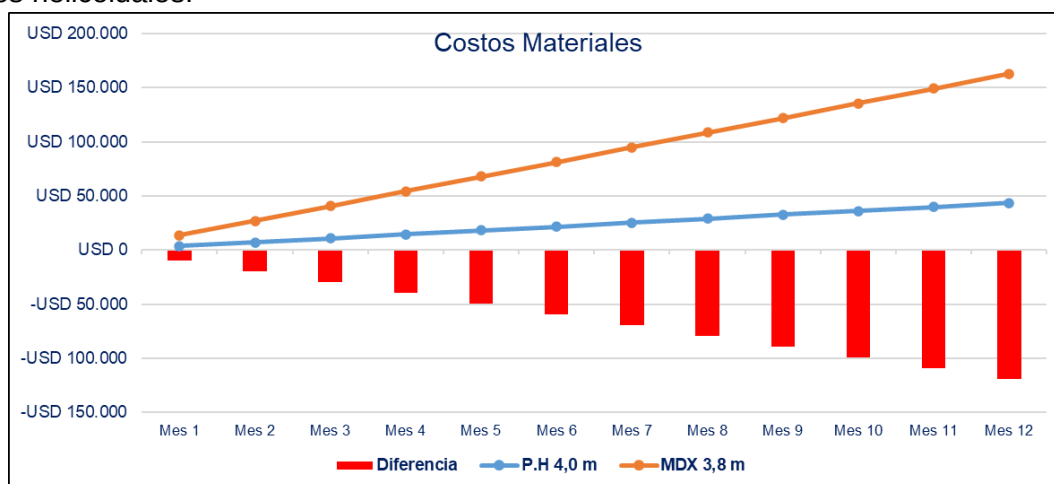


Figura N°61: Proyección costos materiales para instalación de pernos en intersección

4.4.4 Proyección costos de instalación

Teniendo en cuenta las consideraciones iniciales, los costos de instalación de intersección con pernos helicoidales de 4,0 m determinado en tabla N°33 y los costos de instalación con anclajes MDX 3,8 m, según tabla N°38, se estimó el costo de instalación en el plazo de un año calendario. Lo mismo se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla N°42: Proyección Costos de instalación en intersección

Proyección costos de instalación			
Proyección	P.H 4,0 m	MDX 3,8 m	Ahorro
Mes 1	USD 34.659,87	USD 23.969,46	USD 10.690,42
Mes 2	USD 69.319,74	USD 47.938,91	USD 21.380,83
Mes 3	USD 103.979,61	USD 71.908,37	USD 32.071,25
Mes 4	USD 138.639,49	USD 95.877,82	USD 42.761,66
Mes 5	USD 173.299,36	USD 119.847,28	USD 53.452,08
Mes 6	USD 207.959,23	USD 143.816,73	USD 64.142,49
Mes 7	USD 242.619,10	USD 167.786,19	USD 74.832,91
Mes 8	USD 277.278,97	USD 191.755,65	USD 85.523,32
Mes 9	USD 311.938,84	USD 215.725,10	USD 96.213,74
Mes 10	USD 346.598,71	USD 239.694,56	USD 106.904,16
Mes 11	USD 381.258,58	USD 263.664,01	USD 117.594,57
Mes 12	USD 415.918,46	USD 287.633,47	USD 128.284,99

La figura N°62 muestra la proyección de costos teniendo en cuenta el tipo de anclaje empleado y su diferencia mensual acumulada.

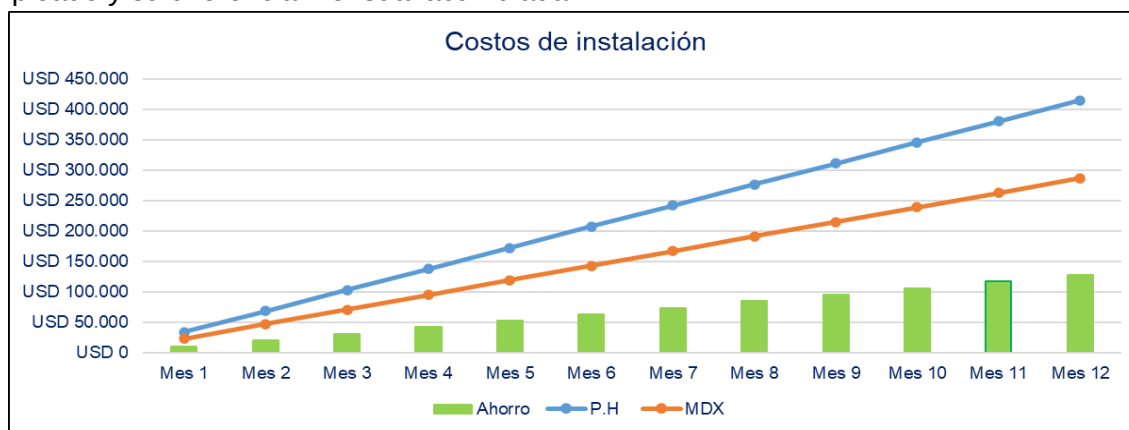


Figura N°62: Proyección costos de instalación pernos en intersección

4.4.5 Proyección Tiempo de instalación

Para determinar el impacto en el tiempo de instalación del estándar para intersecciones, se toma como referencia los tiempos comprendidos en la tabla N°22, 23 y 24 para pernos helicoidales de 4,0 m y tabla N°34 correspondiente a tiempos de instalación de MDX 3,8 m.

Tabla N°43: Proyección tiempos de instalación pernos en intersección

Proyección tiempo de instalación (h)			
Proyección	P.H 4,0 m	MDX 3,8 m	Ahorro
Mes 1	66	24	42
Mes 2	132	48	84
Mes 3	198	72	126
Mes 4	264	96	168
Mes 5	330	120	210
Mes 6	396	144	252
Mes 7	462	168	294
Mes 8	528	192	336
Mes 9	594	216	378
Mes 10	660	240	420
Mes 11	726	264	462
Mes 12	792	288	504

La figura N°63, detalla en azul el tiempo acumulado para la instalación de pernos helicoidales en el lapso de un año. De igual manera, para el caso de los tiempos de instalación de los pernos para intersección mediante MDX, se puede observar en línea naranja.

La diferencia de tiempo se detalla en el gráfico de barra verde, lo que comprende el ahorro efectivo acumulado anual de 504 h, es decir, 21 días totales a lo largo de un año calendario.

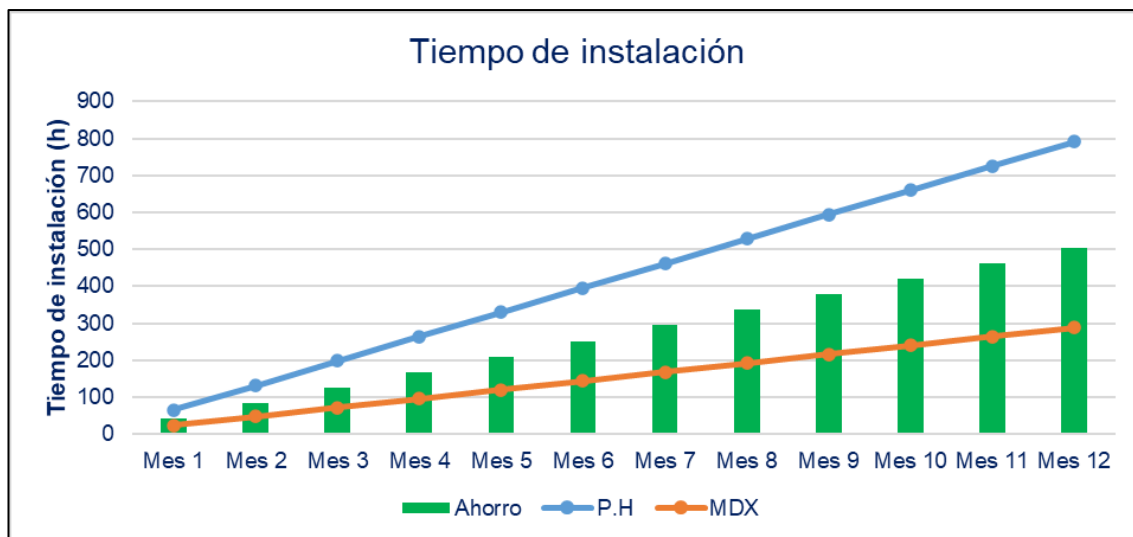


Figura N°63: Tiempo de instalación pernos en intersección

4.4.6 Proyección stock pernos para intersecciones

La modificación del tipo de anclaje en el estándar de sostenimiento para intersecciones de labores en corona impacta directamente en la gestión del stock de materiales, generando una disminución del stock de pernos helicoidales de 4,0 m y aumentando el requerimiento de pernos MDX de 3,8 m, en el tiempo, para lograr el cumplimiento del estándar de intersecciones.

Consideraciones para la proyección del stock mínimo de anclajes para intersecciones:

Stock mínimo pernos helicoidales 4,0 m: 10% de pernos helicoidales de 4,0 m, como stock mínimo requerido para superar cualquier inconveniente operacional que existe en el proceso de instalación en corona de intersecciones.

Stock mínimo pernos MDX 3,8 m: Se adiciona un 5% al stock proyectado por imprevistos, errores de instalación y otras contingencias.

La estimación del stock se realiza tomando como referencia el cuadro de proyección de intersecciones, considerando la demanda anual y ajustando los niveles mínimos de inventario para garantizar la continuidad operativa y evitar tanto la escasez como el exceso de materiales.

Tabla N°44: Proyección stock pernos para intersección

Proyección stock pernos para intersección		
Proyección	MDX 3,8 m	P.H 4,0 m
Mes 1	176	202
Mes 2	353	202
Mes 3	529	202
Mes 4	706	202
Mes 5	882	202
Mes 6	1.058	202
Mes 7	1.235	202
Mes 8	1.411	202
Mes 9	1.588	202
Mes 10	1.764	202
Mes 11	1.940	202
Mes 12	2.117	202

La figura N°64 muestra el incremento en el consumo de pernos MDX de 3,8 m requerido para las intersecciones, proyectando un total de 2.117 unidades al finalizar el año calendario. En contraste, para los pernos helicoidales de 4,0 m, se mantiene un stock mínimo de seguridad constante de 202 unidades, asegurando así la disponibilidad ante cualquier eventualidad operativa.

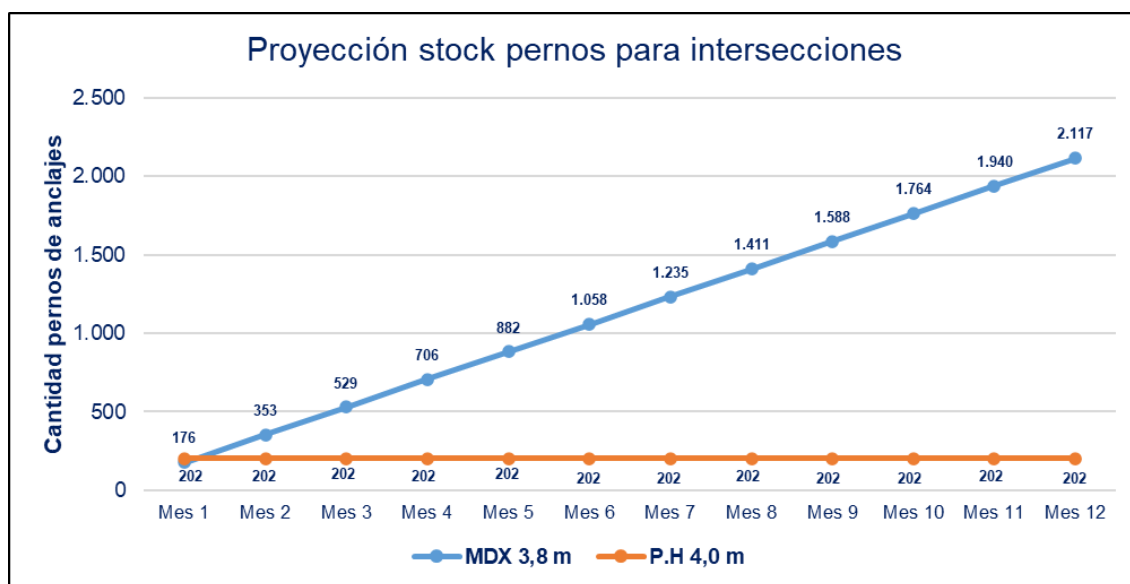


Figura N°64: Proyección stock pernos para intersección.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalizadas las pruebas de instalación en campo, los ensayos de arranque y la evaluación económica de la instalación de pernos tipo MDX en corona de intersecciones, se procedió a detallar los resultados de la evaluación técnica-económica

A partir de los ensayos pull test realizados tanto a pernos helicoidales de 4,0 m como a pernos MDX de 3,8 m, instalados en macizos rocosos de calidad similar (agrupados en tres categorías: buena, regular y mala), se analizaron las gráficas correspondientes para evaluar el comportamiento de ambos sistemas de anclaje.

Este análisis permitió describir las ventajas y desventajas de cada variable considerada en la evaluación de costos y beneficios, así como el costo de oportunidad asociado a la sustitución del perno helicoidal de 4,0 m por el anclaje MDX de 3,8 m.

5.1. COMPORTAMIENTO DE ANCLAJES EN CALIDAD DE MACIZO ROCOSO BUENO

En el caso de macizos rocosos de buena calidad, el comportamiento de los pernos helicoidales muestra una tendencia lineal, con una dispersión mínima entre los ensayos. Se alcanza la carga de diseño de 18 toneladas con desplazamientos que no superan los 28,10 mm, como se observa en la figura N°65 mediante las líneas verdes.

Por otro lado, las líneas azules representan los resultados de los pernos MDX ensayados bajo las mismas condiciones de calidad de roca. En este caso, se aprecia una mayor dispersión entre los valores de desplazamiento, lo que responde a la naturaleza y el funcionamiento específico de este tipo de anclaje. Aunque los pernos MDX presentan una mayor variabilidad para alcanzar la carga mínima requerida de 18 toneladas, logran este objetivo con un desplazamiento máximo de 36,88 mm.

Los pernos helicoidales, al tratarse de anclajes de adherencia, requieren menos desplazamiento para alcanzar la carga de diseño en comparación con los pernos MDX. Las gráficas de ambos sistemas describen una tendencia lineal, con desplazamientos mínimos, reflejando el correcto funcionamiento de los anclajes instalados en terrenos de buena calidad.

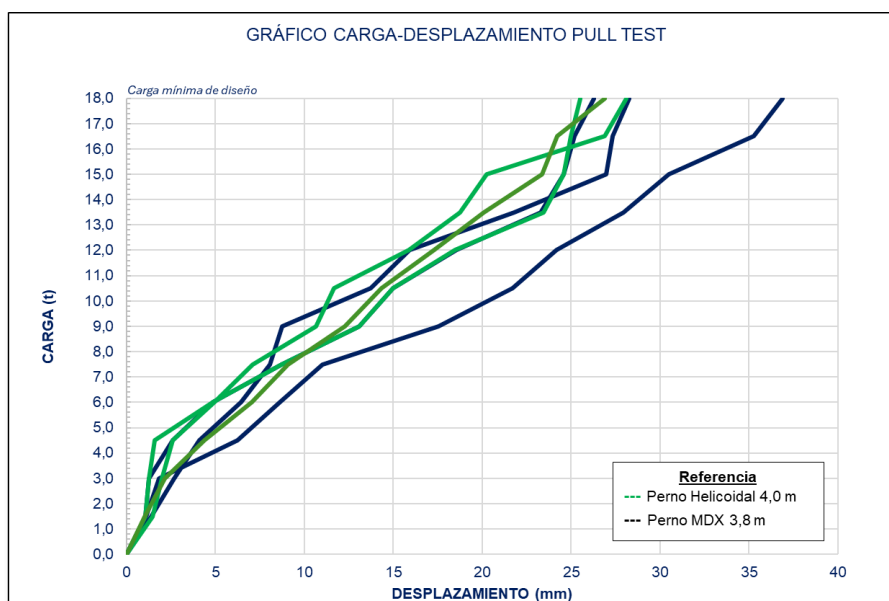


Figura N°65: Gráficas pull test, calidad de roca buena

5.2. COMPORTAMIENTO DE ANCLAJES EN CALIDAD DE MACIZO ROCOSO REGULAR

En el caso de macizos rocosos de calidad regular, los pernos helicoidales ensayados a tracción (representados en color naranja) alcanzaron la carga de diseño de 18 toneladas con desplazamientos comprendidos entre 31,38 mm y 41,70 mm. Estos resultados muestran una mayor dispersión respecto a los obtenidos en macizos de buena calidad geomecánica.

Por su parte, los pernos MDX lograron la carga de ensayo de 18 t con desplazamientos que oscilaron entre 50,19 mm y 83,71 mm. Las líneas azules en la gráfica describen la trayectoria de cada medición, evidenciando una tendencia escalonada: a medida que aumentan las solicitudes, el desplazamiento absoluto del anclaje disminuye, debido al efecto del mecanismo de anclaje mecánico.

La comparación entre ambos tipos de anclaje refleja una mayor dispersión en los resultados de los pernos MDX, en contraste con las líneas de los pernos helicoidales, que tienden a mostrar gráficas lineales más acotadas.

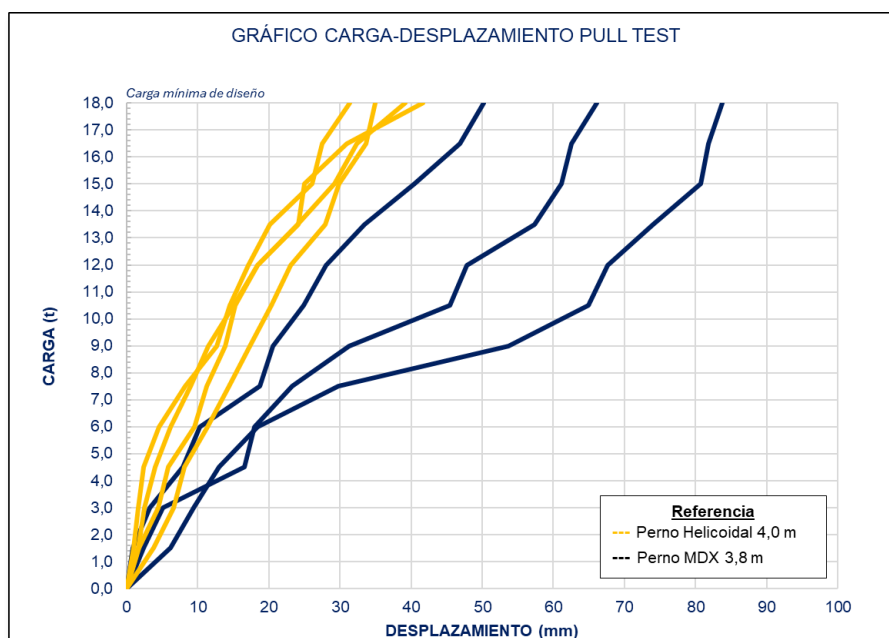


Figura N°66: Gráfica pull test. Calidad de roca regular

5.3. COMPORTAMIENTO DE ANCLAJES EN MACIZOS DE MALA CALIDAD.

En el caso de los anclajes instalados en macizos rocosos de mala calidad, las líneas rojas representan los resultados de los ensayos realizados con pernos helicoidales, mientras que las líneas azules corresponden a los anclajes MDX. Para los pernos helicoidales, se observa una mayor variabilidad en los resultados, aunque mantienen una tendencia lineal. La carga de diseño se alcanzó con desplazamientos comprendidos entre 55,59 mm y 63,64 mm.

Por su parte, los pernos MDX muestran un comportamiento notablemente diferente entre anclajes, logrando la carga de diseño con desplazamientos que oscilan entre 44,56 mm y 94,53 mm, debido a la combinación de mecanismos de empotramiento y fricción que caracterizan este tipo de anclaje.

En ambos casos, tanto para los pernos helicoidales como para los MDX, se alcanzó la carga de tracción de 18,0 t, aunque los pernos MDX presentaron mayores desplazamientos, tal y como se indica en la figura N°67 correspondiente.

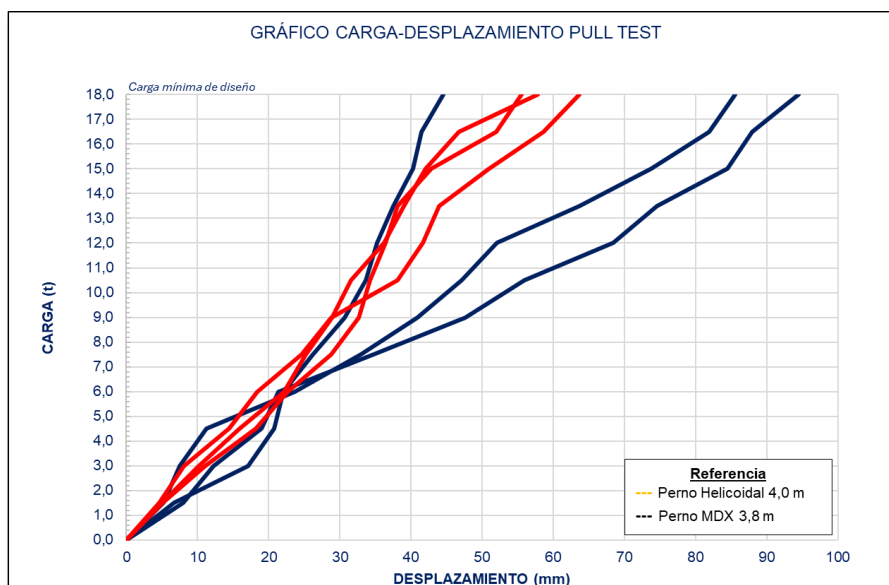


Figura N°67: Gráfica pull test. Calidad de roca mala

5.4 TIEMPO DE INSTALACIÓN

El principal beneficio se refleja en el ahorro de tiempo de instalación, ya que la colocación de pernos MDX se realiza en una única etapa, a diferencia de las tres etapas requeridas para la instalación de pernos helicoidales.

La instalación de pernos helicoidales implica tiempos muertos entre cada etapa de instalación, lo que representa una desventaja en términos de eficiencia operativa.

El reemplazo del anclaje helicoidal por el sistema MDX supone un ahorro del 63,6 %. Considerando un horizonte anual, este ahorro se traduce en al menos 21 días menos de trabajo a lo largo de un año calendario.

5.5 COSTOS EQUIPOS

Los costos de equipos, se detectó un ahorro de 20,5% en la instalación de pernos MDX para intersección, esto se debe a la diferencia que presenta el empleo de 1 equipo para la instalación de MDX, respecto a los 3 equipos requeridos para la instalación de pernos helicoidales.

5.6 COSTOS MATERIALES

El costo de materiales de pernos helicoidales presenta una ventaja económica, frente a cantidad económica de pernos MDX, lo mismos, se debe a un aumento del 373,9 % de diferencia, principalmente por el costo del conjunto pernos MDX y placa galvanizada.

5.7 COSTOS MANO DE OBRA

Se observa un beneficio en la mano de obra al cambiar el anclaje de pernos helicoidales a MDX, el impacto se refleja principalmente a la optimización que presenta la instalación de pernos MDX en una única etapa, lo que disminuye la mano de obra necesaria y especializada para ejecutar la instalación de pernos MDX a Operador y ayudante DD. Lo

que permite liberar el resto de las cuadrillas en tareas de lechado y ajuste de placas, para ejecutar tareas del ciclo vinculadas a la mejora operativa y optimización de avance.

Se observa un ahorro del 84,7% respecto a la instalación de pernos helicoidales.

5.8 IMPLEMENTACIÓN PERNOS MDX 3,8 M

La figura N°68 muestra todas las variables evaluadas en las etapas técnica y económica, y permite observar que la sustitución de los anclajes helicoidales lechados por pernos MDX genera beneficios tanto económicos como operativos. Aunque el coste unitario del anclaje MDX es superior al del perno helicoidal, el ahorro significativo en mano de obra minera, en costos de equipos y en el tiempo de instalación hace que su implementación resulte ventajosa. En conjunto, estos factores justifican el beneficio de optar por la sustitución.

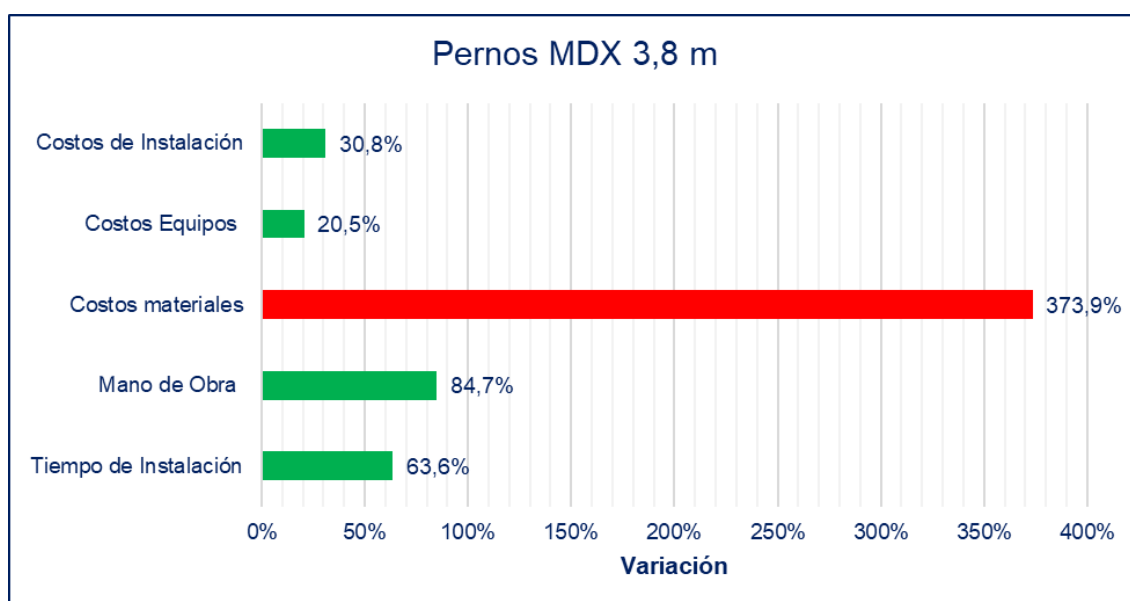


Figura N°68: Beneficios total de instalación de pernos MDX vs Helicoidales en intersección

CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSIONES

- Según el criterio de RMR de Bienawski, la calidad de la roca en los sectores evaluados varía entre Roca Buena (RMR= 36), Regular (RMR= 26) y Mala (RMR= 20), y, conforme el criterio de GSI, se identificaron tres categorías de calidad de roca: F2, F3 y F4, que abarcan desde roca competente hasta roca muy fracturada.
- Se mantuvieron los estándares de fortificación establecidos por la empresa, así como el patrón geométrico de 2,0 m x 2,0 m, dado que esta configuración favorece una adecuada distribución de cargas y optimiza la capacidad de soporte del macizo, garantizando la estabilidad estructural de la excavación.
- Se ensayaron un total de 23 pernos MDX, con diámetros de 47 mm y 39 mm, y longitud 2,4 m y 3,0 m. En todos los casos, los pernos de 3,0 m de longitud y 47 mm de diámetro, correctamente instalados, superaron las pruebas de tracción, alcanzando una carga mínima de 18 toneladas, valor establecido por la empresa para garantizar la confiabilidad del anclaje.
- La perforadora (drifter) debe operar dentro de un rango de torsión de 350 a 450 Nm, correspondiente a una presión de 170 a 180 bar. Un torque inferior a 300 Nm (135 bar de presión) comprometería la capacidad de anclaje del perno, mientras que un torque superior a 500 Nm (225 bar de presión) podría provocar un apriete excesivo, incrementando el riesgo de rotura del perno o de sus componentes, lo que pondría en riesgo la estabilidad del sistema de soporte.
- Las simulaciones realizadas con el software Unwedge revelaron que la zona más comprometida en términos de estabilidad es la corona, particularmente en las áreas de intersección de las labores. El análisis mostró factores de seguridad bajos, con valores inferiores a 1, lo que indica la inestabilidad de las cuñas formadas. No obstante, tras la aplicación de los sistemas de sostenimiento, se observó un aumento en los factores de seguridad alcanzando 2,29, lo cual valida que el diseño de sostenimiento empleado es adecuado para garantizar la seguridad del personal y los equipos que operan en estas áreas.
- En conjunto, los ensayos muestran que la calidad del macizo rocos influye directamente en el desplazamiento y la dispersión de resultados para ambos tipos de anclaje. En roca de buena calidad, los pernos helicoidales y MDX presentan respuestas lineales con desplazamientos reducidos, siendo más acotados en los helicoidales. En macizos de calidad regular y mala, los desplazamientos aumentan y la variabilidad se intensifica, especialmente en los pernos MDX debido a su mecanismo de anclaje mecánico.
- El costo unitario del perno MDX es superior en comparación con el perno helicoidal (USD 162,691.20 MDX vs USD 43,516.80 PH), sin embargo, el análisis del ciclo completo de fortificación demuestra que la reducción en costos operativos puede alcanzar hasta un 374%, debido a la mayor eficiencia de instalación y la disminución del tiempo total del proceso.
- La instalación de pernos MDX genera un ahorro del 84,7% del personal (USD 31,776.67 MDX vs USD 208,265.61 PH), ya que se ejecuta en una única etapa, y requiere solo una cuadrilla compuesta por un operador y ayudante.



- La implementación del perno MDX se observa una reducción del 20,5% (USD 93,167.59 MDX vs USD117,164.41 PH) en el uso de equipos, ya que no es necesario emplear el manitou y la lechadora durante el proceso de instalación
- El tiempo de instalación de los pernos helicoidales (792 hs) es un 64% mayor que para los MDX (288 hs) debido a las múltiples etapas del proceso, lo que genera tiempos muertos no productivos.
- Del análisis de los costos anuales, se determina que la implementación de pernos MDX representa un ahorro de USD 128.284,99, equivalente a un 30,8%, ya que el costo anual de instalación de pernos helicoidales (USD 415.915,46) es superior al de los pernos MDX (USD 287.633,47).
- El uso de los pernos MDX no solo optimiza los tiempos de instalación, al requerir una sola etapa frente a las tres etapas necesarias para los pernos helicoidales con aglutinante de cemento, sino que también reduce los riesgos de exposición del personal a las condiciones inestables del macizo rocoso. Además, el sistema ofrece versatilidad operativa al utilizar un jumbo operativo con un equipo reducido, lo que disminuye los tiempos improductivos y mejora la eficiencia del ciclo de avance.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda modificar el estándar de intersecciones, sustituyendo el anclaje helicoidal de 4,0 m por pernos MDX de 3,8 m en terrenos de buena, regular y mala calidad geomecánica, dado que el análisis realizado ha demostrado un funcionamiento favorable conforme a los requisitos de seguridad de la empresa.
- Realizar un seguimiento periódico de las condiciones operativas de la flota de equipos DD, para asegurar que las presiones de rotación indicadas por el fabricante se mantengan durante la instalación del MDX.
- Impartir capacitaciones periódicas al personal minero para que conozcan este nuevo tipo de anclaje, considerando que implica la sustitución del perno helicoidal en el estándar de intersecciones.
- Continuar con el estudio del rendimiento de los pernos MDX en macizos rocosos de calidad extremadamente mala, ya que las características plásticas y deformables del terreno podrían influir en el comportamiento del anclaje mecánico del MDX.
- Mantener actualizada la base de datos de propiedades mecánicas de las rocas, ya que la información disponible data del año 2.019. Se recomienda actualizar estos datos para disponer de información más representativa de las labores actuales.



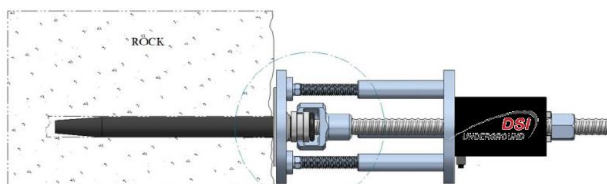
BIBLIOGRAFÍA

- Plan de manejo y control de terreno, Cerro Negro, año 2.019.
- Evaluación de viabilidad pernos MDX, Cerro Negro, año 2.019.
- Estándar de fortificación para labores subterráneas, Cerro Negro, año 2.018.
- Procedimiento de avance de labores horizontales 2.019, Cerro Negro, año 2.019.
- Procedimiento de instalación de fortificación para desarrollo, Cerro Negro, año 2.019.
- Parte diario de laboratorio de concreto, Cerro Negro, año 2.019.
- Procedimiento ensayos pernos mediante equipo pull test, Cerro Negro, año 2.019.
- Apuntes cátedra Mecánica de rocas. Universidad Nacional de Catamarca.
- Apuntes de cátedra Explotación de minas I, Universidad Nacional de Catamarca.
- Apuntes de cátedra Explotación de minas II, Universidad Nacional de Catamarca.
- Apuntes de cátedra Electiva I: Diseño de mina subterránea, Universidad Nacional de Catamarca.
- Manual de usuario Unwedge, Rocscience, año 2.019.
- Manual de usuario Dips. Rocscience. año 2.019.
- Manual de usuario Deswik.CAD, año 2.019.
- Excavaciones subterráneas en roca. E. Hoek-E.T. Brown.
- Catálogo de Productos para Minería y Túneles. DSI underground, Año 2.019.

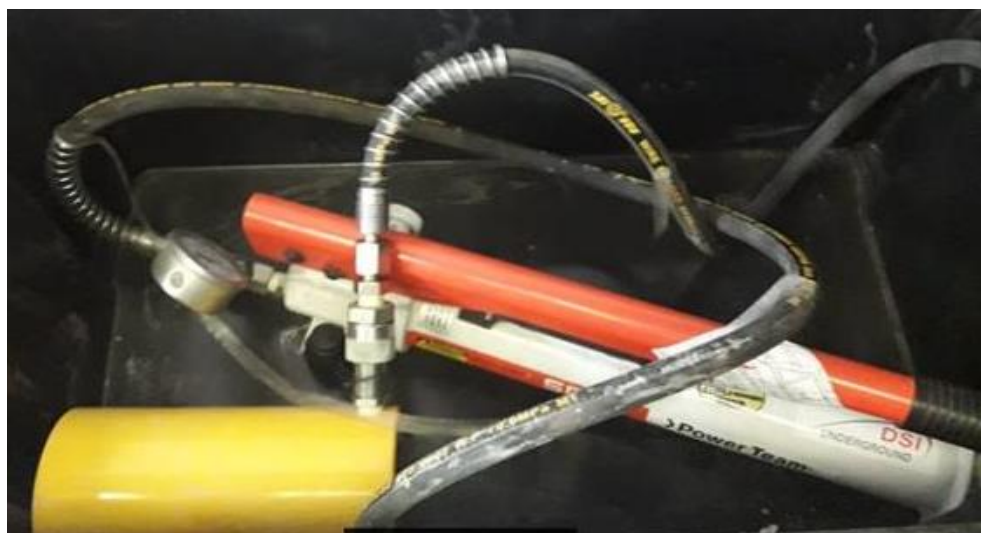


ANEXO

ANEXO N°1: Equipo pull test



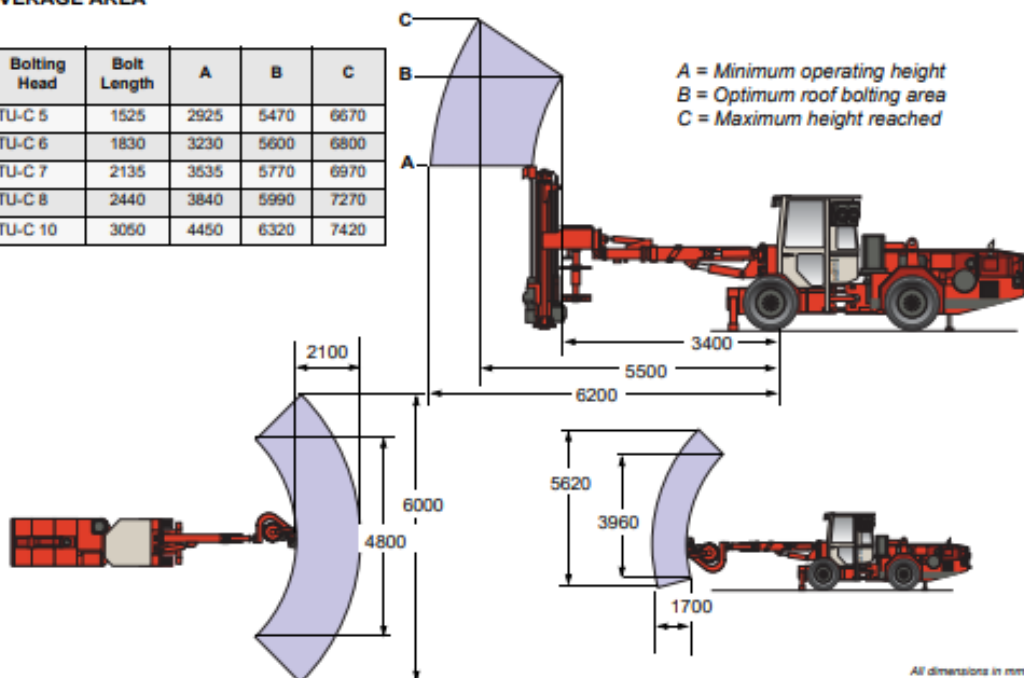
Montaje típico de equipo Pull test con collarín
(Accesorios no incluidos)



ANEXO N°2: Equipo de fortificación DS311

COVERAGE AREA

Bolting Head	Bolt Length	A	B	C
TU-C 5	1525	2925	5470	6670
TU-C 6	1830	3230	5600	6800
TU-C 7	2135	3535	5770	6970
TU-C 8	2440	3840	5990	7270
TU-C 10	3050	4450	6320	7420



All dimensions in mm

HYDRAULIC ROCK DRILL

Technical Specification 2_100 S

Rock Drill	H200
Percussion power	10 kW
Percussion pressure	140 - 200 bar
Percussion rate	40 - 65 Hz
Rotation speed	0...300 rpm
Rotation torque	420 Nm
Hole size	33 - 41 mm
Recommended rod	R32 - R25
Shank adapter	R32 Female
Weight	95 kg
Flushing water pressure	15 bar
Shank lubrication	SLU, CT10; Air /oil mist
Compressor capacity	1m³/min (7 bar)
*Rotary drilling	RHR50

BOOM

Technical Specification 8_403 S

Boom type	B26 XLB
Boom extension	1700mm
Rotation angle	360°
*Cylinder rods	Harsh water

BOLTING HEAD

Technical Specification 8_500 S

Bolting head type	TUC
Feed Force	10 kN
Bolt cassette capacity	From 9 to 15 bolts

*DRILLING OPTIONS

*Bolting alternatives	GCR, GCC, Wt, S systems
*In the hole resin injection	For GCR bolting system
*H200 rockdrill i/o HH200 impactor	For S bolting system
*Screen handler	Spec 8_408 S
*Rod retainer for temporary extension drilling	Not compatible with GCR system

*CLEANING SYSTEMS

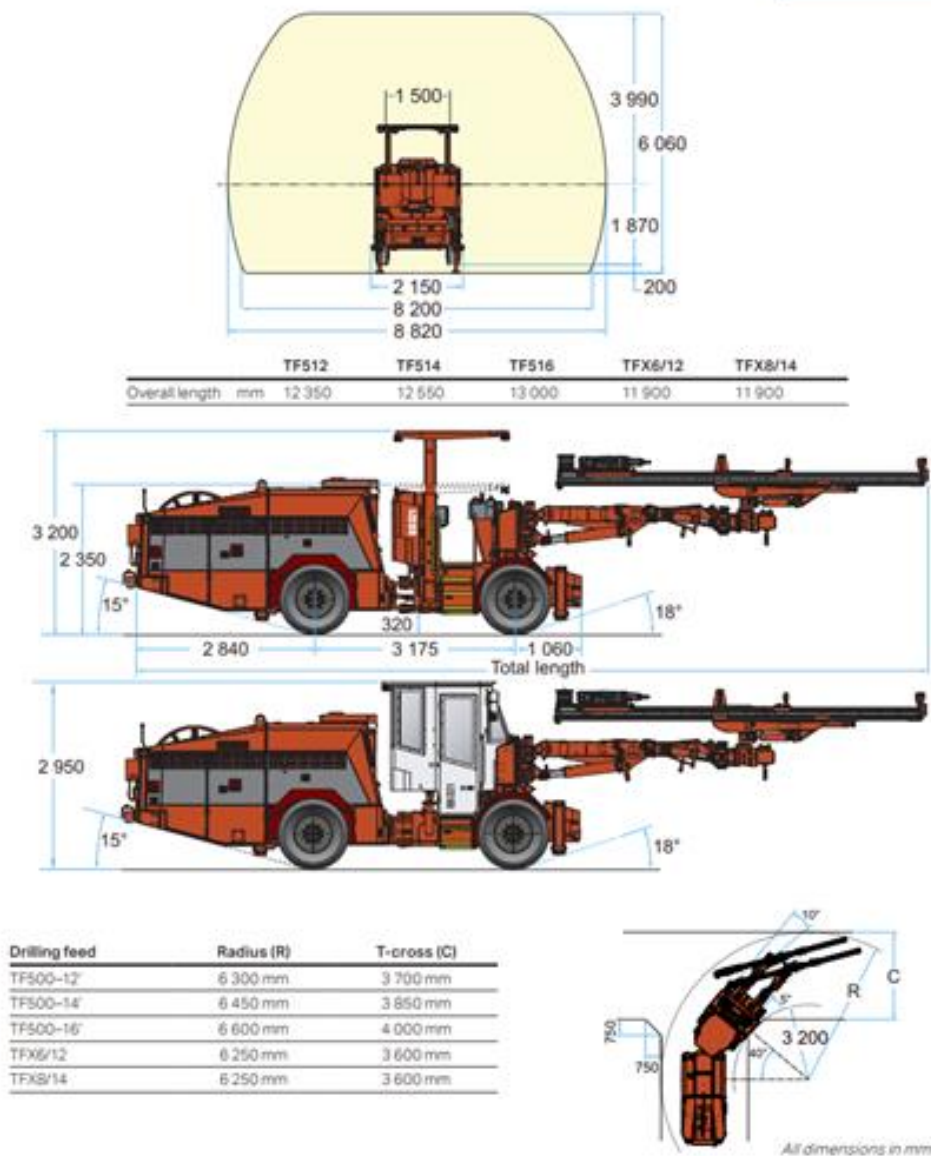
*High pressure cleaning system with reel	180 bars
*Pressure cleaning system with reel	11 bars additional to mine water network, max 18 bars.

*GREASING SYSTEMS AND *OPTIONS

*Greasing unit with pump, reel and nozzle	Manual
*Centralized greasing nipples (carrier)	Remoted and centralized carrier greasing nipples

*Optional features/components

ANEXO N°3: Equipo de perforación DD321



Sandvik Mining and Rock Solutions reserves the right to make changes to the information on this data sheet without prior notification to users. Please contact a Sandvik representative for clarification on specifications and options.

ROCKTECHNOLOGYSANDVik

4. SANDVIK DD321 - DEVELOPMENT DRILL

TS2-126-08-6 NUNMETRIC © Sandvik Mining and Rock Solutions 2021 SAMDRK is a registered trademark owned by Sandvik Intellectual Property AB in Sweden and other countries.

ANEXO N°4: Equipo manipulador telescópico

MT-X 1235 ST	
Elevación	
Capacidad de elevación máx.	3500 kg
Altura de elevación máx.	12.00 m
Alcance a altura máx.	1.20 m
Fuerza de arranque con cuchara	7000 daN
Tiempo sin carga	
Subida	10.6 s
Descenso	7.7 s
Salida telescópico	22.3 s
Entrada telescópico	11.6 s
Volteo	4.1 s
Descarga	3.3 s
Neumáticos	400/80-24
Frenado	freno hidráulico multidisco en baño de aceite en los puentes posterior y anterior
Motor	PERKINS
Tipo	1104D-44 TA
Cilindrada	4400 cm ³
Potencia	101 cv/74.5 kW
Par máx.	410 Nm - 1400 rev/min
Inyección	directa
Refrigeración	por agua
Esfuerzo de tracción con carga	9540 daN
Transmisión	convertidor de par
Inversor de marcha	pedal electrodinámico
Número de relaciones (delanteras/trasera)	4/4
Velocidad de desplazamiento máx. (puede cambiar según la reglamentación aplicable)	27 km/h
Hidráulica	
Bomba	por engranaje con divisor de débito 106 l/min - 260 bar
Depósitos	
Aceite hidráulico	120 l
Carburante	135 l
Peso sin carga (con horquillas)	9210 kg
Dimensiones	
1. Centro rueda delantera a tablero	1.77 m
2. Distancia al suelo	0.45 m
3. Longitud a las ruedas delanteras	4.39 m
4. Ancho de batalla	2.77 m
5. Centro rueda trasera a final chasis	1.05 m
6. Anchura total de cabina	0.95 m
7. Ancho de centro ruedas	1.99 m
8. Anchura total	2.40 m
9. Anchura total (estabilizadores abajo)	2.32 m
10. Altura total	2.58 m
Radio de giro exterior	4.16 m
Giro de tablero (llenado/vaciado)	12°/112°
Ruidos y vibraciones	
Ruido en el puesto de conducción (L _{90A})	78 dB
Ruido en el entorno (L _{90A})	106 dB
Vibración en el conjunto manos/brazos	<2.5 m/s ²
Vibración en el cuerpo del conductor	1.2 m/s ²



ANEXO N°5: Lechadora hidráulica



Imagen anterior es referencial

Otras Características

- ✓ Palanca de mando.
- ✓ Paletas para agitar/mezclar incorporadas al recipiente.

Usos

- ✓ Mezclado e inyección de cables y pernos de anclaje para soporte de rocas.
- ✓ Mezclado e inyección de pernos autoperforantes.

Es un equipo que permite mezclar, bombear y proyectar la lechada de cemento. Ampliamente usado en minería y obras civiles producto que es de operación sencilla y segura.

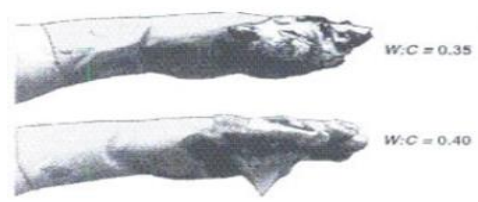
Especificaciones Técnicas	
Caudal	3300 L/hrs
Presión de Bombeo	Máx. 25 Bar
Tipo de bomba	Pistón simple Efecto de cambio automático
Longitud máxima de bombeo	50 metros
Relación Agua/ Cemento	Mínimo 0,3
Caudal de entrada de entrada	45 lt/min
Granulometría maxima	2,5 mm
Accionamiento	Motor hidráulico de alto torque velocidad regulable.
Largo- Ancho-Alto	1500-700-1350 (mm)
Capacidad Tolva	140 litros (5 sacos de cemento W/C 0,5)
Peso Total	200 Kg aprox.

ANEXO N°6: Preparación lechada cementada

Mortero mezcla de agua y cemento con una relación A/C: 0,35, empleada para rellenar el espacio anular entre la perforación y el perno, cumple la función de anclaje de pernos y cables al interior del macizo y a su vez sirve para dar resistencia estática y dinámica al sistema de soporte que es transferido a través de la lechada.

A la lechada se le puede adicionar aditivos para mejorar aspectos de fraguado y trabajabilidad.

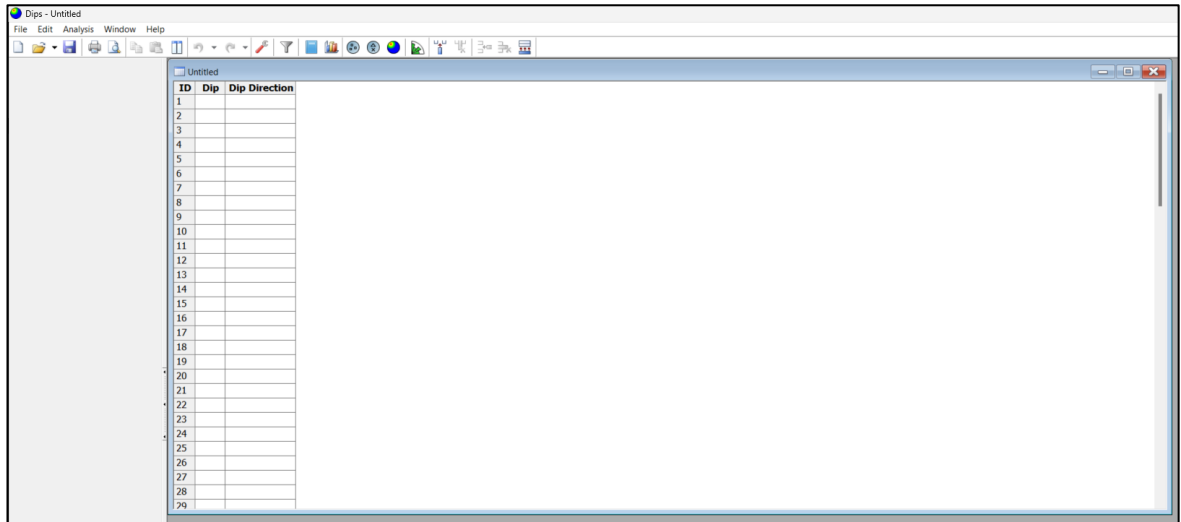
Razón agua / cemento = 0,35		
Agua	20	Litros
Cemento	57	Kg

CARACTERISTICAS	CONTROL
Razon agua/cemento :0.35	Analisis visual 
Almacenamiento del cemento	sacos separado a 15 cm del piso y separado de paredes, cubiertos con manta plastica para evitar el humedecimiento de este.
Instalacion de la Lechada	equipos (lechadora y recipientes) limpios. Los recipientes deben estar aforados para la correcta medicion de agua y aditivos. Se debe lavar las perforaciones con agua a presion. Mezclar los componentes de la lechada de forma lenta para obtener una lechada uniforme y trabajable.

Elemento	Longitud anclaje	Resistencia Compresion Minima (Kg/cm2)
Perno (22mm diametro) Seccion=3.8cm2 Tension Rotura min=4400kg/cm2	100	7.1
	40	17.74
Cable (15.24mm diametro) Seccion=1.8cm2 Tension Rotura min=18989kg/cm2	200	7.35
	70	20.99

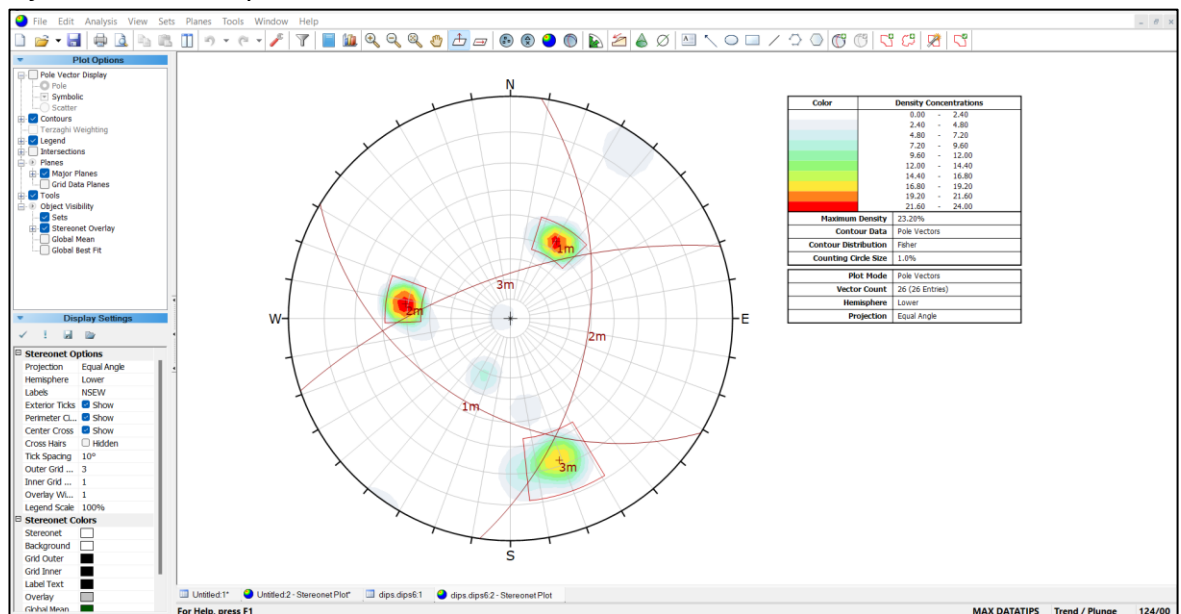
ANEXO N°7: Aplicación Software Dip V6.0

Abro el software, voy “file”, “new”, se abre una planilla de cálculo donde copio y pego la información estructural dip/dipdirection en el campo correspondiente.



Para visualizar el estereograma, voy a “view”, “contour plot” y me muestra la representación gráfica de las estructuras cargadas.

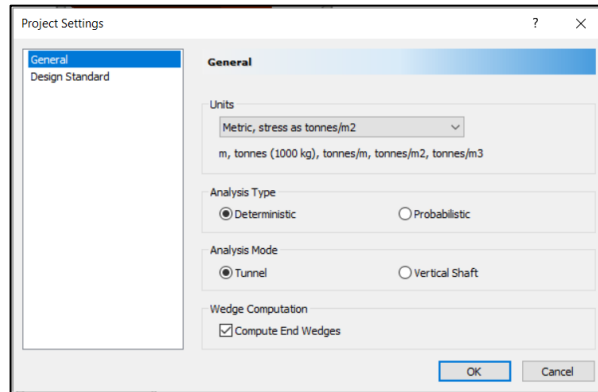
Para seleccionar las zonas o familias voy a “add set windows” y selecciono los sectores con mayor densidad de polos.



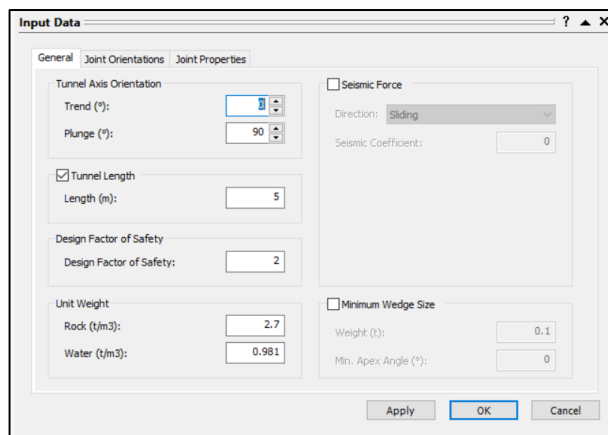
ANEXO N°8: Aplicación Software Unwedge V5.1

Abro el software Unwedge, importo topografía, “file”, “import”, “import DXF”, y selecciono el archivo que contiene la polilínea de la labor.

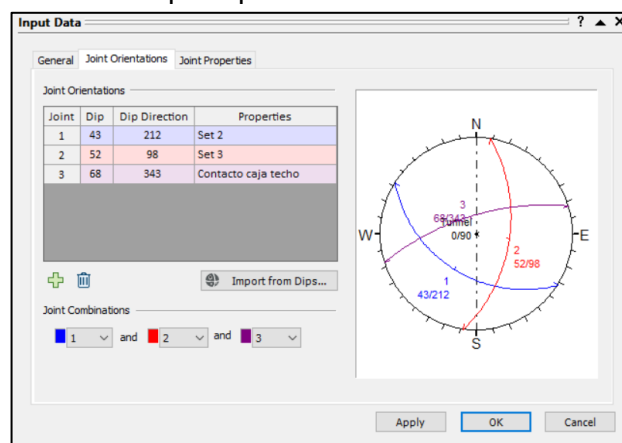
Para configurar el proyecto, selecciono “analysis”, “project setting”, “general” donde se selecciona las unidades “m, Tonnes, Tonnes/m³”, tipo de análisis “deterministic”, modo de análisis “Tunnel” y cálculo de cuña se tilda la casilla “Compute End Wedge”



“analysis”, “Input data”, “General”, en orientación del eje del túnel. “trend 0°”, “Pluge 90°” (ya que vamos a trabajar en 3D), esto permite rotar la topografía para dibujar la intersección, a su vez, se tilda casilla “tunnel length” y coloca 5 m. El factor de seguridad se configura a 2, densidad de roca 2,7 t/m³.

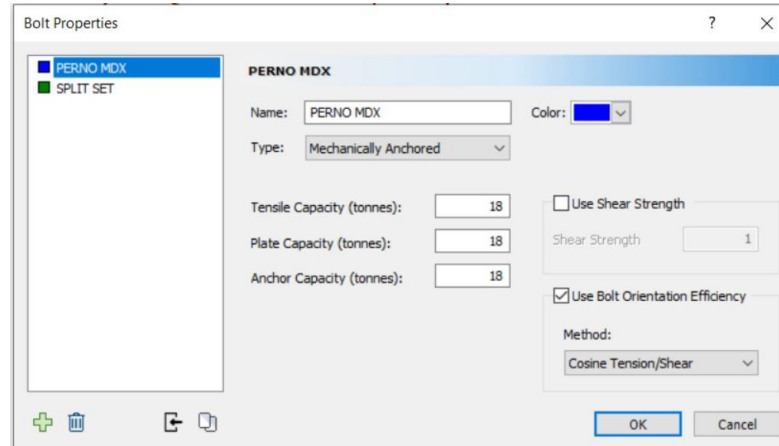


En la casilla “joint orientations” colocho la información determinada desde estereograma Dips, se ingresa los valores de los 3 set principales.



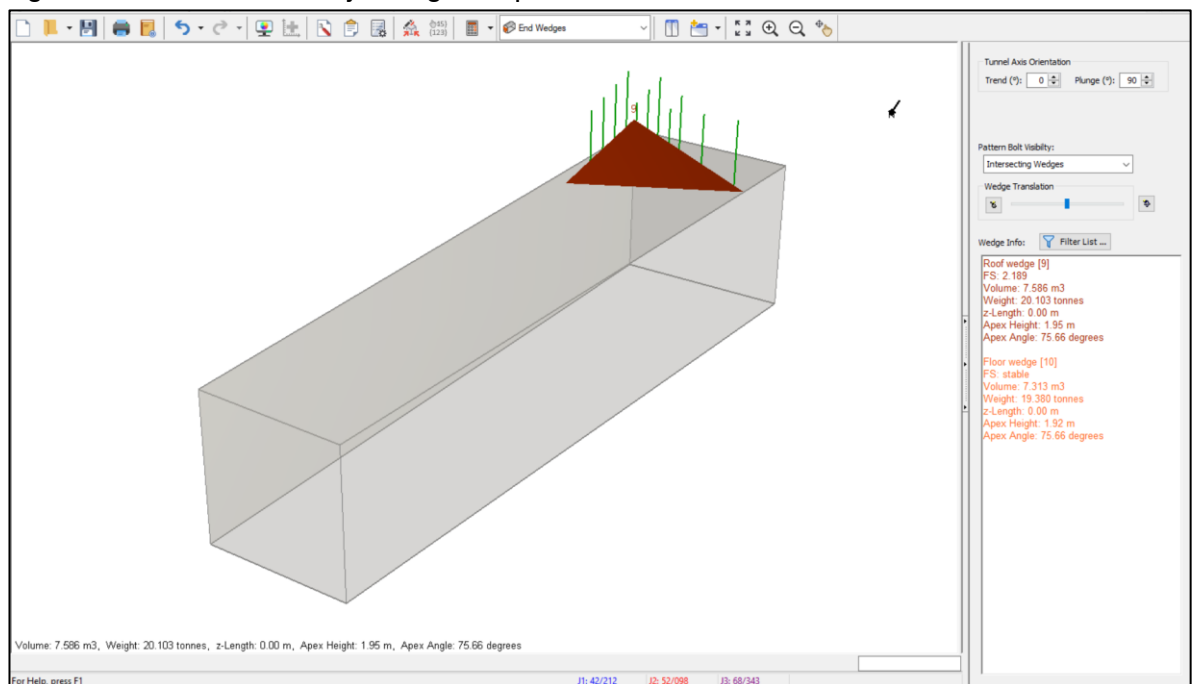
Para visualizar la cuña y el desarrollo de la labor, voy a “view”, “select view” y selecciono “end wedges”

Para agregar anclajes voy a “support”, “bolt properties” y configuro el tipo de perno



Para agregar pernos con un patrón determinando, “support”, “add bolt patter” y visualizo “end wedges”

En la sección derecha se observa la cuña “roof” y su descripción que comprende factor de seguridad, volumen, tonelaje, longitud ápex, etc.



ANEXO N°9: Costos perforación jumbo

Perforadora Jumbo Sandvik DD320		
COSTOS	PARAMETROS	USD/h
1. COSTOS DE PROPIEDAD (USD/hora)		
1.1. DEPRECIACION		
Valor Total de Adquisición	550.000,00 USD	
Precio original de Neumaticos	4.000,00 USD	
Valor Total a ser depreciado	546.000,00 USD	
Horas operadas/día	21,00 h/día	
Días operadas/año	360,00 día/año	
Horas operadas/año	7.560,00 h.	
Periodo de Depreciación	37.800,00 h.	
Numero de años para depreciación	5,00 años	
Valor de rescate	0%	
Factor K	0,0003750	
Costo de depreciación	0,00 546.000,00	14,444 USD/h
1.2. INVERSION (Intereses)		
Tasa de interés anual	15,00%	
Costo de inversión		14,219 USD/h
1.3. SEGUROS Y ALMACENAJE		
Tasa de seguro anual	5,00%	
Almacenaje	0,00%	
Costo de Seguros y Almacenaje		10,313 USD/h
COSTO TOTAL DE PROPIEDAD		38,976 USD/h
2. COSTOS OPERATIVOS (USD/hora)		
2.1. OPERADOR		
Jornal Básico (operador)	0,00 USD/día	
Beneficios Sociales	105% USD/día	
Bonos y otros		
Costo por operador		0,00 USD/h
2.2. COMBUSTIBLE		
Eficiencia Operativa	5,00 GI/día	
Consumo promedio	18,25 USD/día	0,27 USD/h
2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
(Lubr., grasa, filtros, mano de obra)	70% de 2.2	0,19 USD/h
Costo Mantenimiento Preventivo		
2.5. REPOSICION DE COP		
Precio Juego de Neumáticos	550.000,00 \$	
Vida útil	3.500 h	
Costo por COP		157,14 USD/h
2.6. REPARACION DE BRAZOS		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	30% de 2.5	47,14 USD/h
Costo por Reparación de Brazos		
2.8. REPARACION DE COP		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	50% de 2.5	78,57 USD/h
Costo por Reparación de Cop		
2.5. REPOSICION DE NEUMATICOS		
Precio Juego de Neumáticos	4.000,00 \$	
Vida útil	4.000 h	
Costo por NEUMATICO		1,00 USD/h
2.8. REPARACION DE NEUMATICOS		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	20% de 2.5	0,20 USD/h
Costo por Reparación de Neumáticos		
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN		284,52 USD/h
COSTO TOTAL - JUMBO DD		323,50 USD/h

ANEXO N°10: Costos manipulador

Manipulador Manitou MT-X 1235 ST		
COSTOS	PARAMETROS	USD/h
1. COSTOS DE PROPIEDAD (USD/hora)		
1.1. DEPRECIACION		
Valor Total de Adquisición	133.000,00 USD	
Precio original de Neumaticos	3.000,00 USD	
Valor Total a ser depreciado	130.000,00 USD	
Horas operadas/día	21,00 h/día	
Días operadas/año	360,00 día/año	
Horas operadas/año	7.560,00 h	
Periodo de Depreciación	37.800,00 h	
Numero de años para depreciación	5,00 años	
Valor de rescate	0%	
Factor K	0,0003750	
Costo de depreciación	0,00 130.000,00	3,439 USD/h
1.2. INVERSION (Intereses)		
Tasa de interés anual	15,00%	
Costo de inversión		3,385 USD/h
1.3. SEGUROS Y ALMACENAJE		
Tasa de seguro anual	5,00%	
Almacenaje	0,00%	
Costo de Seguros y Almacenaje		2,494 USD/h
COSTO TOTAL DE PROPIEDAD		9,318 USD/h
2. COSTOS OPERATIVOS (USD/hora)		
2.1. OPERADOR		
Jornal Básico (operador)	0,00 USD/día	
Beneficios Sociales	105% USD/día	
Bonos y otros		
Costo por operador		0,00 USD/h
2.2. COSTO DE COMBUSTIBLE		
Eficiencia Operativa	5,00 GI/día	
Consumo promedio	18,25 USD/día	0,27 USD/h
2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
(Lubr., grasa, filtros, mano de obra)	70% de 2.2	0,19 USD/h
Costo Mantenimiento Preventivo		
2.5. REPOSICION DE COP		
Precio Juego de Neumáticos	133.000,00 USD	
Vida útil	3.500 h	
Costo por COP		38,00 USD/h
2.6. REPARACION DE BRAZOS		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	30% de 2.5	11,40 USD/h
Costo por Reparación de Brazos		
2.8. REPARACION DE COP		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	50% de 2.5	19,00 USD/h
Costo por Reparación de Cop		
2.5. REPOSICION DE NEUMATICOS		
Precio Juego de Neumáticos	3.000,00 USD	
Vida útil	4.000 h	
Costo por NEUMATICO		0,75 USD/h
2.8. REPARACION DE NEUMATICOS		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	20% de 2.5	0,15 USD/h
Costo por Reparación de Neumáticos		
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN		69,77 USD/h
COSTO TOTAL - ELEVADOR		79,08 USD/h



ANEXO N°11: Costos mezcladora hidráulica

MEZCLADORA HIDRAULICA		
COSTOS	PARAMETROS	USD/h
1. COSTOS DE PROPIEDAD (USD/hora)		
1.1. DEPRECIACION		
Valor Total de Adquisición	6.850,00 USD	
Horas operadas/día	18,00 h/día	
Días operadas/año	360,00 día/año	
Horas operadas/año	6.480,00 h	
Periodo de Depreciación	15.000,00 h	
Numero de años para depreciación	2,31 años	
Valor de rescate	0%	
Factor K	0,0003750	
Costo de depreciación	0,00 0,00	0,000 USD/h
1.2. INVERSION (Intereses)		
Tasa de interés anual	15,00%	
Costo de inversión		0,000 USD/h
1.3. SEGUROS Y ALMACENAJE		
Tasa de seguro anual	5,00%	
Almacenaje	0,00%	
Costo de Seguros y Almacenaje		0,128 USD/h
COSTO TOTAL DE PROPIEDAD		0,128 USD/h
2. COSTOS OPERATIVOS (USD/hora)		
2.1. OPERADOR		
Jornal Básico (operador)	0,00 USD/día	
Beneficios Sociales	105% USD/día	
Bonos y otros		
Costo por operador		0,00 USD/h
2.2. COSTO DE COMBUSTIBLE		
Eficiencia Operativa	0,10 Gl/día	
Consumo promedio	0,37 USD/día	0,27 USD/h
2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
(Lubr., grasa, filtros, mano de obra)	70% de 2.2	0,19 USD/h
Costo Mantenimiento Preventivo		
2.5. REPOSICION DE COP		
Precio Juego de Neumáticos	6.850,00 USD	
Vida útil	2.500 h	
Costo por COP		2,74 USD/h
2.6. REPARACION DE BRAZOS		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	15% de 2.5	0,41 USD/h
Costo por Reparación de Brazos		
2.8. REPARACION DE COP		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	10% de 2.5	0,27 USD/h
Costo por Reparación de Cop		
2.5. REPOSICION DE NEUMATICOS		
Precio Juego de Neumáticos	0,00 USD	
Vida útil	0 h	
Costo por NEUMATICO		0,00 USD/h
2.8. REPARACION DE NEUMATICOS		
Factor de reparación (materiales y mano de obra)	15% de 2.5	0,00 USD/h
Costo por Reparación de Neumáticos		
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN		3,89 USD/h
COSTO TOTAL - MEZCLADORA		4,02 USD/h