

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN EN
LA ACTIVIDAD DE TALADROS LARGOS EN EL NIVEL 19 - UNIDAD
MINERA AMERICANA – ALPAYANA - LIMA**

PRESENTADO POR:

Br. MIJAIL HUAYLLANI OLIVERA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

Mg. ODILON CONTRERAS ARANA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Mg. Odilon Contreras Arana.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada:
MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN
EN LA ACTIVIDAD DE TALADROS LARGOS EN EL NIVEL 19-UNIDAD
MINERA AMERICANA - ALPAYANA - LIMA.....

Presentado por: Dr. MYAIL HUAYLANI OLIVERA..... DNI N° 73131116.....;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de
INGENIERO DE MINAS.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de Julio..... de 2026.....

[Firma]
Firma

Post firma Odilon Contreras Arana.....

Nro. de DNI 23823356.....

ORCID del Asesor 0000-0002-9164-1705.....

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:608249082.....

MIJAIL HUAYLLANI OLIVERA

Tesis_Mijail_Huayllani_Olivera .pdf



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:608249082

178 páginas

Fecha de entrega

16 jul 2026, 10:18 a.m. GMT-5

25.251 palabras

153.345 caracteres

Fecha de descarga

16 jul 2026, 10:25 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis_Mijail_Huayllani_Olivera 160726.pdf

Tamaño del archivo

8.7 MB

4% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
777 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

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

Dedicatoria

Con mucho cariño y aprecio dedico este trabajo de investigación a mis padres quien con su cariño ,amor incondicional y todo el trabajo que han hecho para ayudarme y protegerme en cada etapa de mi vida. Así mismo a toda mi familia que con sus consejos y comprensión me guiaron a hacer siempre lo correcto.

Mijail Huayllani Olivera

Agradecimiento

Agradezco a Dios quien me ha guiado y dado fortaleza para seguir adelante de igual manera a las personas que me forjaron en este camino de aprendizaje realizando el rol de maestros, al Ing. Omar Mayorga quien me dio brindo la oportunidad de desempeñar nuevos retos profesionales y confiar en mis habilidades. Al Tec.Gustavo Aliaga quien me enseñó que el carácter y la actitud son la clave para desarrollar mi crecimiento profesional minero, al DrillMaster Roberto Chavez quien me oriento mis primeros pasos en el negocio de aceros de perforación.

Mijail Huayllani Olivera.

Introducción

La minería es una de las industrias fundamentales para el desarrollo económico de un país, proporcionando materias primas esenciales para diversas industrias, como la construcción, la energía y la manufactura. En este contexto, la extracción de minerales y metales preciosos es una actividad crucial que requiere un nivel significativo de inversión y tecnología. Uno de los componentes clave en la operación minera es la perforación, que es esencial para la obtención de minerales y la expansión de las reservas minerales.

Los taladros largos desempeñan un papel vital en la extracción subterránea de minerales, ya que permiten el acceso a yacimientos profundos y difíciles de alcanzar. Estos taladros dependen en gran medida de los aceros de perforación para su eficiencia y rendimiento. Los aceros de perforación son sometidos a condiciones extremas durante su uso, incluyendo altas temperaturas, presiones y desgaste abrasivo. Como resultado, el rendimiento de los aceros de perforación es un factor crítico que afecta directamente la eficiencia operativa y la rentabilidad de una unidad minera.

La Unidad Minera Alpayana, como parte integral de la industria minera, se enfrenta a desafíos constantes en la búsqueda de incrementar el rendimiento de los aceros de perforación utilizados en sus operaciones de taladros largos. Este proyecto de tesis se enfoca en la investigación y desarrollo de procedimientos que permitan prolongar el rendimiento de los aceros de perforación en esta unidad minera. La optimización de estos procedimientos no solo contribuirá a la eficiencia operativa de la unidad, sino que también tendrá un impacto positivo en la reducción de costos y en la sostenibilidad ambiental de la operación.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar y proponer métodos innovadores para mejorar el rendimiento de los aceros de perforación en los taladros

largos de la Unidad Minera Alpayana. Para lograr este objetivo, se llevará a cabo un estudio exhaustivo que abarcará aspectos como la selección de materiales, el diseño de herramientas y equipos, la implementación de prácticas de mantenimiento, y la evaluación de factores ambientales y de seguridad.

Este proyecto de tesis se encuentra respaldado por la importancia crítica de prolongar el rendimiento de los aceros de perforación en la industria minera, no solo a nivel local sino también a nivel global. La implementación de los procedimientos desarrollados aquí podría servir como un modelo para otras operaciones mineras que enfrentan desafíos similares. Además, contribuirá a la sostenibilidad y al crecimiento continuo de la Unidad Minera Alpayana y, en última instancia, a la prosperidad de la industria minera en su conjunto.

En los capítulos siguientes, se presentarán los objetivos específicos, la metodología de investigación, los antecedentes relacionados con el tema y los resultados esperados, con la intención de proporcionar un enfoque claro y estructurado para este proyecto de tesis.

Resumen

La investigación de tipo aplicada y nivel descriptivo, se desarrolló en el tajo 390/370 del Nivel 19 de la Unidad Minera Americana–Alpayana durante septiembre a noviembre del 2023, con el propósito de mejorar el rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos así optimizar los costos asociados, los objetivos específicos fueron seleccionar el varillaje según las características geomecánicas del macizo rocoso, implementar controles y técnicas operacionales para prolongar la vida útil de los aceros y optimizar el costo de perforación según los rendimientos obtenidos. El sustento teórico comprendió la geomecánica de rocas ,métodos de perforación de subterránea, equipos de perforación con sus parámetros de operación y mantenimiento. Se trabajó con una población de siete equipos Simba y una muestra no probabilística de 01 Simba S7D equipada con shank , barra de 5 pies y broca retráctil de 64 mm, sobre la cual se aplicaron controles operacionales, administrativos y mecánicos orientados a asegurar condiciones óptimas de trabajo del varillaje. Los resultados evidenciaron una reducción del indicador \$/m superior al 18%, al pasar de 1.58 a 1.28 USD por metro perforado, junto con mejoras en la eficiencia asociadas a la velocidad de penetración; en conclusión, se determinó que la estandarización de controles y la adecuada selección de aceros de perforación contribuyen significativamente a elevar la productividad del ciclo de perforación y a disminuir el costo de perforación sin afectar la continuidad operativa.

Palabras clave: Eficiencia, Rentabilidad, Seguridad, Optimización.

Abstract

This applied, descriptive study was conducted at stope 390/370 on Level 19 of the Americana–Alpayana Mining Unit between September and November 2023, aiming to improve the performance of drilling steels in long-hole drilling operations and thereby optimize associated costs. Specific objectives included selecting drill string components based on the rock mass's geomechanical characteristics, implementing operational controls and techniques to extend the steels' service life, and optimizing drilling costs based on achieved performance. The theoretical framework covered rock geomechanics, underground drilling methods, and drilling equipment, including their operating and maintenance parameters. The study involved a population of seven Simba rigs and a non-probabilistic sample consisting of one Simba S7D unit—equipped with a shank, a 5-foot rod, and a 64 mm retractable bit—on which operational, administrative, and mechanical controls were applied to ensure optimal working conditions for the drill string. Results showed a reduction of over 18% in the \$/m indicator—dropping from 1.58 to 1.28 USD per drilled meter—alongside efficiency improvements linked to penetration rates. In conclusion, the study determined that standardizing controls and properly selecting drilling steels contribute significantly to increasing drilling cycle productivity and reducing drilling costs without compromising operational continuity.

Keywords: Efficiency, Profitability, Safety, Optimization.

Índice

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Introducción.....	III
Resumen	V
Abstract	VI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación Problemática.....	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Alcance.....	5
1.5.1 Alcance Espacial.....	5
1.5.2 Alcance Temporal.....	5
1.6 Hipótesis.....	5
1.6.1 Hipótesis General	5
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	5
1.7 Variables E Indicadores	6

1.7.1 Operacionalización De Variables	6
CAPITULO II	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la Investigación	7
2.1.1 Internacionales.....	7
2.1.2 Nacionales	9
2.2 Bases Teóricas.....	12
2.2.1 Geomecánica de las rocas.....	12
2.2.2 Perforación De Rocas	12
2.2.3 Métodos De Perforación En Minería Subterránea.....	12
2.2.3.1 Perforación Manual.....	13
2.2.3.2 Perforación Neumática.....	13
2.2.3.3 Método Rotativo	14
2.2.3.4 Método Rotopercusivo.....	15
2.2.4 Tipos De Perforación Según La Aplicación	16
2.2.4.1 Perforación de Banqueo.....	16
2.2.4.2 Perforación de Avance de Galerías y Túneles	16
2.2.4.3 Perforación de Producción.....	17
2.2.4.4 Perforación de Chimeneas y Piques.....	17
2.2.5 Brocas De Perforación.....	18
2.2.5.1 Tipos de Brocas.....	20

2.2.6	Rendimiento de aceros de perforación	23
2.2.7	Taladros Largos	24
2.2.7.1	Aplicación De Taladros Largos	25
C).	Perforación de Slot -Chimenea para Taladros Largos.....	29
2.2.8	Parámetros de Perforación.....	33
2.2.9	Mantenimiento de Perforadoras.....	34
3	CAPITULO III.....	35
	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.2	Tipo de Investigación.....	35
3.3	Nivel de Investigación.....	35
3.4	Población de Estudio Y Muestra.....	36
3.4.1	Población	36
3.4.2	Muestra	36
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección y Procesamiento de Información	36
3.5.1	Técnica de Recolección de Información	36
3.5.2	Instrumentos de Recolección de Datos.....	37
3.5.3	Instrumentos de Procesamiento de Datos y Presentación de Resultados	38
4	CAPITULO IV.....	39
	ANÁLISIS Y MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN	
	39	
4.1	AMBITO DE ESTUDIO.....	39
4.1.1	Ubicación.....	40

4.1.2	Acceso	40
4.1.3	Geología.....	41
4.1.3.1	Geología Regional	41
4.1.3.2	Geología Local.....	42
4.1.4	Geomecánica del Área en Estudio.....	42
4.1.4.1	Índice de calidad de la roca (RQD).....	43
4.1.4.2	Clasificación de Barton (NGI) – Sistema Q.....	44
4.1.4.3	Clasificación Bieniawsky – INDICE RMR	45
4.1.4.4	Índice de G.S.I. (Geological Strength Index).....	48
4.1.4.5	Características Geomecánicas Del Nv 19	50
4.1.4.6	Calidad de las Rocas del Nv 19.	51
4.2	Especificación y Ubicación del Nivel 19	51
4.2.1	Ubicación Tajo 390/370 - Nivel 19	51
4.2.2	Método de Explotación.....	52
4.2.3	Aplicación de Taladros Largos.....	54
4.3	Equipo de Perforación.....	55
4.3.1	Característica del Equipo de Perforación.	55
4.4	Martillo de Perforación	59
4.4.1	Características del Martillo de Perforación	60
4.5	Columna de Perforación (Aceros).....	62

4.5.1	Shank Adapter	62
4.5.2	Barra M/F	63
4.5.3	Broca Retráctil.....	64
4.5.4	Vida Útil	67
4.5.4.1	Rendimiento de los aceros	68
4.6	Controles Operacionales	69
4.7	Factores operativos.....	69
4.7.1	Perforación En Tajos	69
4.7.1.1	Mallas de perforación	69
4.7.2	Elección de Tipo de Brocas según características geomecánicas a Perforar.	82
4.7.3	Check list de Operación (Pericia Del Operador)	85
4.7.4	Uso y Cuidado de Aceros de Perforación.....	85
4.7.4.1	Rotación de barras.....	86
4.7.4.2	Rotación de brocas	88
4.7.4.3	Engrase de uniones roscadas.....	93
4.7.4.4	Aguzado De Brocas	95
4.7.4.5	Copas de Aguzado.	99
4.7.4.6	Desbastado de Brocas	100
4.7.5	Tiempo de Perforación	102
4.7.6	Capacitación de Operadores	104

4.8	Factores Mecánicos (Check list Equipo de Perforación)	104
4.8.1	Parámetros de Perforación.....	104
4.8.1.1	Rotación	105
4.8.1.2	RPM	105
4.8.1.3	Percusión.....	106
4.8.1.4	Barrido	108
4.8.1.5	Avance	109
4.8.2	Estado del boom del equipo.....	110
4.8.2.1	Mordaza	110
4.8.2.2	Brazos transportador de barras.....	110
4.8.2.3	Carrusel.....	111
4.8.2.4	Unidad de giro.....	111
4.8.2.5	Pines y bocinas.....	111
4.8.2.6	Mesa de la cop	111
4.8.3	Estado de los componentes de la perforadora	113
4.9	4.8. Factores Administrativos.....	114
4.9.1	Elaboración de Base de datos	114
4.9.2	Vales de Salida	115
4.9.3	Reporte de Perforación del Operador	115
4.9.4	Rotulado de brocas	116

4.9.5	Registro de control de despacho y recepción de aceros	116
4.9.6	Registro de perdidas prematuras.....	117
4.9.7	Dashboard de resultados.....	117
4.9.7.1	Rendimiento de Shank	117
4.9.7.2	Rendimiento de Barras M/F.....	118
4.9.7.3	Rendimiento De Brocas	118
4.9.7.4	Costo vs metros perforados.....	119
5	CAPITULO V.....	124
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	124
5.1	Análisis Desde el Criterio Técnico.....	124
5.2	Análisis Desde el Criterio Económico	125
5.3	Análisis Desde el Aspecto de Seguridad.....	126
5.4	Comparativos de Los Resultados	127
5.4.1	Costos De Aceros De Perforación	127
5.4.2	Cuadro de Ahorro de Aceros de Perforación.....	128
	CONCLUSIONES	130
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
	ANEXO 1	137
	Geología Estructural	137
	ANEXO 2	137
	Geología Económica.....	137
	ANEXO 3	138

Reservas	138
ANEXO 4	139
Método de Explotación	139
Selección del Método de Minado	140
ANEXO 5	142
Operaciones Unitarias.....	142
Perforación.....	142
ANEXO 6	144
Voladura.....	144
ANEXO 7	147
Acarreo.....	147
ANEXO 8	149
Sostenimiento.....	149
ANEXO 9	150
Ventilación.....	150
ANEXO 10	151
ANEXO 11	152
ANEXO 12	153
ANEXO 13	154
ANEXO 14	155

ANEXO 15	156
ANEXO 16	157

Figuras

Figura 1: Perforación manual taladro bosh.....	13
Figura 2: Perforadora Neumática Canun	14
Figura 3: Perforación Sistema rotativo	15
Figura 4: Equipo de Perforación con Sistema Rotopercutivo.....	16
Figura 5: Sistemas De Chimeneas	18
Figura 6: Brocas de Perforación I	19
Figura 7: Brocas de Perforación II.....	19
Figura 8: Brocas de botones.....	20
Figura 9: Broca triconica	21
Figura 10: Broca retráctil	21
Figura 11: Broca plaquitas	22
Figura 12: Broca de martillo en fondo	22
Figura 13: Ejemplo de Taladros Largos.....	25
Figura 14: Perforación Explotación por Sub Niveles	27
Figura 15: Sub Level Caving	29
Figura 16: Malla de Perforacion de Slot.....	30
Figura 17: Perforación Raise boring.....	31
Figura 18: Elaboración de Chimeneas -slot.....	31
Figura 19: Perforación de Taladros Negativos	32
Figura 20: Limpieza de Mineral	32
Figura 21: Manómetros de presión de perforación	34
Figura 22: Ubicación de la Unidad Minera.....	40
Figura 23: Procedimiento y cálculo para la medición del RQD	44
Figura 24: Tabla Geomecánica de GSI.....	49
Figura 25: Plano Geomecánico del Nv 19	50
Figura 26: Ubicación Tajo 3 90/370 Nv 19	52

Figura 27: Referencial perforación sublevel stoping-.....	53
Figura 28: Aplicación de Taladros Largos.....	54
Figura 29: Equipo de Perforación – Vista longitudinal	56
Figura 30: Equipo de Perforación – Vista longitudinal	57
Figura 31: Equipo de Perforación - Catalogo	58
Figura 32: Equipo de Perforación.....	59
Figura 33: Partes Principales Del Martillo De Perforación	61
Figura 34: Martillo de Perforación	62
Figura 35: Shank Adapter	63
Figura 36: Barra M/F	64
Figura 37: Broca Retráctil.....	65
Figura 38: Plano de perforación y carguío sección del 1 al 11/ Tajo 390	70
Figura 39: Plano de perforación y carguío sección N° 1 / Tajo 390.....	71
Figura 40: Plano de perforación y carguío sección N°2 / Tajo 390.....	72
Figura 41: Plano de perforación y carguío sección N°3 / Tajo 390.....	73
Figura 42: Plano de perforación y carguío sección N°4 / Tajo 390.....	74
Figura 43: Plano de perforación y carguío sección N°5 / Tajo 390.....	75
Figura 44: Plano de perforación y carguío sección N°6 / Tajo 390.....	76
Figura 45: Plano de perforación y carguío sección N°7 / Tajo 390.....	77
Figura 46: Plano de perforación y carguío sección N°8 / Tajo 390.....	78
Figura 47: Plano de perforación y carguío sección N°9 / Tajo 390.....	79
Figura 48: Plano de perforación y carguío sección N°10 / Tajo 390.....	80
Figura 49: Plano de perforación y carguío sección N°11 / Tajo 390.....	81
Figura 50: Insertos Esféricos	82
Figura 51: Insertos Balísticos.....	83
Figura 52: Recomendación de tipo de broca por resistencia a la compresión y abrasividad. 83	
Figura 53: Tipo De Cuerpo De La Broca.....	84
Figura 54: Rotación De Barras	86
Figura 55: Rotación adecuada de barras I.....	87
Figura 56: Rotación adecuada de barras II	87
Figura 57: Luz De Desgaste Mayor Al 1/3.....	88
Figura 58: Broca No Rotada Adecuadamente (Sobre Perforada)	89
Figura 59: Adecuada Rotación de Brocas.....	89
Figura 60: Rotulado de Brocas	93

Figura 61: Evitando La Percusión Excesiva Para Soltar Las Juntas.....	94
Figura 62: Causas De No Engrasar.....	94
Figura 63: Causas De No Engrasar.....	95
Figura 64: Aguzadora semiautomático – vista en campo	98
Figura 65: Aguzadora semiautomático – vista en catalogo	98
Figura 66: Aguzadora Manual-Neumática.....	99
Figura 67: Copas De Aguzado.....	100
Figura 68: Amoladora	101
Figura 69: Electrolisis - I	102
Figura 70: Electrolisis – II	102
Figura 71: Capacitación De Operadores.....	104
Figura 72: velocidad de giro de las columnas de perforación	105
Figura 73: Desplazamiento del botón de la broca de una percusión a otra.....	106
Figura 74: Percusión	107
Figura 75: Tipos de dureza de la roca.....	107
Figura 76: Mecanismo de percusión.....	108
Figura 77: Barrido.....	109
Figura 78: Fuerza de Avance	110
Figura 79: Viga de simba S7D.....	112
Figura 80: Instrumentos utilizados.....	113
Figura 81: Rotulado De Aceros	116
Figura 82: Registro De Control De Despacho-referencial.....	116
Figura 83: Método sub-level stoping 1	140
Figura 84: Método sub-level stoping 2	141
Figura 85: Método sub-level stoping 3.....	141
Figura 86: Perforación de taladros largos simba N°19	142
Figura 87: Malla De Perforación	144
Figura 88: Malla de Perforación De VCR TJ 390	146
Figura 89: Sección de Taladros Positivos Cargados.....	147
Figura 90: Limpieza de mineral con scoop de 7 yd3.....	148
Figura 91: Pernos Helicoidales con Equipo Jumbo ,Gl 370 Nv19.	150
Figura 92: Planos referenciales 1	151
Figura 93: Planos referenciales 1	152
Figura 94: Planos referenciales 1	153

Figura 95: Planos referenciales 1	154
Figura 96: Reporte referencial de metros.....	155
Figura 97: Plano Geomecánico Nv 19	156
Figura 98: Plano Geomecánico referencial vista transversal Nv 19.	157

Tablas

Tabla 1:	Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2:	Orientación de las discontinuidades	48
Tabla 3:	Referencia UCS (Resistencia a la compresión uniaxial.).....	51
Tabla 4:	Dimensiones Equipo de Perforación	58
Tabla 5:	Tamaño barra Recomendado.....	58
Tabla 6:	Vida útil de aceros.....	68
Tabla 7:	Supervisión Al Operador.....	85
Tabla 8:	En Función a la Toma de Tiempos.....	92
Tabla 9:	Tiempos de Perforación.....	103
Tabla 10:	Equipo Partes.....	112
Tabla 11:	Base de datos de metros según reporte.....	114
Tabla 12:	Control Logístico.....	115
Tabla 13:	Control de Metros Perforados	115
Tabla 14:	Rendimiento Practico De Shank.....	117
Tabla 15:	Rendimiento Practico de Barras	118
Tabla 16:	Rendimiento Practico de Brocas	118
Tabla 17:	Costo de Aceros de Perforación Taladros Largos.	119
Tabla 18:	Rendimiento de Taladros Largos	120
Tabla 19:	Resumen del historial de rendimiento promedio ene-23 al ago-23.....	122
Tabla 20:	Rendimiento después de la prueba SIMBA #19	122
Tabla 21:	Indicadores \$/M Antes de da Prueba.....	122
Tabla 22:	Indicadores \$/M Resultado Simba #19	122
Tabla 23:	Optimización de costo por el indicador \$/M	123
Tabla 24:	Costos de Aceros de Perforación.....	128
Tabla 25:	Ahorro de Aceros de Perforación.	129
Tabla 26:	Reservas de Mineral De La Mina.....	139
Tabla 27:	Datos de Tajo.....	145
Tabla 28:	Parámetros de La Voladura	145

Gráficas

Gráfica 1: Mapa De Geología Regional	42
Gráfica 2: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación I.....	90
Gráfica 3: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación II	90
Gráfica 4: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación III	91
Gráfica 5: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación IV	91
Gráfica 6: Resumen En Base A Muestras Obtenidas	92
Gráfica 7: Perdida de velocidad de penetración	96
Gráfica 8: Rendimiento de Shank Adapter C38	120
Gráfica 9: Rendimiento de Barra C38 X 5 Pies	121
Gráfica 10: Rendimiento de Broca C38 X 64 mm	121

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

Actualmente, en la Unidad Minera Americana-Alpayana, la perforación de taladros largos se lleva a cabo con 07 equipos Simba, las cuales se encargan de las perforaciones de labores de producción, cuyas columnas de perforación están compuestas por los siguientes componentes: Shank COP1838 T38 038/525 mm, M/F Rod C38 1525 mm y Button Bit T38 064. Estos componentes representa un porcentaje elevado en el costo total de perforación esto debido a su elevado costo y consumo de estos accesorios en los distintos equipos simba. Sin embargo, se enfrenta a un problema crítico: porque los aceros de perforación utilizados presentan un rendimiento por debajo de la vida útil estimada. Este problema se traduce en costos adicionales significativos y afecta la eficiencia operativa de la unidad minera. Por lo tanto, surge la necesidad de abordar este desafío de manera sistemática.

El problema general que se plantea es: ¿Por qué es necesario elaborar controles para la mejora del rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos? Para responder a esta pregunta, se deben abordar varios problemas específicos, incluyendo la identificación de las razones o causa raíz detrás de los descartes prematuros de los aceros de perforación, la evaluación de los procedimientos a implementar para prolongar su vida útil y la identificación de los factores que influyen en el rendimiento de los aceros. El objetivo general del proyecto es la mejora del rendimiento de los aceros de perforación mediante la implementación de controles y técnicas adecuados, con el fin de reducir el costo total en aceros sin afectar el performance adecuado de perforación , Para lograr este objetivo, se han establecido objetivos

específicos que incluyen la reducción de los costos en aceros de perforación, la mejora del rendimiento de estos aceros en la actividad de taladros largos y la preservación de la calidad y el tiempo de perforación, así como la integridad de las perforadoras. En resumen, la situación problemática en la Unidad Minera Americana-Alpayana se centra en la necesidad de abordar el problema del bajo rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos, que afecta significativamente los costos y la eficiencia operativa. Este proyecto de tesis busca responder a estos desafíos mediante la implementación de controles y técnicas adecuadas y la identificación de factores influyentes.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo mejorar el rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos del nivel 19 Tj390/ 370 de la Unidad Minera Americana-Alpayana?

1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Cómo Seleccionar el varillaje adecuado de aceros según características geomecánicas de la roca para la mejora de su rendimiento?
2. ¿Cómo implementar los controles y técnicas operacionales en aceros de perforación para la mejora de su rendimiento?
3. ¿Cómo reducir los costos en aceros de perforación en función a los rendimientos obtenidos en la Unidad Minera Americana-Alpayana?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Mejorar el rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos de la Unidad Minera Americana-Alpayana .

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Seleccionar el varillaje adecuado de los aceros de perforación según las características geomecánicas de la roca.

2. Implementación y aplicación de controles y/o técnicas operacionales en los aceros de perforación utilizados en la actividad de taladros largos.

3. Optimizar los costos en aceros de perforación en la actividad de taladros largos, mediante los resultados de los rendimientos obtenidos en el nivel 19 Tj 390/370 de la unidad minera Americana-Alpayana.

1.4 Justificación

La mejora del rendimiento de los aceros de perforación es esencial para reducir los costos operativos de la Unidad Minera Americana-Alpayana, ya que estos consumibles representan un gasto significativo en la operación. Al mejorar su rendimiento, se minimizarán el consumo de estos accesorios y que como consecuencia también el costo de perforación así también se evitara paradas operativas de equipos por aceros de esta manera garantice cumplir los programas de trabajo en perforación de taladros largos , lo que directamente aumentará la rentabilidad de la operación minera. En el panorama global de la minería, la eficiencia y la reducción de costos son cruciales para mantener la competitividad. Al implementar controles que extiendan el rendimiento

de los aceros de perforación, la Unidad Minera Americana-Alpayana estará en una posición más sólida para competir con otras operaciones mineras en todo el mundo.

La minería enfrenta crecientes demandas de responsabilidad ambiental. Al reducir la cantidad de residuos generados a través de una mayor duración de los aceros de perforación, la unidad minera contribuirá a una operación más sostenible, minimizando su impacto ambiental y mejorando su imagen ante la sociedad y los reguladores.

La prolongación del rendimiento de los aceros de perforación también contribuirá a la optimización de recursos naturales, ya que se reducirá la necesidad de extraer y procesar nuevos materiales para reemplazar los aceros desgastados. Esto se alinea con principios de conservación de recursos y responsabilidad hacia el medio ambiente. Los resultados y las mejores prácticas derivadas de este proyecto de tesis tienen el potencial de ser compartidos y aplicados en otras unidades mineras que enfrenten desafíos similares. Esto facilitaría la transferencia de conocimiento y la mejora de la eficiencia en toda la industria minera, a nivel nacional e internacional. Este proyecto de tesis contribuirá significativamente al cuerpo de conocimiento en el campo de la ingeniería de minas, ya que aborda un problema práctico y relevante. Esto puede servir de base para futuras investigaciones y proyectos académicos relacionados con la mejora de la vida útil de materiales en la minería. En conjunto, estas justificaciones resaltan la importancia y la relevancia de llevar a cabo este proyecto de tesis en la Unidad Minera Americana-Alpayana, con beneficios que abarcan desde la eficiencia operativa y la rentabilidad hasta la sostenibilidad ambiental y la contribución al conocimiento en el campo de la ingeniería de minas.

1.5 Alcance

1.5.1 Alcance Espacial

La investigación realizada se centra en el tajo 370/390 del nivel 19 el cual consta de un diseño de 45 secciones a perforar.

1.5.2 Alcance Temporal

Los trabajos de perforación se realizaron de agosto del 2023 a noviembre del 2023.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

La selección adecuada , la implementación y aplicación de las técnicas operacionales, en los aceros de perforación logran mejorar considerablemente el rendimiento de los aceros en la perforación de taladros largos, así mismo se obtendrá una reducción significativa en los costos totales en aceros de perforación del nivel 19 de la Unidad Minera Americana-Alpayana.

1.6.2 Hipótesis Específicas

1. Al seleccionar adecuadamente el varillaje de los aceros de perforación en relación a las características geomecánicas , impactara de manera positiva en el incremento del rendimiento de los aceros.

2. Al implementar y aplicar técnicas operacionales y mecánicas a los aceros de perforación se reducirán los descartes prematuros de estos materiales y como consecuencia el incremento de los rendimientos de los aceros de perforación del nivel 19 de la Unidad Minera Americana-Alpayana.

3. Al introducir un sistema de control de los aceros de perforación, entonces se identificarán a tiempo los factores operacionales, mecánicos y administrativos que influyen en su descarte, lo

que permitirá tomar medidas correctivas y, en última instancia, aumentar su rendimiento y por ende reducirá el costo en aceros de perforación en el nivel 19 de la Unidad Minera Americana-Alpayana.

1.7 Variables E Indicadores

1.7.1 Operacionalización De Variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Tipo de Variables	Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador
Independiente	Controles y Técnicas operacionales	Conjunto de procedimientos de uso y cuidado adecuado de los aceros de perforación desde la evaluación del tipo de roca ,equipo de perforación , pericia del operador y análisis de base de datos.	-Geomecánica de la roca	GSI -RMR
			-Supervisión y capacitación de los operadores	Aguzado y devastado de brocas, rotación y engrase de barras, check list de operación velocidad de penetración.(m/min)
			-Mantenimiento de equipo.	check list de estado mecánico, disponibilidad mecánica.
			-Logística,base de datos.	Formatos de control de metros y consumo, dashboard , costos, velocidades. (\$/m ;m/min; \$;und) y rendimientos.
Dependiente	Mejora de Rendimiento de los aceros de perforación	Es el incremento de los metros perforados de cada accesorio de perforación, como broca, barra y shank	-Reporte físico de perforación de taladros largos.	- Metros perforados por accesorio (m) - Cantidad de accesorios (und.) - Precio unitario por accesorio (dólares) -kpi (\$/m)

Fuente. Elaboración propia

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Internacionales

a) Kahraman, S. (2003). “Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills”.

Objetivo: Determinar qué propiedades físico–mecánicas de la roca impactan con mayor peso en la tasa de penetración (ROP) en perforación percutiva.

Metodología: Observación de desempeño de perforación en diferentes litologías y correlación estadística de ROP con propiedades de roca medidas en campo/laboratorio.

Principales resultados: La investigación identifica como propiedades dominantes (entre las evaluadas) a la resistencia a compresión, resistencia a tracción brasileña, índice de carga puntual y valor Schmidt, con capacidad explicativa relevante sobre la ROP.

Aporte a la investigación: Sustenta que el rendimiento (m/min) y el consumo/vida útil de herramientas están condicionados por la geomecánica del macizo rocoso, justificando la inclusión de indicadores como RMR/GSI como variables de control.

b) Tkalic, D. et al. (2017). “Wear of cemented tungsten carbide percussive drill–bit inserts: Laboratory and field study”.

Objetivo: Identificar mecanismos de desgaste y el comportamiento de insertos de carburo cementado en brocas para perforación percutiva.

Metodología: Ensayos de laboratorio y pruebas a escala real, comparando distintos grados de carburo (binder, tamaño de grano, etc.) y observando huellas/morfología de desgaste según la posición del inserto.

Principales resultados: El estudio confirma que el diseño y la selección del grado de carburo influyen significativamente en eficiencia y durabilidad; además, el desgaste varía por posición de los insertos y condiciones de operación.

Aporte a la investigación: Fundamenta técnicamente la necesidad de control por condición (inspección de desgaste) y decisiones oportunas de mantenimiento (aguzado/regrind) para maximizar metros por broca y reducir descartes prematuros.

c) Çapik, M. & Batmunkh, B. (2021). “Measurement, Prediction, and Modeling of Bit Wear During Drilling Operations” (Journal of Mining and Environment).

Objetivo: Medir, modelar y proponer enfoques de predicción del desgaste de brocas durante operaciones de perforación, considerando variables de perforación y propiedades de roca.

Metodología: Evaluación del desgaste y su progresión, discusión de factores influyentes y desarrollo de modelos representativos para cuantificar/estimar tasas de desgaste.

Principales resultados: El trabajo concluye que el desgaste depende de múltiples factores (roca y operación) y plantea que el modelamiento puede apoyar decisiones de campo y planificación de consumibles.

Aporte a la investigación: Respalda el enfoque de integrar registro sistemático (metros, condición de broca, eventos de mantenimiento) para predecir rendimiento y estabilizar el KPI económico (US\$/m).

2.1.2 Nacionales

a) Quito Matos, J. C. (2020). “Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías – Compañía Minera San Cristóbal S.A.A.”

Objetivo: Evaluar la vida útil de los aceros de perforación y su efecto en los costos operativos de perforación en labores de desarrollo.

Metodología: Análisis aplicado con registros de consumo/metros perforados por tipo de accesorio, asociando el desempeño con el costo de operación.

Principales resultados: El estudio evidencia que la vida útil real difiere de estándares cuando no se controlan condiciones operativas (operador/parámetros/mantenimiento), generando impacto directo en el costo por metro.

Aporte a la investigación: Sustenta el uso de indicadores m/accesorio y costo unitario (US\$/m) como base de control económico del consumo de aceros.

b) Huamani Roiro, V. (2023). “Evaluación de la columna de perforación y optimización de aceros de perforación...” (Perú).

Objetivo: Optimizar la gestión de aceros de perforación (brocas/barras, según el equipo y la labor) para incrementar el rendimiento y controlar el consumo.

Metodología: Evaluación en operación (registros de rendimiento, prácticas de mantenimiento y variables de roca), con comparación de desempeño antes/después de acciones de control.

Principales resultados: Se reporta que el afilado programado y el control de descarte contribuyen a acercar el rendimiento a la vida útil recomendada y estabilizar metros por broca.

Aporte a la investigación: Refuerza la dimensión de mantenimiento (aguzado) y su relación con el rendimiento (m/accesorio) como palanca para reducir el costo por metro.

c) Marchand Arteaga, J. A. (2024). “Análisis de vida útil de brocas afiladas vs. sin afilar...” (UNDAC, Perú).

Objetivo: Comparar el desempeño de brocas con afilado frente a brocas sin afilado, evaluando su impacto en vida útil y consumo.

Metodología: Estudio comparativo basado en registros de metros perforados y eventos de mantenimiento/uso por condición de broca.

Principales resultados: El trabajo sustenta que el afilado oportuno mejora el aprovechamiento de la broca y reduce pérdidas prematuras asociadas al desgaste acumulado.

Aporte a la investigación: Respaldar la incorporación de indicadores de brocas afiladas, brocas en descarte y metros por broca, vinculándolos con el KPI económico.

d) Ccollqque Choquepuma, H. & Fernández, J. (2022). “Mejoramiento de la vida útil de las brocas de perforación...” (UTP, Perú).

Objetivo: Incrementar la vida útil de brocas mediante mejoras de control y prácticas operacionales/mantenimiento asociadas a la perforación.

Metodología: Implementación y evaluación de acciones de mejora (criterios de control, seguimiento de condición y estandarización de prácticas), midiendo el efecto sobre vida útil.

Principales resultados: Se concluye que el control de condición y la disciplina de mantenimiento/uso reducen fallas prematuras y elevan la productividad de la herramienta.

Aporte a la investigación: Sustenta el enfoque de controles operacionales (uso/cuidado) y su efecto en la variable dependiente (mejora del rendimiento).

e) Castro Camargo, W. H. (2023). “Reducción de costos de aceros por metro lineal mediante la optimización de aceros de perforación en la U.P. Alpayana S.A.” (registro ALICIA/CONCYTEC).

Objetivo: Reducir el costo por metro de aceros de perforación en avances y taladros largos mediante optimización del uso/gestión de los aceros.

Metodología: Enfoque aplicado con diseño experimental/descriptivo orientado a validar la hipótesis de reducción de costos por metro mediante optimización.

Principales resultados: El antecedente plantea y sustenta que la optimización de aceros puede disminuir costos unitarios (costo por metro) al controlar consumo, pérdidas y desempeño real.

Aporte a la investigación: Alinea directamente el indicador central \$/m con una estrategia de control integral (operación–mantenimiento–logística).

Síntesis para cerrar el subcapítulo (recomendado): En conjunto, estos antecedentes nacionales respaldan que la mejora del rendimiento de aceros se logra cuando existe control sobre metros perforados, consumo, mantenimiento (afilado/aguzado), trazabilidad logística y costos, permitiendo consolidar el KPI \$/m mediante una base de datos operacional, tal como se plantea en la investigación.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Geomecánica de las rocas

La geomecánica se define como el estudio de las propiedades mecánicas de las rocas y su comportamiento frente a variaciones de tensión, presión, temperatura y otros parámetros ambientales. Esta disciplina permite comprender cómo responde el macizo rocoso ante esfuerzos naturales o inducidos por la actividad minera, siendo fundamental para el diseño, estabilidad y seguridad de las excavaciones subterráneas. (B.H.G. Brady y E.T. Brown,2004)

2.2.2 Perforación De Rocas

La perforación en minería es una operación clave destinada a generar orificios en el macizo rocoso con distribución y geometría definidas para alojar cargas explosivas. En la pequeña minería, el método más extendido es la rotopercusión de energía neumática. Sus elementos principales comprenden la perforadora manual, que aporta la energía mecánica; las barras, que la transmiten mediante el golpe del pistón; el bit o broca, que recibe la energía y fractura la roca; y el fluido de barrido, responsable de limpiar y evacuar los fragmentos generados durante el avance.

En ciertas faenas de pequeña escala se ha incorporado el empleo de jumbos compactos, ya sean neumáticos o hidráulicos. Su operación demanda personal con capacitación específica, además de la adecuación de la infraestructura y servicios auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento. (J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez, J. Herrera Herbert,2013)

2.2.3 Métodos De Perforación En Minería Subterránea

Existen varios métodos de perforación utilizados en la minería, tanto en superficie como en operaciones subterráneas. Aunque la energía mecánica es la principal fuente de energía en la perforación, es importante conocer los distintos tipos de perforación disponibles.

2.2.3.1 Perforación Manual

Este método recurre a equipos livianos operados por perforistas y se aplica en labores de pequeña escala donde, por las dimensiones del frente, no resulta viable ni rentable usar maquinaria mayor. En la práctica, una persona sostiene el barreno mientras otra lo golpea con una comba y, acto seguido, se lo gira a un ángulo predeterminado para continuar la perforación. Este enfoque es típico de la minería artesanal y, en determinados casos, puede ejecutarse por un solo operador. (R. J. Herrera, 2019)

Figura 1: Perforación manual taladro bosh



Fuente . Bosh

2.2.3.2 Perforación Neumática

En este método se emplea una perforadora convencional que utiliza aire comprimido para generar orificios de pequeño diámetro. Se usan barrenos integrales con punta tipo cincel, encargados de triturar la roca. En minería de pequeña escala se privilegia la rotopercusión neumática, que opera con una perforadora manual, barras o varillas, una broca o bit y un sistema

de barrido destinado a limpiar y evacuar los detritos generados durante la perforación. (Lopez Jimeno,2003)

Figura 2: Perforadora Neumática Canun



Fuente.Canun

2.2.3.3 Método Rotativo

El método rotativo se clasifica en dos categorías según el mecanismo de penetración: por trituración con triconos o por corte empleando brocas especiales. El primero se usa en rocas de dureza media a alta, mientras que el segundo es apropiado para materiales más blandos. En esta modalidad de perforación no interviene la percusión.(Lopez Jimeno,2003)

Figura 3: Perforación Sistema rotativo



Fuente. Epiroc S.A

2.2.3.4 Método Rotopercusivo

Este enfoque es ampliamente empleado en la minería subterránea y en trabajos a cielo abierto. Combina la acción de percusión, rotación, empuje y barrido para realizar la perforación de manera eficiente. (Lopez Jimeno,2003)

Figura 4: *Equipo de Perforación con Sistema Rotopercutivo*



Fuente.Epiroc S.A

2.2.4 Tipos De Perforación Según La Aplicación

2.2.4.1 Perforación de Banqueo

Estas perforaciones se ejecutan en sentido vertical u oblicuo y se aplican principalmente en proyectos a cielo abierto y en operaciones de minería subterránea, especialmente en métodos como el hundimiento por subniveles, donde permiten una fragmentación controlada y una eficiente extracción del mineral. (Manual de Perforación y Voladura de Rocas Atlas Copco,1984)

2.2.4.2 Perforación de Avance de Galerías y Túneles

Se trata de perforaciones, en su mayoría horizontales, ejecutadas de manera manual o mecanizada. Los equipos y procedimientos varían según el método de explotación; sin embargo, en minería subterránea de gran escala se emplean habitualmente jumbos de perforación con uno,

dos, tres o más brazos, que permiten desarrollar las labores con rapidez y alto grado de automatización. (Manual de Perforación y Voladura de Rocas Atlas Copco,1984)

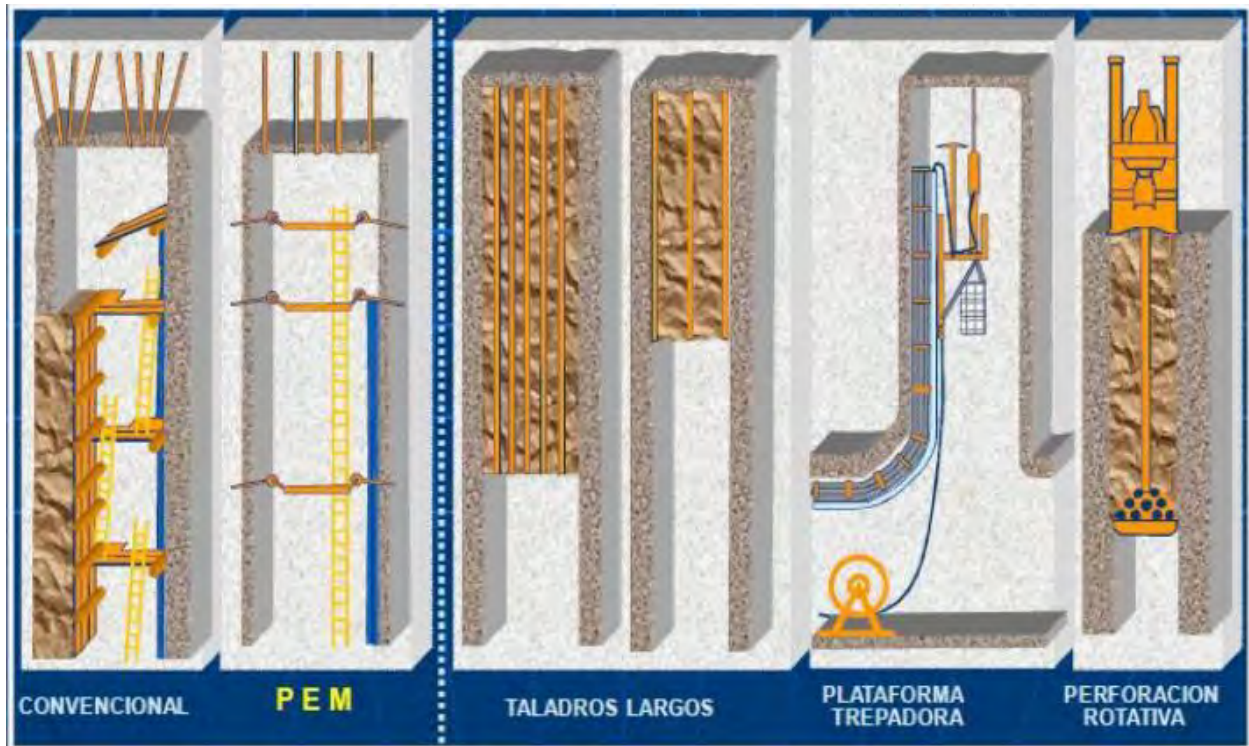
2.2.4.3 Perforación de Producción

Este término se utiliza para describir el conjunto de actividades de extracción de mineral que se llevan a cabo en las operaciones mineras. Las perforaciones de producción se ejecutan para cumplir con programas de producción previamente establecidos. (Manual de Perforación y Voladura de Rocas Atlas Copco,1984)

2.2.4.4 Perforación de Chimeneas y Piques

Se trata de trabajos verticales que se emplean ampliamente en la minería subterránea y en proyectos de obras civiles. En estos casos, se utilizan métodos de perforación especiales, como el RaiseBoring y la jaula trepadora Alimak, para llevar a cabo estas perforaciones verticales. (Manual de Perforación y Voladura de Rocas Atlas Copco,1984)

Figura 5: *Sistemas De Chimeneas*



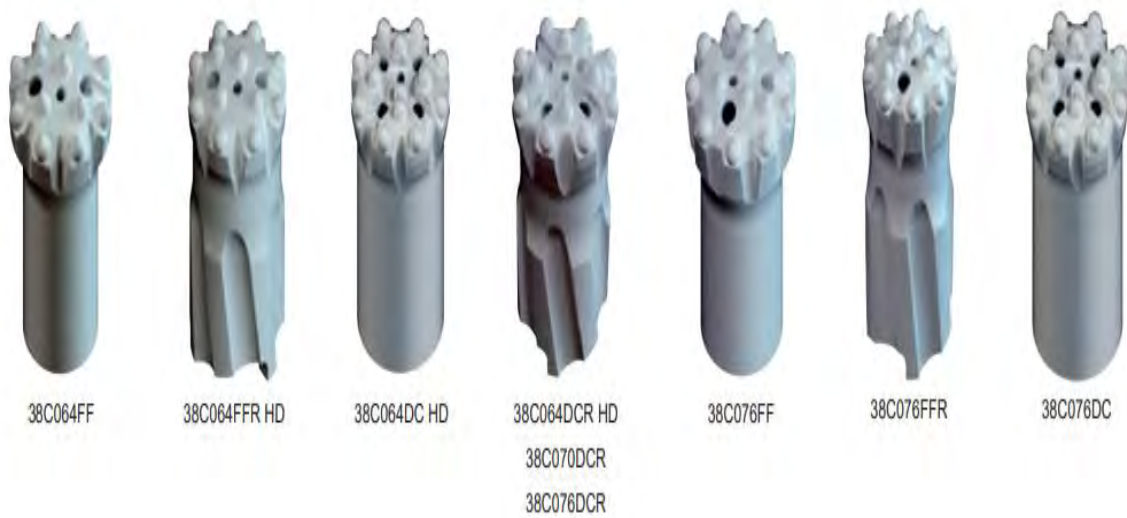
Fuente. ATR Contratistas SAC.

2.2.5 Brocas De Perforación

La broca es una herramienta de corte metálica que está comprendida por insertos de aleación de carburo tungsteno y cobalto introducidos a una matriz de acero, generan orificios circulares en distintos materiales. Su propósito es producir un hueco o cavidad cilíndrica.

Para seleccionar la broca adecuada deben considerarse la abrasividad y dureza del macizo rocoso así mismo la broca se desgasta y pierde filo, por lo que requiere reafilado; para ello pueden emplearse afiladoras industriales propias del mecanizado. También es posible afilar manualmente utilizando pequeñas amoladoras con muelas de grano fino. (Manual de Perforación de Rocas, 1984)

Figura 6: Brocas de Perforación I



Fuente. Manual Robit

Figura 7: Brocas de Perforación II

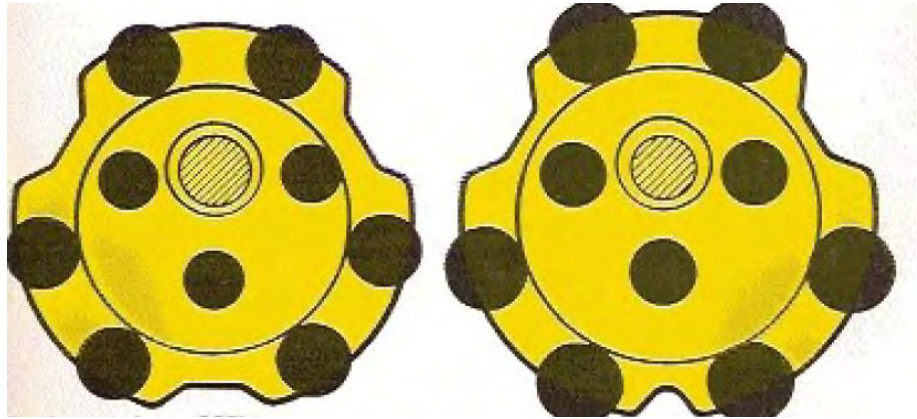


Fuente. Manual Robit

2.2.5.1 Tipos de Brocas

A.Brocas de Botones: Son insertos con aleaciones de carburo de tungsteno y cobalto impregnadas en una matriz de acero. (Manual de Perforación de Rocas Sandvik Coromant,1984)

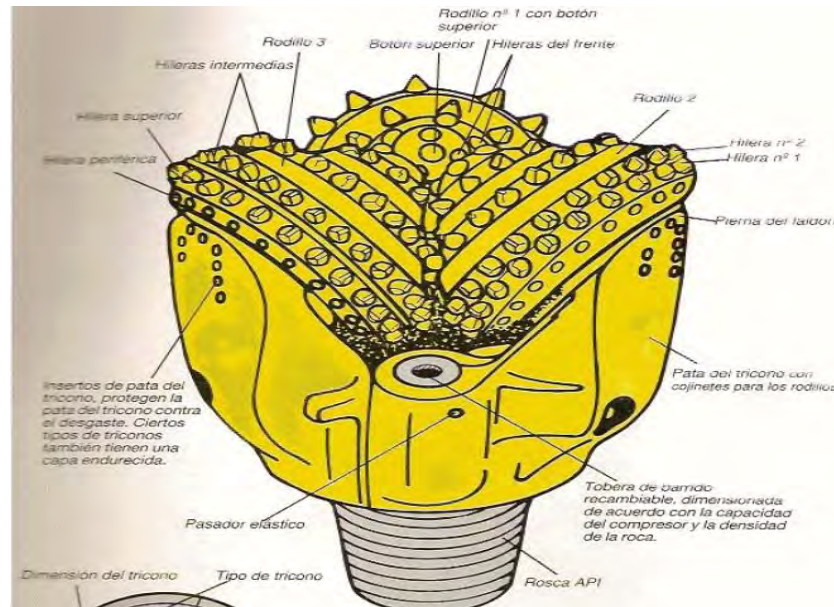
Figura 8: Brocas de botones



Fuente. Atlas copco

B.Brocas tricónicas: Estas brocas se emplean, por lo general, para perforar en ámbitos propios de la ingeniería civil, como aplicaciones geotécnicas y geofísicas, así como en pozos petroleros y minas de carbón. Los triconos destinados a terrenos más blandos pueden contar con dientes de acero tallados directamente en el cuerpo de los conos; además, según su arquitectura de corte, se fabrican con dientes o con insertos de carburo de tungsteno. (Manual de Perforación de Rocas Sandvik Coromant,1984)

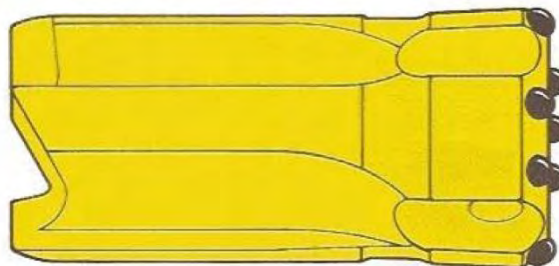
Figura 9: Broca triconica



Fuente.Sandvik Coromant

C.Brocas retractiles: se caracterizan por tener un cuerpo largo con canales en los bordes del cuerpo que facilitan la evacuación del detritus. (Manual de Perforación de Rocas Sandvik Coromant,1984)

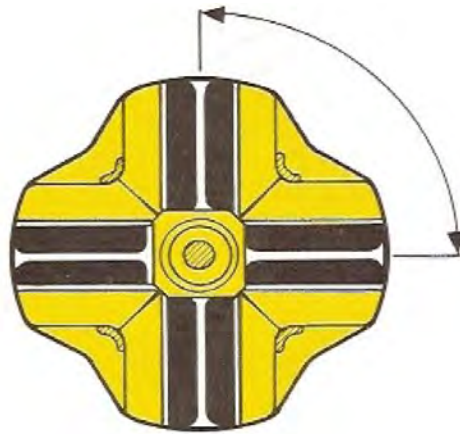
Figura 10: Broca retráctil



Fuente.Atlas Copco

D.Brocas de Plaquitas: esta existen en dos tipo en cruz y en x, estas están dispuestas en angulo recto sus diámetros son menores a 64 mm. (Manual de Perforación de Rocas Sandvik Coromant,1984)

Figura 11: Broca plaquitas

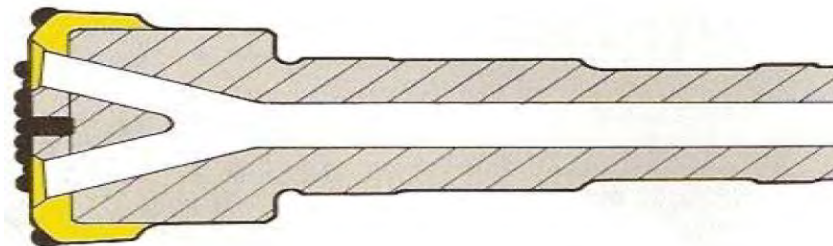


Fuente: atlas copco

E. Brocas Para Martillo en Fondo

Brocas con diámetros mayores a 85 mm estas usadas con martillo de percusión dentro del taladro (Manual de Perforación de Rocas Sandvik Coromant,1984)

Figura 12: Broca de martillo en fondo



Fuente. Atlas copco

2.2.6 Rendimiento de aceros de perforación

Es la cantidad de metros acumulados en perforación dependiendo el tipo de actividad en ser usado, lo cual estas son variables dependiendo el tipo de accesorio de perforación así como brocas, barras, shank, rimadoras, tubo guía, entre otros. Así mismo estas tienen una calidad de acero de fabricación que juega un rol importante en su rendimiento. También es importante considerar que factores como la geomecánica de la roca, la presión del aire, el barrido de detritos, la logística operativa, la capacitación del personal y el estado mecánico de los equipos influyen de manera significativa en la eficiencia y seguridad del proceso de perforación con taladros largos. Cada uno de estos elementos debe ser evaluado y controlado para garantizar una operación estable, segura y con resultados óptimos. (manual de aceros, Boart Longyear, 2021)

Rendimiento en shank y brocas

$$R = \frac{m}{q}$$

R: rendimiento (m/broca ; m/shank)

m: metros acumulados

q: cantidad de aceros

Rendimiento específico en brocas

Consiste en el seguimiento unitario de los metros perforados de cada broca debidamente rotulado esto implica que el operador y/o encargado lleve el control de metros por cada taladro y el metraje acumulado implica como el rendimiento obtenido.

Rendimiento en barras

$$R = \frac{MT}{LB(NB(NB + 1)/2)} * NB$$

R: rendimiento(m/barra)

- MT: metros acumulados
- NB: número de barras
- LB: longitud de barra

2.2.7 Taladros Largos

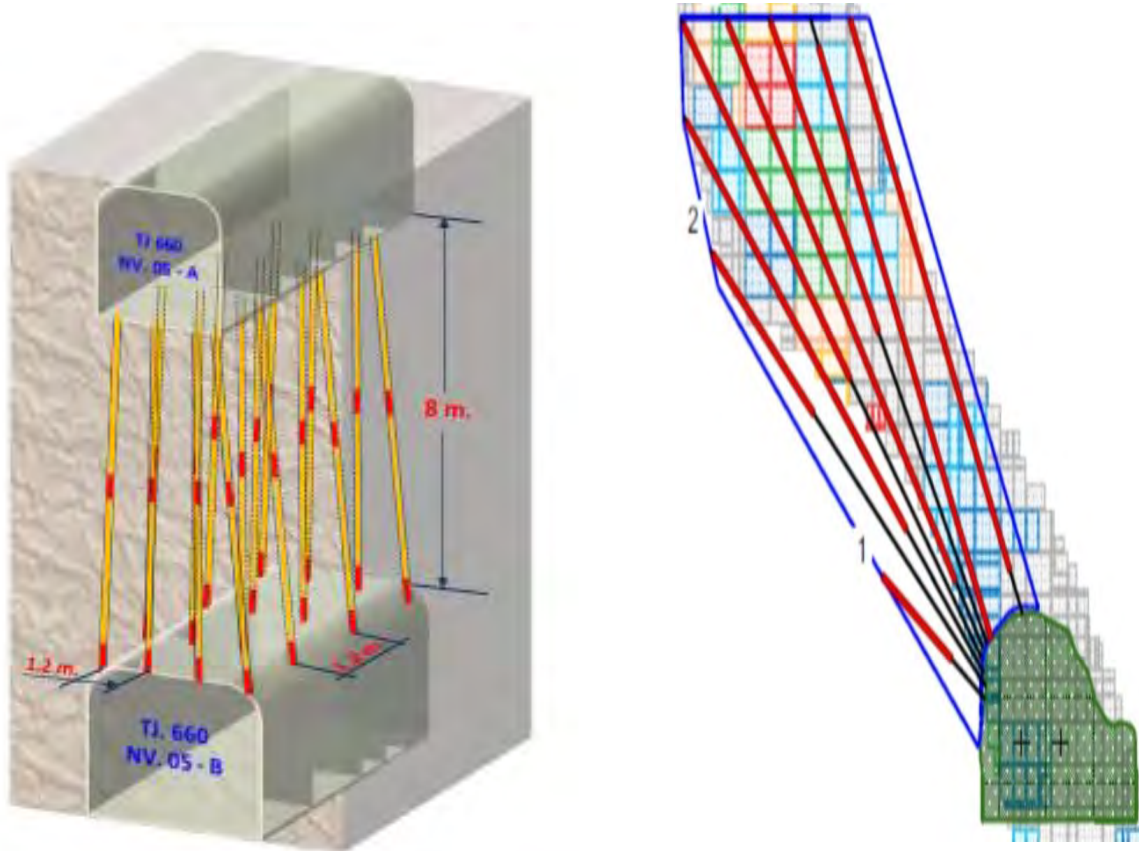
Este método de extracción de minerales puede llevarse a cabo en direcciones descendentes o ascendentes. En este artículo, nos centraremos en la variante ascendente del proceso. Para implementar este método, se construye una rampa principal que conecta niveles subterráneos, con subniveles de aproximadamente 7 metros de separación, que se extienden hacia ambos lados de la rampa hasta conectarse entre sí. En un extremo de la rampa, se realiza una perforación llamada "chimenea slot", que crea una cara libre para la perforación de taladros de producción y, posteriormente, la voladura de los bloques que se explotarán en el tajo o labor. Esta chimenea slot también cumple una función importante en el sistema de ventilación subterránea.

La explotación mediante este método requiere abordar dos aspectos fundamentales:

- La necesidad de que las cajas o bloques de roca sean lo suficientemente competentes como para proporcionar soporte autónomo durante un período determinado sin relleno adicional.

- Un planeamiento detallado que establezca la disposición y geometría específicas de los subniveles, así como la secuencia de perforación y voladura.

Figura 13: Ejemplo de Taladros Largos



Fuente: Propia

2.2.7.1 Aplicación De Taladros Largos

Los métodos de explotación subterránea que emplean taladros largos alcanzan resultados óptimos siempre que se planifiquen y diseñen adecuadamente. Su uso no solo abarca cuerpos, vetas anchas y depósitos diseminados; en los últimos años también se ha extendido a vetas angostas. Por ello, muchas operaciones que dejan prácticas convencionales para adoptar esquemas

mecanizados están implementando taladros largos en vetas estrechas con potencias superiores a 1 m. (William A. Hustrulid & Richard, 2001)

A). Taladros largos en el Método de Explotación por Subniveles (Sub Level Stopping)

Es el método más difundido que emplea taladros largos y, por ello, el más utilizado en la industria minera.

Consideraciones de Diseño:

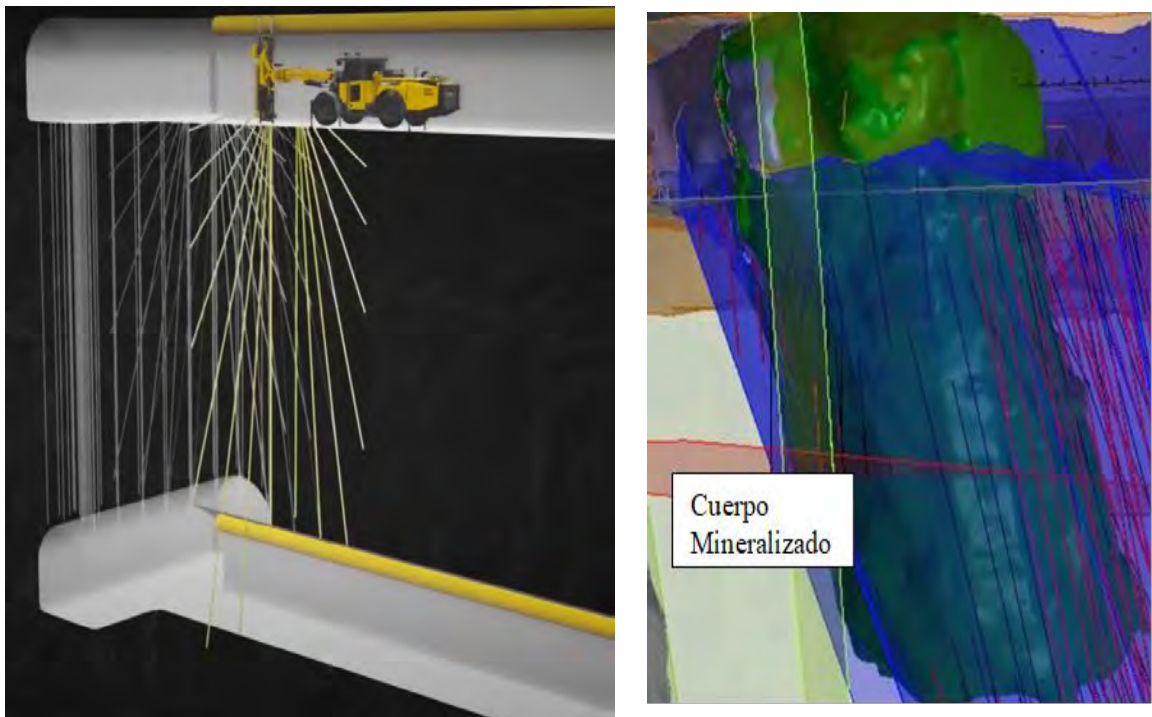
- El depósito debe ser vertical o cercano a la vertical.
- Las rocas encajonantes han de ser competentes y resistentes.
- El mineral debe presentar buena competencia y estabilidad.
- Los límites del yacimiento deben ser amplios y regulares.

Se trata de un método de alta productividad desde la etapa de preparación, dado que las labores se desarrollan dentro del mineral. La explotación se ejecuta desde los niveles, definiendo así los intervalos verticales; entre los niveles principales se habilitan subniveles. El mineral derribado por taladros largos o desde los subniveles cae hacia la cavidad, se recupera mediante los drawpoints y luego se transporta a superficie.

Durante el desarrollo y la preparación resulta clave definir los intervalos entre niveles, pues condicionan el tamaño óptimo de la cámara; esta altura suele variar entre 60 y 130 m, en función de la altura del yacimiento. Las galerías de perforación deben trazarse dentro del mineral como

subniveles. El corte o arranque conviene ejecutarlo desde el fondo del taladro. Este sistema es especialmente ventajoso en yacimientos verticales de buena potencia: la perforación por subniveles se realiza exclusivamente con taladros largos paralelos, empleando barras de extensión para alcanzar profundidades adecuadas, con diámetros de 2" a 5" y longitudes del orden de 15 a 20 m. Operativamente, se inicia el ensanche en la base, generando una abertura cónica para extraer el mineral por los puntos de descarga (drawpoints); luego se perfora en sentido descendente y la voladura comienza por abajo, avanzando en forma ascendente o lateral hacia una cara libre. La distancia entre subniveles depende en gran medida de la desviación de los taladros.

Figura 14: Perforación Explotación por Sub Niveles



Fuente:Atlas Copco

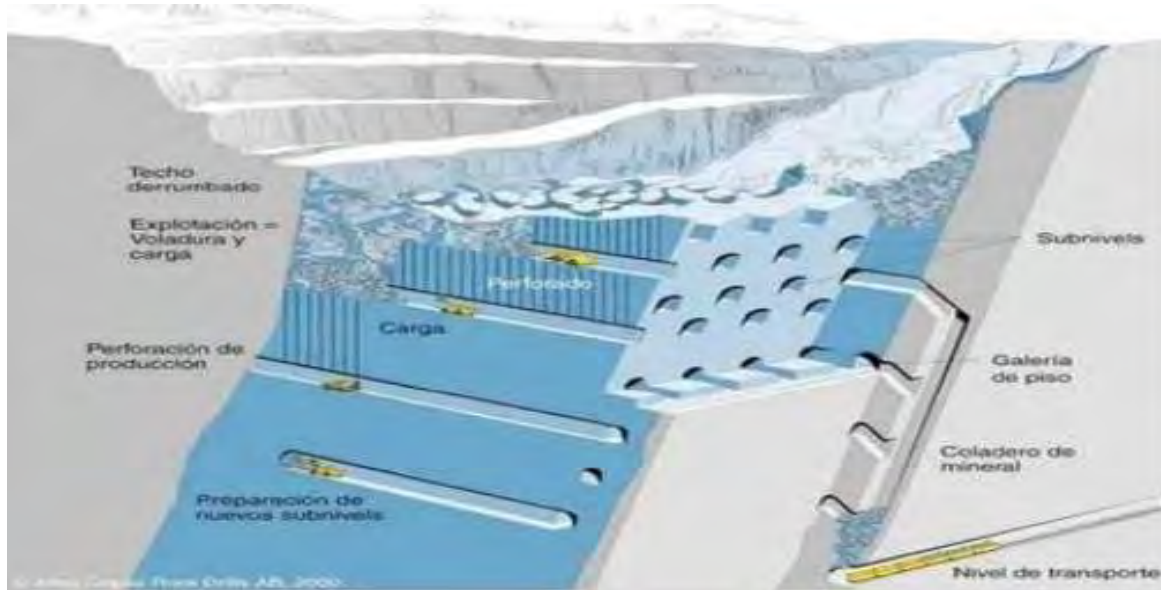
B). Taladros Largos en el Método por Sub Level Caving:

En este método el cuerpo es dividido en subniveles o espacios verticales proporcionalmente de 8 a 10 m. dependiendo de los equipos de perforación y de dependiendo de los equipos de perforación y de las características del yacimiento.

En el método de hundimiento por subniveles, la perforación de taladros largos se realiza, por lo general, desde el subnivel superior con trazos en paralelo dispuestos en abanico y en modalidad de retirada; es habitual perforar por completo varios subniveles antes de iniciar la voladura y la producción. Para comenzar el arranque se habilita una “rosa” o apertura en el techo de cada subnivel que actúe como vía de alivio para la voladura en retirada. De manera simultánea coexisten frentes en distintas etapas —arranque, carguío, perforación y preparación—, y la perforación-voladura se ejecuta, en términos generales, en anillos, aunque también puede hacerse en paralelo.

Este método se aplica preferentemente cuando: (i) el yacimiento es masivo, de geometría predominantemente vertical, de grandes dimensiones y alto buzamiento; (ii) los límites del cuerpo mineralizado son regulares; (iii) el terreno superficial admite hundimientos sin generar problemas graves; y (iv) no se requiere clasificación selectiva del mineral. (William A. Hustrulid & Richard, 2001)

Figura 15: Sub Level Caving



Fuente. Atlas Copco

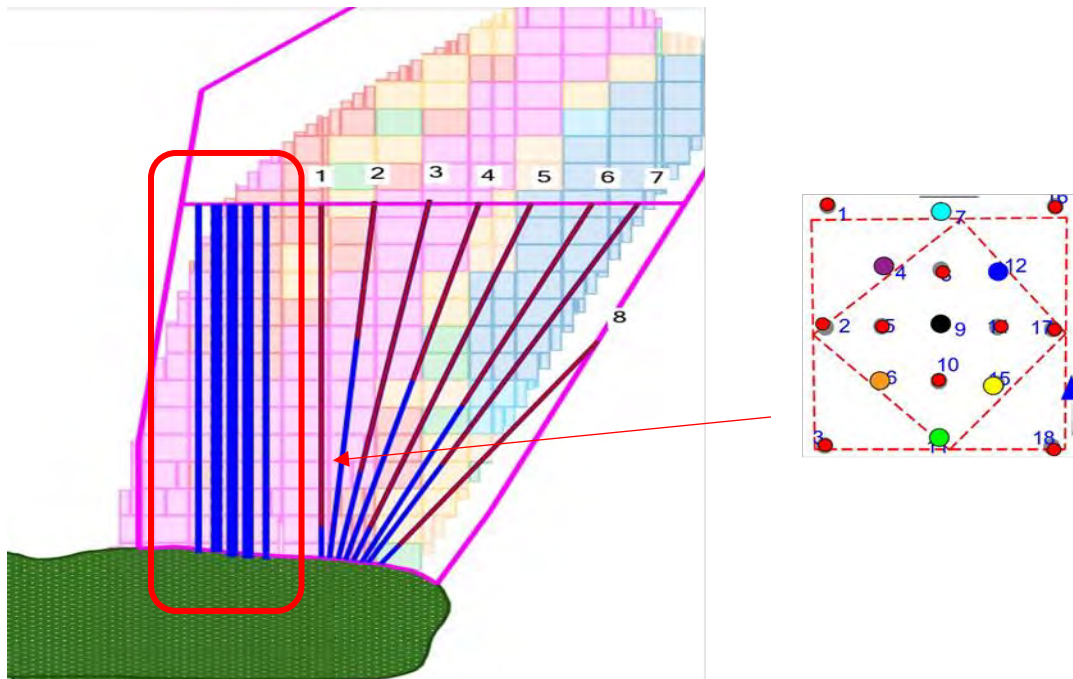
El método Sub Level Caving se caracteriza por ofrecer una notable flexibilidad operativa y una elevada capacidad de extracción, la cual puede incrementarse mediante la incorporación de personal y maquinaria adicional. Esta adaptabilidad permite alcanzar una capacidad óptima en cada etapa del flujo de mineral, garantizando una continuidad productiva eficiente y un aprovechamiento máximo del yacimiento. .(López Jimeno,2003)

C). Perforación de Slot -Chimenea para Taladros Largos.

Es una labor subterránea de manera vertical o ligeramente inclinado cuya función es netamente generar la cara libre del tajo así mismo se usa en algunos casos como una chimenea

para ventilación, o servicios mina , estas se realizan por medio de perforación de taladros largos previo diseño detallado para su voladura, así mismo en algunas minas se realizan por la metodología de perforación de raise boring.(Manual de taladros largos cetemin ,2015)

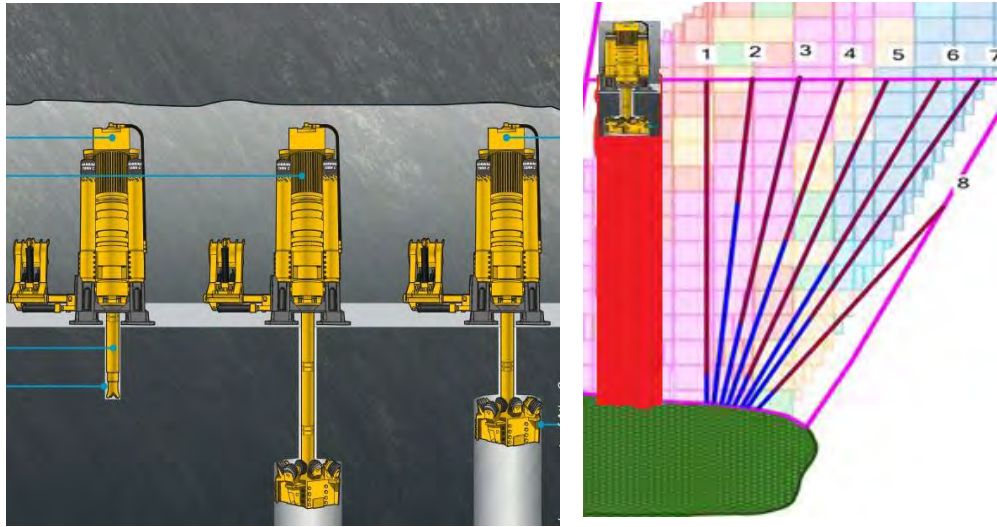
Figura 16: Malla de Perforacion de Slot



Fuente. Propia

La perforación de un slot necesariamente requiere un malla de perforacion especifica y perforaciones con taladros pilotos y rimados ,la otra metodología es la perforacion por Raise boring el cual tiene un acabado mucho mejor ,como también un mínimo de sobrerotura y por el punto de vista de seguridad muy seguro no se usa explosivo y menor exposición del personal.

Figura 17: Perforación Raise boring



Fuente. Epiroc

En la figura anterior se puede observar cómo se preparan los cruceros en el nivel superior y en el nivel inferior.

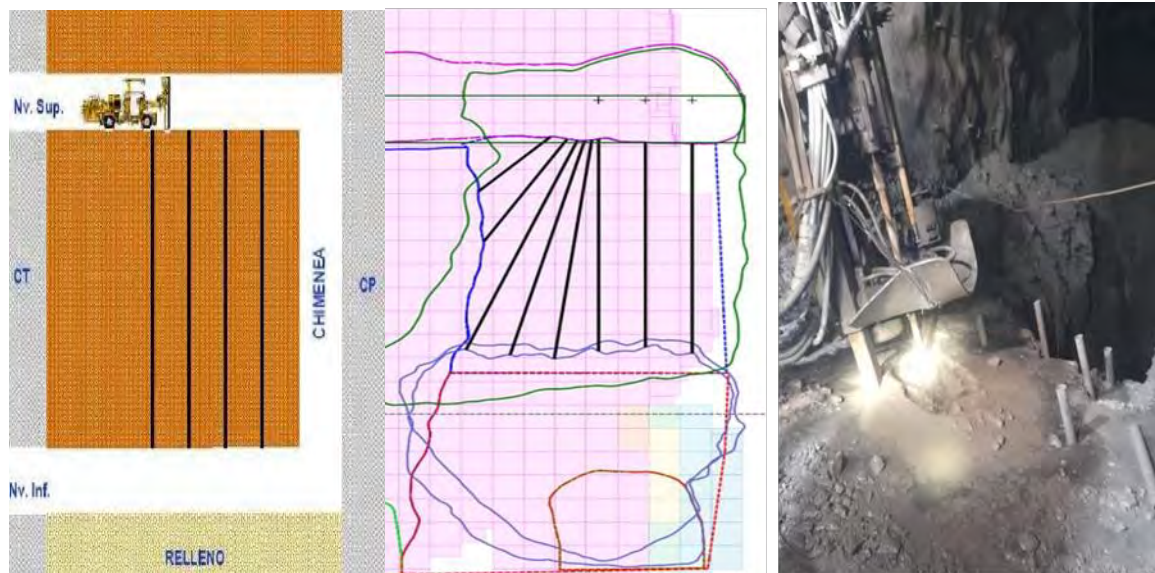
Figura 18: Elaboración de Chimeneas -slot



Fuente. Propia

En la figura anterior se puede observar cómo se elabora la Chimenea Slot o cara libre.

Figura 19: Perforación de Taladros Negativos



Fuente. Propia

En la figura anterior se puede observar cómo se inicia la perforación de taladros negativos.

Figura 20: Limpieza de Mineral



Fuente: Propia

En la figura anterior se puede observar cómo se dispara y se comienza la limpieza de mineral.

d). Otros

En otros métodos también se emplean taladros largos, aunque en menor escala; por ejemplo, en el método VCR, también llamado minado por cráteres en retroceso, considerado uno de los desarrollos más relevantes de la minería subterránea moderna gracias a la incorporación de taladros de gran diámetro. Entre sus ventajas respecto de otros métodos destacan un menor desarrollo, el uso de grandes diámetros que reduce costos de perforación y voladura, la aplicación de cargas esféricas que disminuye el factor de carga, la independencia operativa entre perforación, voladura y carguío, una mejor fragmentación y la posibilidad de realizar disparos de gran magnitud con alta producción de mineral. Las variaciones en la aplicación de taladros largos dependen en gran medida de las condiciones del yacimiento; una vez evaluadas las variables pertinentes, se adoptan con el propósito de elevar la productividad. .(Huarachiri,2021)

2.2.8 Parámetros de Perforación

Los parámetros de perforación, como la velocidad de rotación y las presiones de perforación, son factores críticos que afectan la eficiencia y la vida útil de los aceros de perforación. Cuya importancia es la de ajustar adecuadamente estos parámetros es esencial para optimizar el rendimiento de los aceros y minimizar su desgaste. (Manual de perforación de rocas Sandvik coromant,1984)

Figura 21: Manómetros de presión de perforación



Fuente: Propia

2.2.9 Mantenimiento de Perforadoras

El mantenimiento preventivo es un conjunto de prácticas y procedimientos planificados que tienen como objetivo prevenir el deterioro y la falla de equipos y componentes en la minería, lo que incluye el mantenimiento de los aceros de perforación.

Importancia: Implementar un programa de mantenimiento adecuado puede reducir los descartes prematuros de los aceros y extender su vida útil. (Manual de operación de equipos ,Epiroc,2021)

CAPITULO III

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación para la tesis sobre el incremento del rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos en la Unidad Minera Americana-Alpayana es de investigación aplicada.

La investigación aplicada se caracteriza por tener un enfoque práctico y busca generar conocimientos que puedan ser utilizados para resolver problemas específicos en la práctica o mejorar procesos y procedimientos en un entorno real. En este caso, estás investigando cómo implementar procedimientos concretos para prolongar el rendimiento de los aceros de perforación en una unidad minera específica, lo que tiene un claro propósito práctico en la industria minera. (Sampieri,2014)

3.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación para el proyecto de tesis es descriptivo, ya que se enfoca en describir, analizar y comprender detalladamente la situación actual y los factores que el rendimiento de los aceros de perforación en la actividad de taladros largos en la Unidad Minera Alpayana. A través de la recopilación de datos, la observación y el análisis de variables relevantes, la investigación tiene como objetivo proporcionar una visión completa y detallada de la problemática y de las posibles soluciones. (Sampieri,2014)

3.4 Población de Estudio Y Muestra

3.4.1 Población

La población del estudio para el proyecto de tesis está compuesta por 07 equipos que realizan la perforación de taladros largos ,estos equipos están equipados con 01 columna de perforación respectivamente(shank, barra MF y broca). Estos equipos representan la totalidad de la población que se utilizará para recopilar datos y llevar a cabo el análisis en la investigación. (Sampieri,2014)

3.4.2 Muestra

El tamaño de la muestra de estudio se considera 01 columna de perforación correspondiente a 01 equipo ,el cual se selecciona la muestra basadas en un juicio subjetivo que es netamente elegida por el tipo de roca regular ,siendo este un terreno estándar de mayor porcentaje presente en las perforaciones de taladros largos dentro de la unidad minera, por ende vendría a ser una muestra no probabilística. (Sampieri,2014)

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección y Procesamiento de Información

3.5.1 Técnica de Recolección de Información

- Entrevistas con operadores y personal de campo: Realizar entrevistas con los operadores de equipos de perforación y voladura, así como con el personal de campo involucrado en estas operaciones, te permitirá obtener información directa sobre sus experiencias, prácticas y desafíos en el sitio. Puedes utilizar entrevistas semiestructuradas para explorar en profundidad sus conocimientos y percepciones. (Sampieri,2014)

- Revisión de registros y vales de salida: La revisión de registros de operación, vales de salida de los accesorios y otros documentos relacionados con las actividades de perforación y

voladura proporcionará datos concretos sobre los procedimientos seguidos, el rendimiento de los equipos y el uso de los accesorios. Esto puede ser esencial para evaluar la eficiencia y la productividad.

- **Análisis de datos operativos:** Utilizar datos operativos recopilados in situ, como rendimientos y KPI (indicadores clave de rendimiento) relacionados con la producción y costos por metro perforado, te permitirá realizar un análisis cuantitativo detallado. Esto podría incluir la utilización de software especializado para el procesamiento de datos y la generación de estadísticas.

- **Observación directa en el campo:** La observación en el lugar de trabajo es crucial para comprender las condiciones reales en las que se llevan a cabo las operaciones de perforación y voladura. Puedes observar el proceso de trabajo, la interacción de los equipos y las prácticas de seguridad, lo que aportará información valiosa sobre las operaciones diarias.

- **Encuestas a operadores y supervisores:** Complementando las entrevistas, puedes administrar encuestas a operadores y supervisores para obtener datos cuantitativos sobre su percepción de la eficacia de los procedimientos, la seguridad en el trabajo y las necesidades de mejora.

3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Se emplearía diversas herramientas informáticas para llevar a cabo el análisis de datos. Entre ellas, se utilizó Microsoft Excel, que es una aplicación de hoja de cálculo desarrollada por Microsoft y compatible con sistemas operativos como Windows, macOS, Android e iOS. Esta aplicación ofrece funciones de cálculo, creación de gráficas, tablas calculares y también integra un lenguaje de programación macro conocido como Visual Basic para aplicaciones (VBA).

3.5.3 Instrumentos de Procesamiento de Datos y Presentación de Resultados

Además de Excel, se usó power bi para el análisis de datos y para la visualización de resultados así mismo para el control logístico (SAP) y para la presentación de resultados Power point.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN

4.1 AMBITO DE ESTUDIO

Alpayana es un grupo minero dedicado principalmente a la minería subterránea, enfocado en la extracción de minerales polimetálicos como zinc, plomo, cobre y plata. Sus tres unidades operativas —Americana, Yauliyacu e Iscaycruz— se encuentran situadas en la sierra de Lima. Con una herencia profundamente vinculada a la tradición minera peruana, la compañía tiene sus orígenes en Minera Casapalca, fundada en 1889 bajo la empresa Backus & Johnston. En 1997, Alpayana adquirió las principales concesiones de Centromin Perú y los yacimientos vecinos pertenecientes a pequeños mineros, consolidando así un paso decisivo hacia una minería moderna y sostenible.

En su proceso de evolución organizacional, hacia finales de 2019 la empresa renovó su visión, misión y pilares corporativos, acompañando este cambio con una nueva identidad institucional. Posteriormente, en 2022, Alpayana amplió su alcance al integrar las unidades polimetálicas Yauliyacu, en Huarochirí, e Iscaycruz, en Oyón, tras la adquisición total de Los Quenuales, anteriormente gestionadas por Glencore. El propósito esencial de Alpayana radica en identificar y aprovechar oportunidades que permitan transformar su entorno mediante acciones responsables y sostenibles que generen un impacto positivo en las comunidades y en la industria minera nacional.

4.1.1 Ubicación

La unidad minera americana está situada en la región conocida como Piedra Parada, en la localidad de El Carmen, Chicla, dentro del departamento de Lima. Su ubicación geográfica se encuentra en la zona central, en el lado occidental de la cordillera de los Andes, específicamente entre las coordenadas UTM 366761.70E 8710455.60N.

El campamento Casapalca se encuentra a una elevación de 4350 metros sobre el nivel del mar, mientras que la entrada principal de Gubbins se sitúa a una altitud de 4200 metros.

Figura 22: Ubicación de la Unidad Minera.



Fuente: Compañía Minera

4.1.2 Acceso

Para llegar a esta área, se puede tomar una carretera asfaltada que sigue la ruta Lima – Casapalca, con una longitud total de aproximadamente 129 kilómetros y un tiempo de viaje estimado de 4 horas. También, la carretera asfaltada que parte desde Huancayo y pasa por la Oroya

antes de llegar a Casapalca tiene una extensión de 100 kilómetros y se completa en unas 3 horas y 47 minutos de viaje.

1. Tabla: Rutas y vías de acceso

Tramo		Vía	Distancia (km)	Tiempo (h)
Lima	Casapalca	Terrestre asfaltado	129 km	4 h
Huancayo	Casapalca	Terrestre asfaltado	100 km	3 h 47 min
Casapalca	Piedra Parada	Trocha carrozable	3 km	15 min

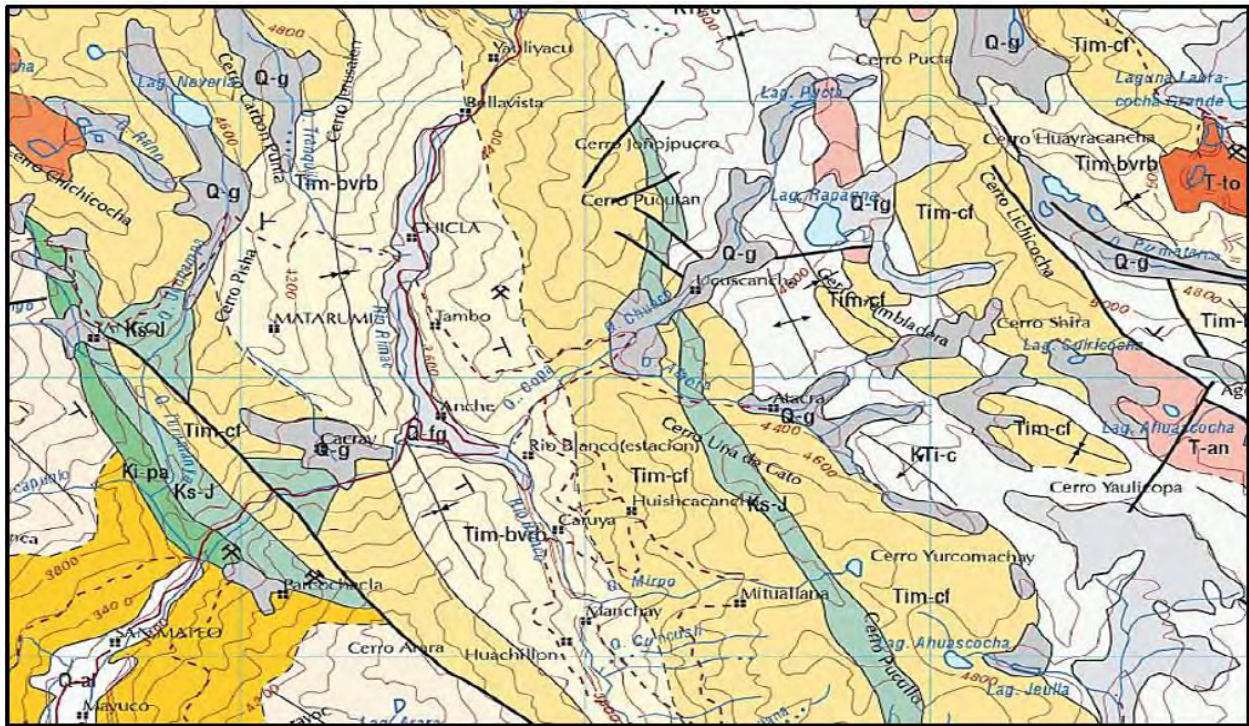
Fuente: Compañía Minera

4.1.3 Geología

4.1.3.1 Geología Regional

De acuerdo con A. Cámac Bavin, la estratigrafía del distrito minero de Alpayana está formada por una alternancia de rocas sedimentarias y volcánicas, con edades que abarcan desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario. Las estructuras dominantes siguen el trazo general de los Andes; destaca el “Anticlinal y Sinclinal Casapalca”, un pliegue de amplitud moderada en el sector central que se cierra hacia el norte y pasa a una falla inversa de empuje con buzamiento al este. Asimismo, se reconocen pequeños intrusivos de composición intermedia emplazados en las secuencias sedimentarias y extrusivas, los cuales comparten una química semejante y se distinguen principalmente por sus rasgos texturales.

Gráfica 1: Mapa De Geología Regional



Fuente: INGEMMET

4.1.3.2 Geología Local

En la Unidad Minera Alpayana, las rocas más antiguas corresponden a la Formación Casapalca, la cual está constituida por areniscas, lutitas y conglomerados. En su base se desarrolla el miembro de capas rojas, conformado por una potente secuencia de areniscas y lutitas de grano fino con tonalidades rojizas. Sobre este nivel se superpone el miembro Carmen, caracterizado por la presencia predominante de areniscas, lutitas y conglomerados dispuestos en estratos bien definidos.

4.1.4 Geomecánica del Área en Estudio

Según la información proporcionada por Rojas A. en 2021, la disciplina de la geomecánica desempeña un papel crucial al conceptualizar la viabilidad económica, considerando

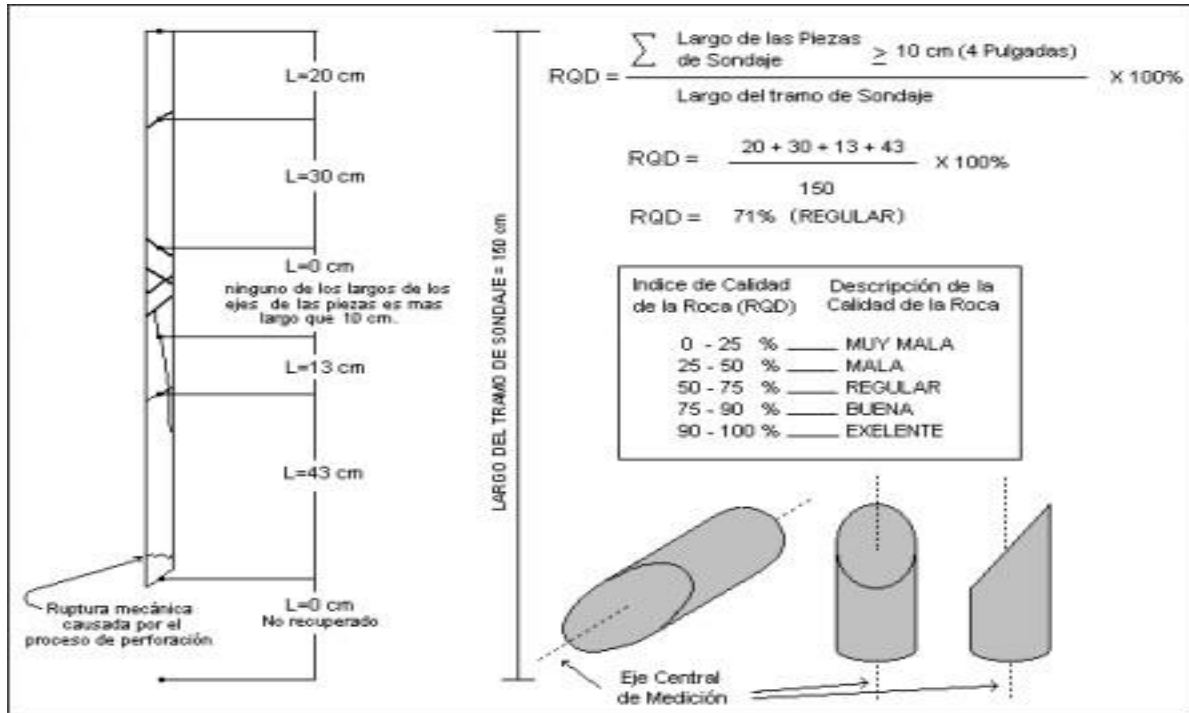
simultáneamente el beneficio financiero y la seguridad dentro de parámetros aceptables. Esta conceptualización influye directamente en la elección del tipo de sostenimiento que se debe implementar. El comportamiento del macizo rocoso está intrínsecamente ligado a la presencia de carbonatos, los cuales son materiales arcillosos derivados de la fase de formación de la roca. Estas arcillas se originan como resultado de un proceso de alteración hidrotermal en una formación secundaria. Como resultado de esta presencia, se genera un desgaste prematuro y una disminución en la calidad tanto del macizo rocoso como del mineral. Asimismo, la continua absorción de agua subterránea provoca una reducción significativa en la resistencia de la roca y un incremento de las presiones ejercidas sobre las paredes. Estos aspectos constituyen factores determinantes al momento de definir el tipo de sostenimiento más adecuado para garantizar la estabilidad y seguridad del entorno minero.

4.1.4.1 Índice de calidad de la roca (RQD)

Deere (1963) lo introdujo como un método de clasificación del macizo rocoso. El Índice de Calidad del Testigo (RQD, por sus siglas en inglés) se define como el porcentaje de testigos recuperados en piezas completas de 100 mm o más respecto a la longitud total del testigo. Para estimarlo con precisión se recomienda un diámetro mínimo de 54.7 mm y recuperación con perforadora diamantina de doble barril. La expresión de cálculo es: $RQD = (\sum \text{longitudes de fragmentos} \geq 100 \text{ mm} / \text{longitud total del testigo}) \times 100 \%$.

$$RQD = \frac{\sum Longitudes > 10cm}{longitud\ total\ de\ testigo} \times 100\%$$

Figura 23: Procedimiento y cálculo para la medición del RQD



Fuente: Suarez, 2014.

4.1.4.2 Clasificación de Barton (NGI) – Sistema Q

Barton desarrolla su evaluación utilizando un sistema denominado "Q", el cual se deriva de la observación de seis parámetros relacionados con el macizo rocoso. Barton asigna valoraciones específicas a cada uno de estos parámetros. La expresión que representa el sistema "Q" es la siguiente:

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

En la ecuación proporcionada, donde:

RQD = representa el porcentaje de núcleos recuperados con tamaños de 10 cm o más en relación con la longitud total del barreno.

Jn = Es El Número De Sistemas De Fisuras O Discontinuidades Presentes.

Jr = Denota El Número De Rugosidades En Las Fracturas.

Ja = Es El Número De Zonas De Alteración En Las Fisuras.

Jw = Representa Los Factores De Reducción Por La Presencia De Agua En Las Fisuras.

SRF = Es El Factor De Reducción Por Esfuerzos Aplicados.

La asociación de factores permite dar un sentido físico a cada uno de ellos:

$$\frac{RQD}{J_n} = \text{Tamaño de los bloques}$$

$$\frac{J_r}{J_a} = \text{La resistencia al esfuerzo cortante inter bloques}$$

$$\frac{J_w}{SRF} = \text{Los esfuerzos activos}$$

4.1.4.3 Clasificación Bieniawsky – INDICE RMR

De acuerdo con Rojas A. (2021), el Rock Mass Rating (RMR) fue concebido por Z. T. Bieniawski entre 1972 y 1973 y posteriormente ajustado en 1976 y 1979, a partir de más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones; la versión de uso extendido es la de 1989, muy afín a la de 1979. La estimación del índice RMR de calidad del macizo rocoso se basa en seis parámetros del terreno: la resistencia a compresión simple de la roca, el RQD, el espaciamiento de las discontinuidades, la condición de las diaclasas (apertura, continuidad,

rugosidad, dureza de las caras y relleno), la presencia de agua y la orientación de las discontinuidades.

El valor del RMR se obtiene a partir de la suma de las puntuaciones asignadas a los seis parámetros que conforman el sistema. Este índice varía entre 0 y 100, donde los valores más altos indican una mejor calidad del macizo rocoso. Según la clasificación propuesta por Bieniawski, el macizo se divide en cinco categorías: roca muy buena (RMR entre 81 y 100), buena (61 a 80), regular o media (41 a 60), mala (21 a 40) y muy mala (0 a 20). En consecuencia, un valor elevado de RMR refleja un comportamiento estructural más estable y favorable para el desarrollo de labores subterráneas.

- CLASE I: $RMR > 80$; Roca muy buena.
- CLASE II: $80 < RMR < 60$; Roca buena.
- CLASE III: $60 < RMR < 40$; Roca media.
- CLASE IV: $40 < RMR < 20$; Roca mala.
- CLASE V: $RMR < 20$; Roca muy mala.

Se describen 10 parámetros seleccionados para definir sus características, incluyendo orientación, espaciamiento, continuidad, rugosidad, resistencia de la discontinuidad, apertura, relleno, filtraciones, número de familias y tamaño del bloque.

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 - B$$

- Fue desarrollado en función a 5 parámetros
- A1 Strength of intact rock (from UCS or point load test)
- A2 RQD

- A3 Spacing of discontinuities
- A4 Condition of discontinuities
- A5 Groundwater conditions
- Nota: (B) como base de ajuste se tiene a la orientación de discontinuidades

Respecto a las consideraciones, se destaca que la resistencia de la roca tiene una validación máxima de 15 puntos, utilizando el resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple o el Ensayo de Carga Puntual (Point Load). Además, el índice de calidad de la roca (RQD) tiene una valoración máxima de 20 puntos y se define como la relación porcentual entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del sondeo, según la propuesta de Deere (1968). Con base en los rangos de RQD, la calidad del macizo rocoso se clasifica mediante la tabla 02. La separación entre discontinuidades —con puntaje máximo de 20— se valora midiendo en metros la distancia entre las juntas de la familia principal de diaclasas. El estado de las discontinuidades, el factor de mayor peso con hasta 30 puntos, se aprecia por criterios globales: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y grado de alteración. La presencia de agua subterránea, con tope de 15 puntos, se califica según tres aspectos: condición general, caudal por cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor del macizo. Respecto a la orientación de las discontinuidades, este parámetro tiene valoración negativa y varía entre 0 y 12 puntos para túneles; depende del buzamiento y del rumbo de las diaclasas frente al eje del túnel o rampa (paralelo o perpendicular). Se distinguen cinco categorías, de Muy Favorable a Muy Desfavorable, aplicando en cada caso la deducción indicada en la tabla correspondiente.

Primero, se divide el macizo rocoso en segmentos que comparten características geológicas uniformes para llevar a cabo la clasificación RMR. Luego, se recopilan datos y medidas

correspondientes a la tabla de clasificación geomecánica, que abarcan las propiedades y características tanto de la matriz rocosa como de las discontinuidades.

La clasificación implica asignar puntuaciones basadas en cinco parámetros principales, cada uno evaluado según una escala específica. Estos parámetros incluyen la abertura de las discontinuidades, su rugosidad, el tipo de relleno presente, el grado de alteración y las condiciones relacionadas con el agua subterránea o freática.

La obtención de puntuaciones se realiza mediante la aplicación de los criterios detallados en la tabla, generando un valor numérico que proporciona la base para clasificar el macizo rocoso.

Tabla 2: Orientación de las discontinuidades

Corrección por la orientación de las discontinuidades					
Dirección y Buzamiento	Muy favorables	favorables	medias	desfavorables	Muy desfavorables
túneles	0	-2	-5	-10	-12
cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski 1989

Posteriormente, tras la aplicación de los cinco parámetros, se procede a efectuar la corrección por la orientación de las discontinuidades empleando la tabla correspondiente, con lo cual se obtiene una clasificación geomecánica más representativa o real del macizo rocoso.

4.1.4.4 Índice de G.S.I. (Geological Strength Index)

Según Rojas A. (2021), el Índice de Soporte Geotécnico (G.S.I.) constituye un método práctico de clasificación geomecánica empleado en minería. El primer paso para estimarlo consiste

en definir empíricamente la resistencia y la deformabilidad de la masa rocosa, tomando como base las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y las características de las superficies (alteración, morfología de las fracturas y presencia de rellenos). Entre los parámetros que más condicionan el comportamiento del GSI destacan el estado de fracturamiento, la resistencia del macizo, el tipo de labor (temporal o permanente) y el ancho de la excavación.

La evaluación del fracturamiento se efectúa con flexómetro o cinta métrica, contabilizando el número de discontinuidades presentes a lo largo de un metro de roca expuesta; es esencial que la pared de la labor esté debidamente limpia para lograr una observación nítida y precisa.

Figura 24: Tabla Geomecánica de GSI

Reg. 01-EST 018 ALPAYANA S.A. UNIDAD AMERICANA SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO LABORES MINERAS DE PREPARACION Y DESARROLLO (2.50 a 9.0 m. de Luz)		21 CONDICION RESISTENCIA Y CONDICION SUPERFICIAL	
1.4) TIPO DE SOSTENIMIENTO		Abaco con relacion RMR	
A ROCA BUENA TIPO II A. (RMR 71-80) SIN SOPORTE o PERNO OCASIONAL. (CONTROL DE BLOQUES INESTABLES). Perno Helicoidal a Split Set de 5 a 7 pies. B PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal a Split Set) de 5 a 7 pies. A. 1.50 x 1.50 m. C ROCA REGULAR TIPO III A. (RMR 61-60) PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal a Split Set) de 5 a 7 pies. A. 1.50 x 1.50 m. C1 PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal a Split Set) de 5 a 7 pies. A. 1.50 x 1.50 m. con MALLA 2" Pulg. o PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal a Split Set) de 5 a 7 pies. A. 1.50 x 1.50 m. con MALLA 2" Pulg. y SHOTCRETE 2" Pulg. a CUADRO DE MADERA 2" x 2" x 1.50 m. y Marchavantes. D ROCA BUENA TIPO IV A. (RMR 51-50) PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal a Split Set) de 5 a 7 pies. A. 1.50 x 1.50 m. con MALLA 2" Pulg. y SHOTCRETE 2" Pulg. a CUADRO DE MADERA 2" x 2" x 1.50 m. y Marchavantes. D1 CIMENTAS METALICAS y CUADRO DE MADERA 2" x 2" x 1.50 m. con MALLA y SHOTCRETE 2" Pulg. a CUADRO DE MADERA 2" x 2" x 1.50 m. con MALLA y SHOTCRETE 2" Pulg. E ROCA BUENA TIPO V. (RMR 41-40) CIMENTAS METALICAS CONCRETO a CUADRO DE MALLA Exp. 5.75 a 0.50 m. y Marchavantes.		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRISCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS. CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ATILLA o ROMPE CON 04 o MAS GOLPES DE LA PICOTA)	
(1) CONDICION ESTRUCTURAL ROCA NO DISTURBADA. CON TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (2 A 5 FRACTURAS POR METRO) (RQD = 115 - 3.3 Jn.) (LF) MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA. NO DISTURBADA. BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (50 A 51 FRACTURAS POR METRO) (F) MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA. PARCIALMENTE DISTURBADA. BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 35% - 50%) (12 A 25 FRACTURAS POR METRO) (MF) INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 10% - 35%) (MAS DE 21 FRACTURAS POR METRO) (IF) TRITURADA. ROCA DESCOMPUESTA, DISTURBADA VISIBLEMENTE YA NO SE APRECIA DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES DEFINIDAS MATERIAL. (RQD < 10%) (T)		BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS. LEV. ALTERADA. MANCHAS DE OXIDACION. LIGER. ABIERTA. (Rc 100 a 250 MPa) (SE ROMPE CON 01 GOLPES DE LA PICOTA)	
		REGULAR (MODER. RESIST. LEVE A MOD. ALTER.) DISCONTINUIDADES LISAS. MODERADAMENTE ALTERADA. LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA)	
		PORRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA CON ESTRIACIONES. MUY ALTERADA. RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 a 50 MPa) - (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) o (SE INCIENTA SUPERFICIALMENTE) o (ESTRIACIONES)	
		MUY PORRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA. MUY ABIERTA CON RELLENO DE ANILLAS BLANCAS (FALLA) (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA o INCIENTA PROFUNDAMENTE) (SE HACE NIECO)	
		Abaco con relacion RMR (RQD 95% - 100%) (RQD 85% - 95%) (RQD 75% - 85%) (RQD 65% - 75%) (RQD 55% - 65%) (RQD 45% - 55%) (RQD 35% - 45%) (RQD 25% - 35%) (RQD 15% - 25%) (RQD 5% - 15%)	

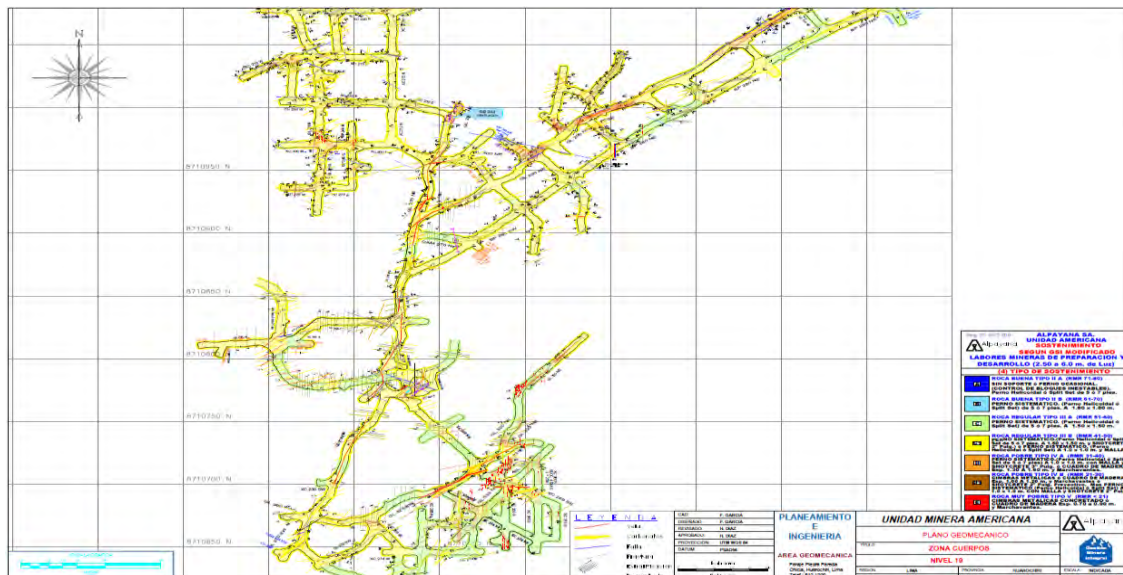
Fuente: Area de geomecánica-U.M.Alpayana

La utilización de la tabla facilita la identificación fácil del sostenimiento óptimo, como en el caso de una roca moderadamente fracturada y regular (LF/R). Esto se logra al vincular los valores del Índice G.S.I. con los valores del Índice RMR o del Índice Q a través de los ábacos correspondientes.

4.1.4.5 Características Geomecánicas Del Nv 19

En la Zona de Cuerpos Casapalca-Esperanza y su entorno. la caracterización de la masa rocosa se evidencia areniscas epidotizadas y carbonatos con presencia de fallas y discontinuidades con tipos de roca IIIA y IIIB con RMR de 41-60 así también con 12 a 20 fracturas por metro lineal y sostenimiento con perno helicoidal , Split set, shotcrete y malla.

Figura 25: Plano Geomecánico del Nv 19



Fuente: Planeamiento e Ingeniería U.M.Alpayana.

4.1.4.6 Calidad de las Rocas del Nv 19.

En el nivel 19 de la unidad americana se puede evidenciar areniscas epidotizadas(abrasiva),con resistencias a la compresión simple que varían de 150 a 210 Mpa y un RQD de 50 a 90 %. Estos valores son imprescindibles para la selección adecuada de las brocas abrasividad, dureza y fracturamiento.

Tabla 3: Referencia UCS (Resistencia a la compresión uniaxial.)

N°	Carga (KN)	Carga (Kgf)	H (mm)	W (mm)	De	De2	Is	F.C	Is	Mpa
1	23.50	2396.34	60.0	36.00	52.4	2750	8.54	1.02	8.75	210.02
2	17.50	1784.51	60.0	36.00	52.4	2750	6.36	1.02	6.52	156.40
3	20.00	2039.44	60.0	36.00	52.4	2750	7.27	1.02	7.45	178.74
4	21.00	2141.41	60.0	36.00	52.4	2750	7.64	1.02	7.82	187.68
5	18.00	1835.50	60.0	36.00	52.4	2750	6.54	1.02	6.70	160.87
Promedio										178.74

Fuente: Cañapataña Ccora ,2019

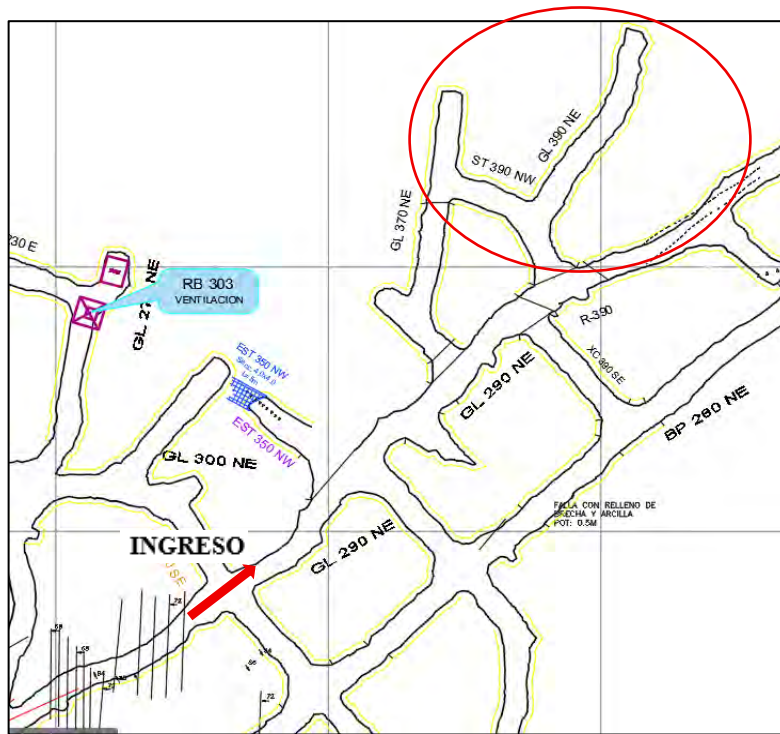
4.2 Especificación y Ubicación del Nivel 19

4.2.1 Ubicación Tajo 390/370 - Nivel 19

El emplazamiento del tajo se sitúa en una posición estratégica en el nivel 19, precisamente en la galería 390 del Cuerpo Esperanza, orientado hacia el noreste. Este enclave específico ha sido cuidadosamente seleccionado debido a una serie de consideraciones geológicas, topográficas y operativas que lo hacen idóneo para llevar a cabo las actividades mineras planificadas. La elección de esta ubicación se basa en un exhaustivo análisis del terreno, que ha evaluado la estructura geológica, la calidad del mineral, la accesibilidad logística y otros factores relevantes para la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras en el área designada. La figura proporcionada

ofrece una representación visual detallada de la disposición geográfica del tajo, facilitando una mejor comprensión de su ubicación precisa y su relación con el entorno circundante.

Figura 26: Ubicación Tajo 3 90/370 Nv 19



Fuente: Area de Topografía U.M.Alpayana,2023

4.2.2 Método de Explotación

El método de Sublevel Stopping se distingue por su eficiencia en la producción, ya que implica la creación de labores directamente sobre el yacimiento mineral. En esencia, este enfoque implica la división del cuerpo mineralizado en secciones y su extracción desde subniveles dispuestos verticalmente mediante detonaciones radiales o paralelas. Una vez que se ha completado la extracción, las cámaras quedan vacías. En resumen, este proceso implica realizar voladuras en el entorno subterráneo, de manera similar a lo que se hace en una operación a cielo

abierto. Para implementar este método, se establece un nivel de extracción que comprende varios subniveles, con longitudes típicas que varían entre 80 y 100 metros.

La explotación se ejecutará por niveles de 50.0 metros con subniveles intermedios de 25.0 metros. Los tajos presentarán longitudes entre 60.0 y 120.0 metros, y un ancho de 4.0 a 4.0 metros, con inclinaciones comprendidas entre 45° y 85°. Para compensar el vaciado se aplicará relleno detrítico. La capacidad prevista alcanza hasta 150,000.0 T.M.C por mes y 5,000.0 T.M.C/día para las labores de preparación y desarrollo.

Figura 27: Referencial perforación sublevel stoping-

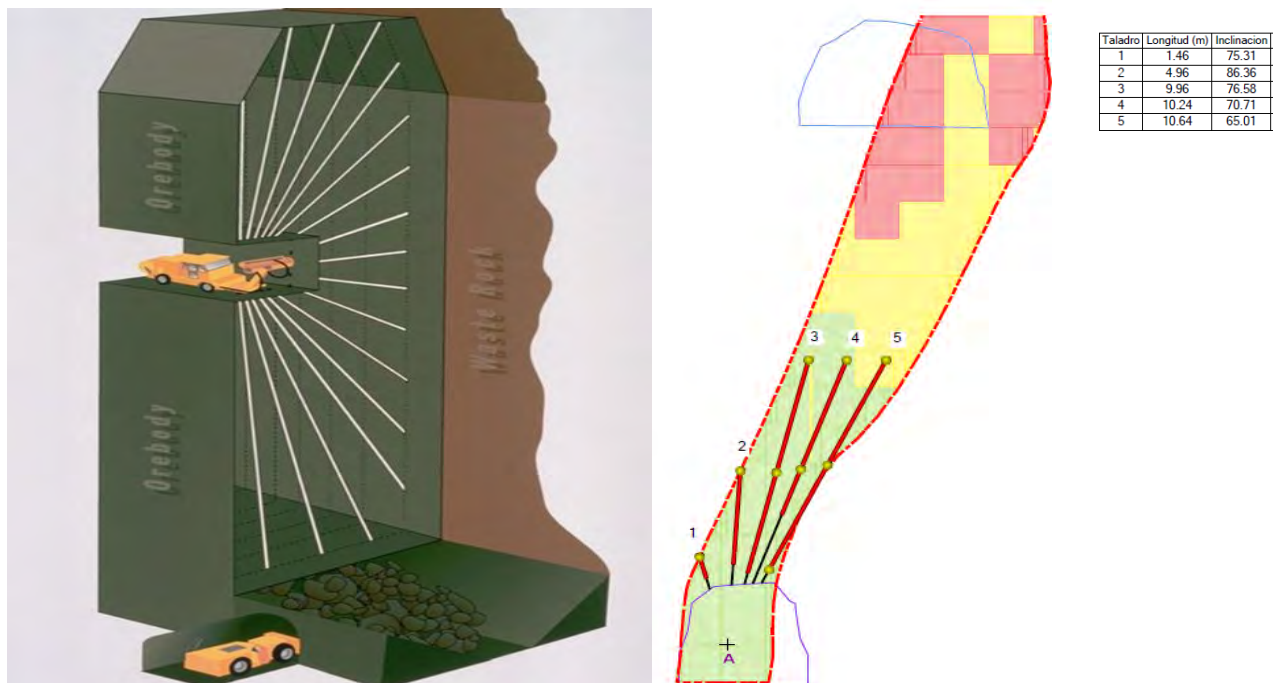


Fuente: Fotografía Propia

4.2.3 Aplicación de Taladros Largos

El enfoque de explotación mediante el uso de taladros largos representa una estrategia robusta para la fragmentación y extracción eficiente de grandes volúmenes de material en operaciones mineras subterráneas. Este método se caracteriza por la meticulosa planificación y ejecución de los procesos de perforación, donde se elaboran detallados planos de perforación que se ajustan meticulosamente a las condiciones geomecánicas particulares de la zona en explotación. Estos planos no solo especifican el número de taladros necesarios, sino que también detallan aspectos críticos como la inclinación y longitud de cada taladro, considerando factores como la resistencia de la roca, la geometría del yacimiento, y las características de estabilidad del macizo rocoso. De esta manera, se busca optimizar la eficiencia y seguridad de la operación, asegurando la generación de fragmentos de tamaño adecuado para su posterior manipulación y transporte.

Figura 28: Aplicación de Taladros Largos



Fuente: Elaboración Propia /Planeamiento mina

4.3 Equipo de Perforación

4.3.1 Característica del Equipo de Perforación.

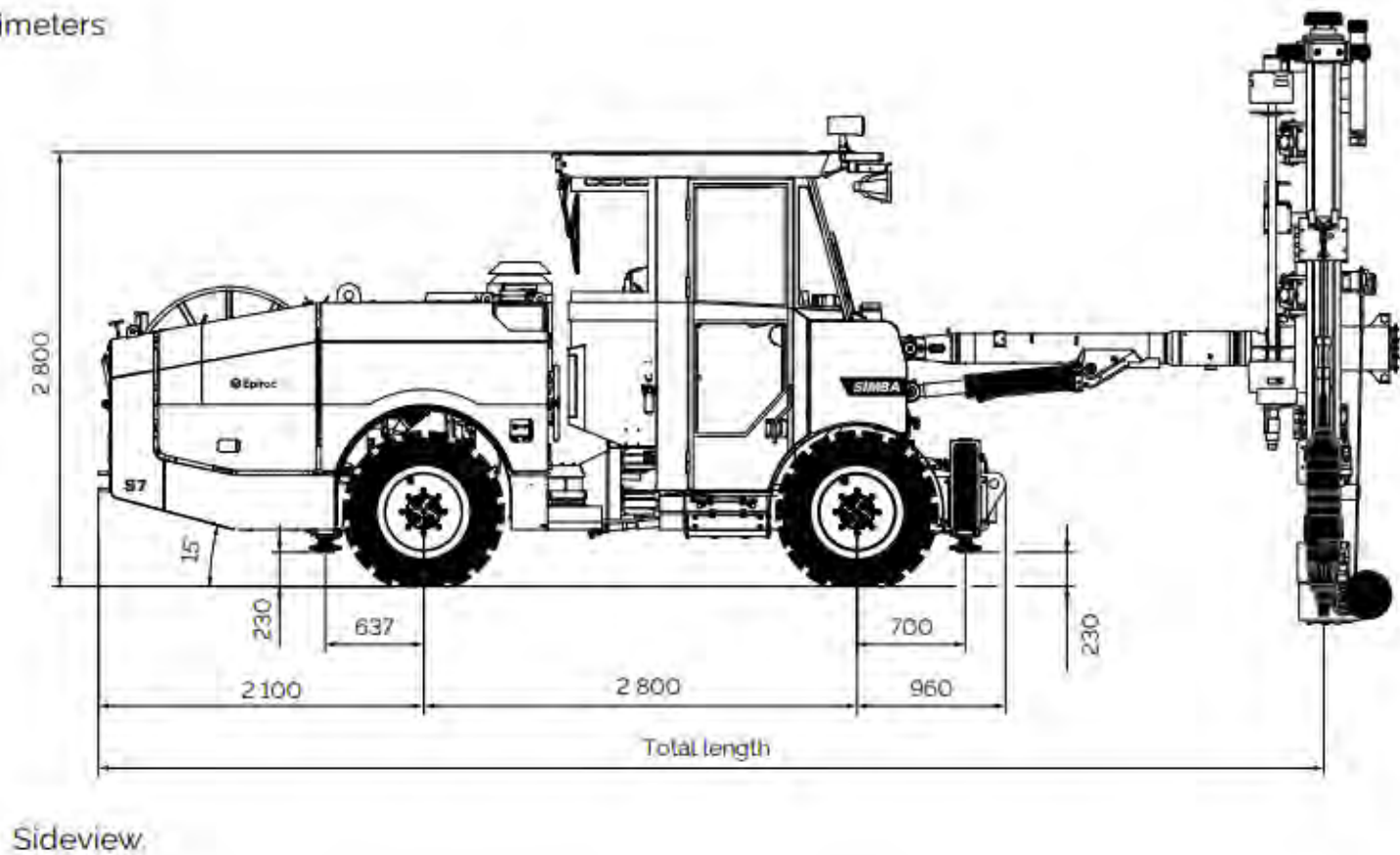
El equipo de perforación utilizado en las pruebas corresponde al modelo Simba S7D, fabricado por la reconocida marca Epiroc, especialmente diseñado para llevar a cabo operaciones de perforación en el contexto de la actividad de taladros largos. El Simba S7D representa una herramienta avanzada en el ámbito de la perforación de producción hidráulica, específicamente concebida para trabajar en espacios reducidos, como los túneles de dimensiones limitadas.

Este equipo se distingue por su capacidad para ofrecer un alto rendimiento incluso en condiciones de roca desafiantes, gracias a la presencia de martillos de alta velocidad de penetración que proporcionan la potencia necesaria para aumentar la productividad de la operación. Además, cuenta con estabilizadores duales equipados con un sistema de lectura de ángulo, lo que facilita un posicionamiento rápido y preciso, al tiempo que mejora la estabilidad durante el proceso de perforación.

Los controles ergonómicos del Simba S7D, junto con un acceso sencillo a los puntos de servicio, contribuyen a que los operadores puedan alcanzar niveles óptimos de producción de manera eficiente. En resumen, este equipo representa una solución integral y eficaz para las exigencias de perforación en entornos subterráneos, proporcionando tanto rendimiento como comodidad para los operadores. Así mismo este equipo está diseñado para las perforaciones positivas, negativas (radiales) cumpliendo así un performance adecuado para la perforación de taladros largos.

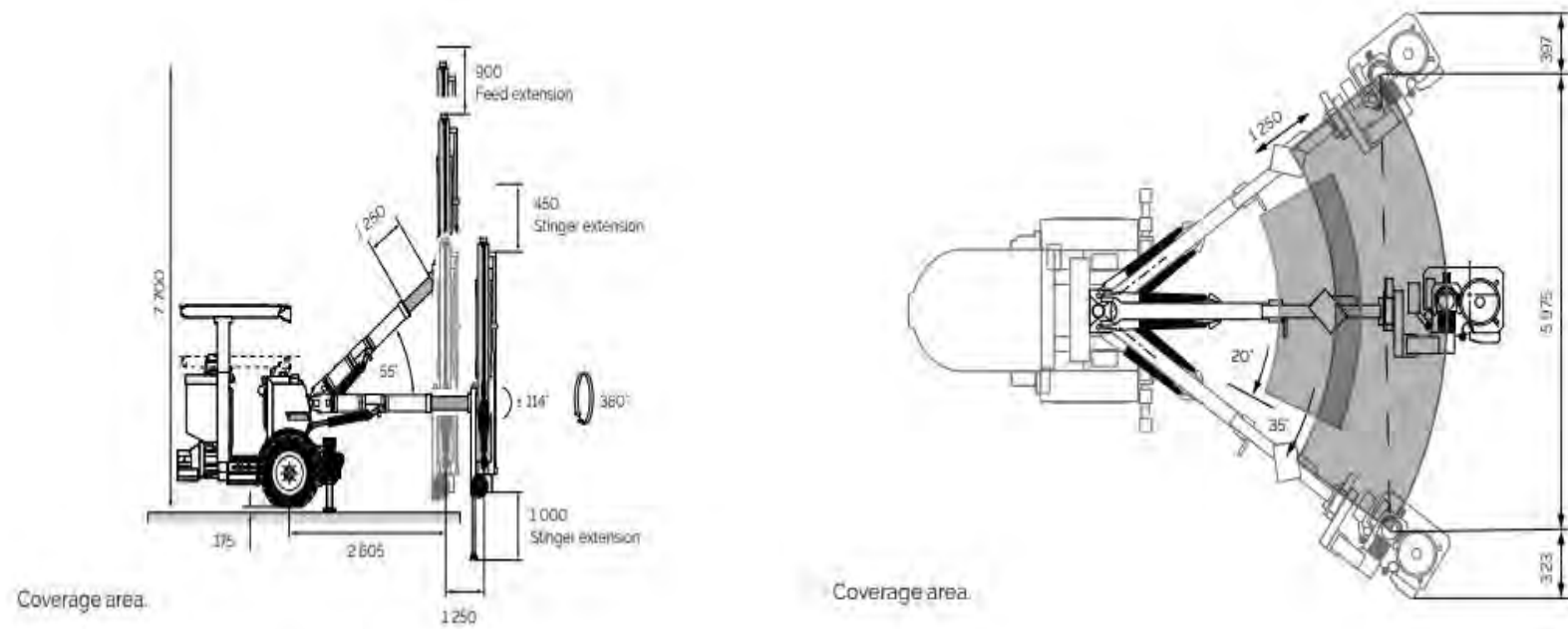
Figura 29: Equipo de Perforación – Vista longitudinal

Dimensions in millimeters



Fuente: Epiroc

Figura 30: Equipo de Perforación – Vista longitudinal



Fuente: Epiroc

Tabla 4: Dimensiones Equipo de Perforación

Dimensions

Measurement	
Width	2 100 mm
Height tramming, roof up/down	2 800/2 100 mm
Length tramming (with BMHP 6 804/05/06)	9 300*/9 600*/9 900* mm
Ground clearance	365 mm
Turning radius outer/inner	5 000/2 850 mm

*+200 mm with extractor

Fuente Epiroc

Tabla 5: Tamaño barra Recomendado

Feed type	Intended for rock drill	Rod/tube lenght mm	Total lenght mm
BMHP 6803	COP 1838ME	915	2 731
BMHP 6804	COP 1838ME	1 220	3 035
BMHP 6805	COP 1838ME	1 525	3 340
BMHP 6806	COP 1838ME	1 830	3 645
BMHP 6803X	COP 1838MUX	915	2 933
BMHP 6804X	COP 1838MUX	1 220	3 237
BMHP 6805X	COP 1838MUX	1 525	3 542
BMHP 6806X	COP 1838MUX	1 830	3 847

Fuente Epiroc

Figura 31: Equipo de Perforación - Catalogo



Fuente Epiroc

Figura 32: Equipo de Perforación



Fuente: Fotografía Propia

4.4 Martillo de Perforación

Esta unidad desempeña un papel crucial al transformar la energía primaria en energía mecánica, lo cual resulta vital para el funcionamiento óptimo del sistema de perforación. Su funcionamiento se basa en la alimentación con una combinación de aceite hidráulico y aire comprimido, lo que le otorga la potencia necesaria para ejecutar las operaciones de perforación de manera eficiente y efectiva. Es a través de este proceso de conversión de energía que se logra impulsar y controlar las diversas funciones del equipo de perforación, asegurando así un rendimiento óptimo durante toda la operación.

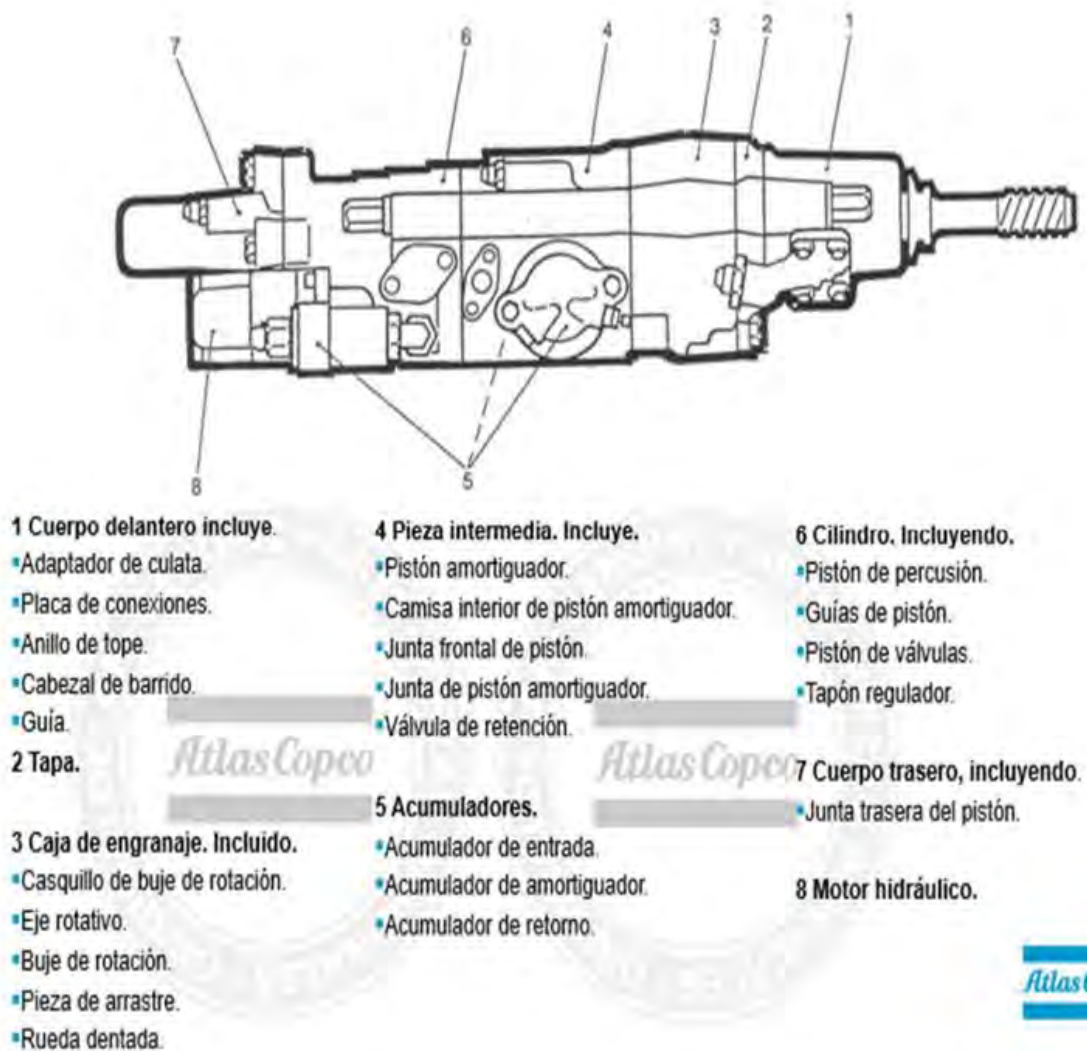
4.4.1 Características del Martillo de Perforación

El COP 1838+ representa una innovación en el ámbito de los martillos hidráulicos, especialmente diseñado para alcanzar velocidades de penetración óptimas en entornos de minería subterránea. Su desarrollo se ha centrado en garantizar una vida útil prolongada sin comprometer el rendimiento de perforación, lo que lo convierte en una herramienta confiable y eficiente para operaciones continuas en condiciones mineras exigentes. Gracias a su diseño avanzado y duradero, este martillo hidráulico ofrece un desempeño consistente y de alta calidad, contribuyendo así a la productividad y rentabilidad de las operaciones subterráneas.

Datos técnicos:

- Adaptador de culata: R32 / R38 / T38.
- Altura sobre el centro del taladro: 88 mm.
- Longitud sin adaptador de culata: 1 008 mm.
- Potencia de impacto: 18 kW.
- Frecuencia de impacto: 50-60 HZ.
- Presión hidráulica: 230 bares.
- Sistema de rotación: Rotación separada.
- Velocidad de rotación: 0 – 340 rpm.
- Máximo torque de rotación: 640 Nm.
- Consumo de aire para la lubricación a: 2 bar ó 6 l/s.
- Consumo de agua: 10-20 bar ó 70 l/min.
- Peso: 170 kg.

Figura 33: Partes Principales Del Martillo De Perforación



Fuente: Atlas Copco

Figura 34: Martillo de Perforación



Fuente: EPIROC

4.5 Columna de Perforación (Aceros)

4.5.1 Shank Adapter

Los accesorios primarios utilizados en la perforación con martillo en cabeza han sido meticulosamente diseñados para resistir condiciones extremas de carga y tensión. Su principal propósito radica en canalizar eficientemente la energía de impacto generada por el pistón de la perforadora de roca, así como el momento de torsión resultante de la rotación, hacia la sarta de perforación. Este proceso se ejecuta con una precisión excepcional, garantizando una transmisión sin pérdida sustancial de energía en el trayecto. En consecuencia, estos accesorios aseguran un funcionamiento fluido y eficaz de la máquina perforadora, lo que contribuye significativamente a la mejora de la productividad y la eficiencia en diversas operaciones de perforación en entornos mineros y de construcción.

Figura 35: Shank Adapter



Fuente: litechtools

4.5.2 Barra M/F

Las barras de tipo MF, conocidas como barras macho-hembra, son elementos esenciales empleados en la perforación con martillo en cabeza. Su denominación proviene de la particularidad de contar con extremos macho y hembra que permiten un ajuste preciso y seguro entre ellas. Este diseño facilita su acoplamiento durante el proceso de perforación y garantiza una transmisión eficiente de la energía generada por la perforadora hacia la broca. En esencia, estas barras actúan como conductos conductores de energía, asegurando una conexión sólida y estable entre la perforadora y la herramienta de perforación, lo que resulta fundamental para lograr un rendimiento óptimo en las operaciones de perforación top hammer.

Figura 36: Barra M/F

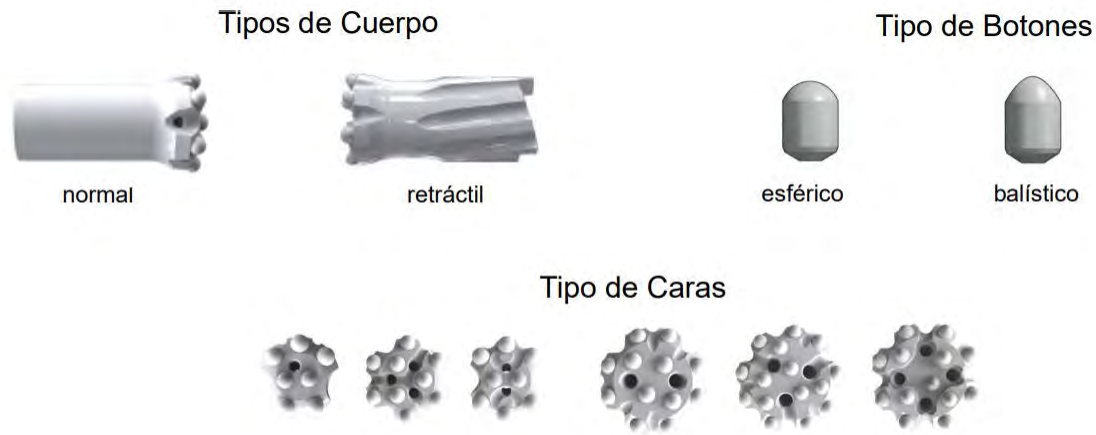


Fuente: litechtools

4.5.3 Broca Retráctil

Se trata de un instrumento de corte esencial en las operaciones de perforación, utilizado para triturar y seccionar las formaciones geológicas del subsuelo. La broca desempeña un papel fundamental durante todo el proceso de perforación al penetrar y desmenuzar las rocas u otros materiales que se encuentran en el camino del avance del taladro. Existen una variedad de configuraciones y diseños disponibles para las brocas, y es crucial seleccionar aquella que mejor se adapte a las aplicaciones específicas y a las condiciones geológicas particulares que se enfrentarán durante la perforación. La elección adecuada de la broca es determinante para garantizar una perforación eficiente y segura, maximizando así la productividad y la efectividad de las operaciones subterráneas.

Figura 37: Broca Retráctil



Fuente: Manual robót

Para determinar el tipo de broca más adecuado se deben considerar tres preguntas fundamentales:

- ¿Cuál es el grado de dureza de la roca?
- ¿Qué nivel de abrasividad presenta el material?
- ¿Qué tan uniforme o homogénea es la composición de la roca?

Para adaptarse a las variadas condiciones geomecánicas encontradas en diferentes áreas de perforación, se emplean distintas estrategias y tipos de brocas. Para rocas duras, se recomienda el uso de brocas con una mayor cantidad de botones, preferiblemente pequeños y esféricos (Tipo A), lo que facilita la penetración y el desmenuzamiento del material. Por otro lado, en rocas más suaves, se sugiere el empleo de botones semi balísticos, teniendo en cuenta la abrasividad y la homogeneidad de la formación rocosa.

En terrenos altamente abrasivos, se opta por brocas con botones de mayor tamaño (Tipo B), diseñadas para soportar el desgaste y prolongar la vida útil de la broca. Por otro lado, en

formaciones menos abrasivas, se evalúa la textura y la homogeneidad de la roca antes de seleccionar el tipo de broca adecuado. En rocas homogéneas, donde la dureza y la abrasividad son uniformes, pueden utilizarse botones semi balísticos.

En el caso de rocas no homogéneas, donde la dureza y la abrasividad pueden variar significativamente, se recomienda el uso de brocas con cara plana y botones esféricos (Tipo A), que permiten una perforación más estable y eficiente. Además, se sugiere el empleo de brocas con cuerpo retráctil y suficientes orificios de barrido laterales para optimizar el flujo de aire y eliminar los residuos de perforación.

Es importante destacar que existen diferentes tipos y configuraciones de brocas, cada una diseñada con características específicas para cumplir ciertos criterios y adaptarse a diferentes condiciones geológicas. Por ejemplo, algunas brocas pueden estar diseñadas para lograr una rápida penetración en rocas duras con desviaciones mínimas, mientras que otras pueden priorizar el rendimiento por metro lineal. Sin embargo, es importante comprender que no existe una broca que sea óptima en todos los aspectos, y la selección de la broca adecuada depende de las necesidades y preferencias del cliente, así como de las condiciones específicas del sitio de perforación.

Se han establecido algunas reglas fundamentales para guiar la selección y el uso adecuado de las brocas de perforación, considerando diversos factores que influyen en su rendimiento y durabilidad.

En primer lugar, se reconoce que las brocas con botones más pequeños (Tipo A) tienen la capacidad de penetrar la roca de manera más rápida y sencilla en comparación con aquellas que poseen botones más grandes (Tipo B). Sin embargo, es importante tener en cuenta que los botones más pequeños tienden a desgastarse con mayor rapidez, lo que puede afectar su vida útil.

Por otro lado, las brocas con botones balísticos pueden ser efectivas en condiciones de roca menos dura, pero su rendimiento puede disminuir en terrenos fragmentados, ya que los botones tienen mayor propensión a romperse en estas circunstancias.

En cuanto al diseño de la broca, se ha observado que aquellas con un centro deprimido (Drop Center, Tipo DS) tienden a perforar taladros más rectos en comparación con las brocas de cara plana (Tipo A o B). Además, el uso de brocas con cuerpo retráctil puede contribuir a mantener la verticalidad de los taladros, permitiendo una mejor retracción de la sarta de perforación entre las capas de roca fragmentada.

Independientemente de las condiciones de perforación, es esencial garantizar un adecuado barrido de detritos para mantener una buena calidad de perforación y reducir el desgaste de la broca. Este barrido ayuda a eliminar los residuos de la cara de la broca y del fondo del taladro, lo que contribuye a prolongar la vida útil de la broca y mantener un rendimiento óptimo en la perforación.

4.5.4 Vida Útil

Antes de proceder con la comercialización legal de los aceros de perforación, es imprescindible someterlos a rigurosas pruebas de vida útil, las cuales se basan en la cantidad de metros acumulados como medida principal de desempeño. Una vez completadas estas pruebas en los equipos de perforación, se establece un estándar de metros perforados para cada tipo de accesorio. Este estándar sirve como referencia para determinar la tarifa de venta, ya sea en una modalidad de venta directa o en una modalidad basada en el costo por metro perforado.

En el caso específico de la Unidad Americana, se ha definido la vida útil de la columna de perforación utilizada en la actividad de taladros largos. Este criterio es esencial para determinar la durabilidad y el rendimiento esperado de los equipos en el contexto de la operación minera.:

Tabla 6: Vida útil de aceros

Accesorio	Vida Util(m)
Shank Adapter	1800
Barra MF 5 pies	220
Broca retractil 64 mm	300

Fuente: Robit

4.5.4.1 Rendimiento de los aceros

Es la acumulación de metros perforados entre la cantidad aceros usados o también el promedio de la vida útil de cada accesorio utilizado en la perforación hasta su descarte. Este comportamiento de metros alcanzados varía por varios factores como el tipo de perforadora utilizada, la habilidad y experiencia del operador, las características de la roca y la calidad del acero empleado. Estos elementos ejercen una influencia determinante en la capacidad de la herramienta para cumplir con la vida útil estimada.

Estas se calculan de la siguiente manera.

Rendimiento en shank y brocas (metros/accesorio)

$$R = \frac{m}{q}$$

R: rendimiento(m/shank ; m/broca)

m: metros acumulados

q: cantidad de aceros

Rendimiento de barras MF (metros/accesorio)

$$\text{Rend} = \frac{MT}{LB(NB + 1)/2}$$

- MT: metros acumulados
- NB: número de barras
- LB: longitud de barra

4.6 Controles Operacionales

Estos controles en los aceros de perforación en la actividad de taladros largos lo dividiremos en 3 factores los cuales son procesos se tienen que evaluar y controlar desde el enfoque litológico, mecánico y administrativo

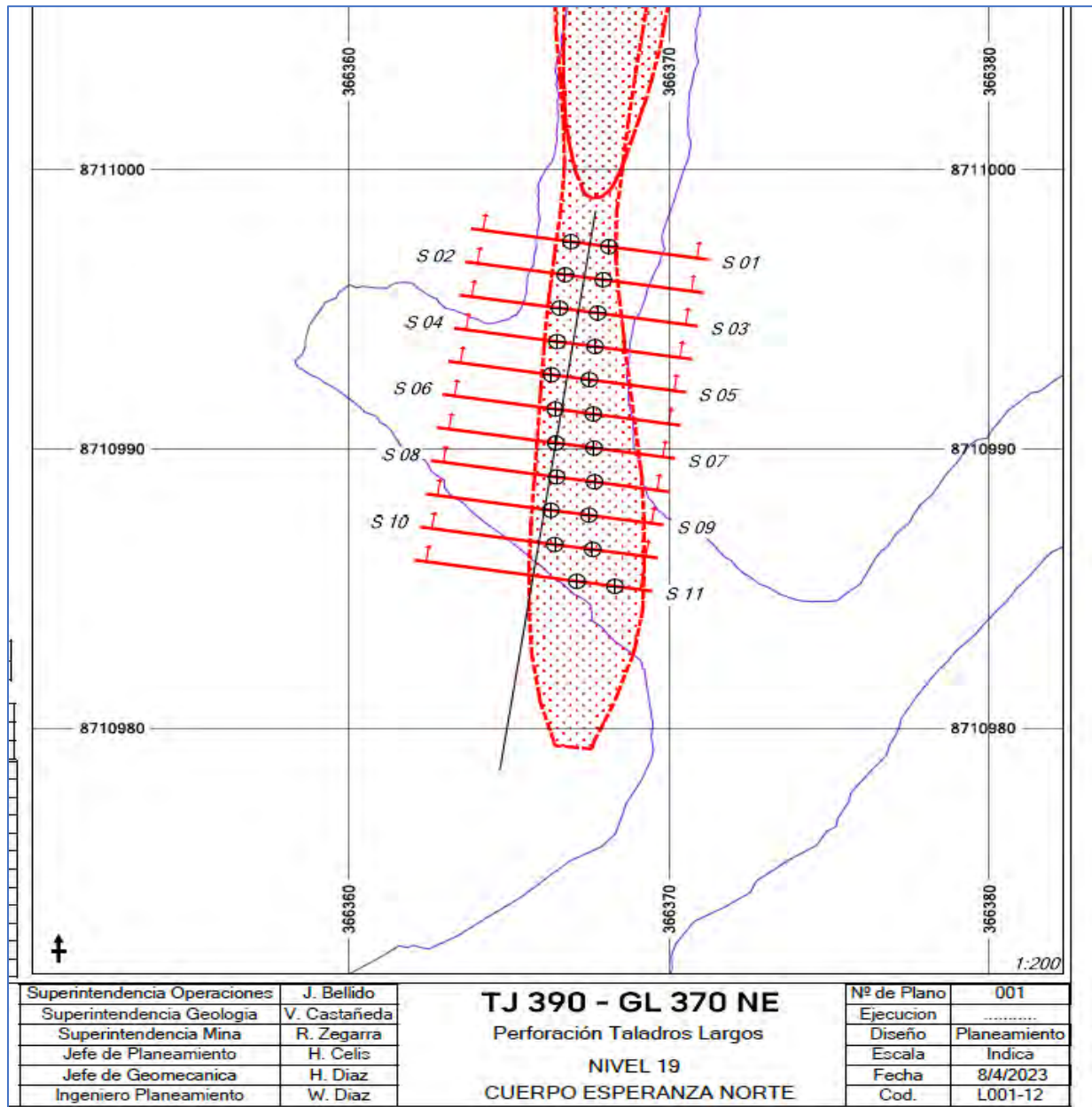
4.7 Factores operativos

4.7.1 Perforación En Tajos

4.7.1.1 Mallas de perforación

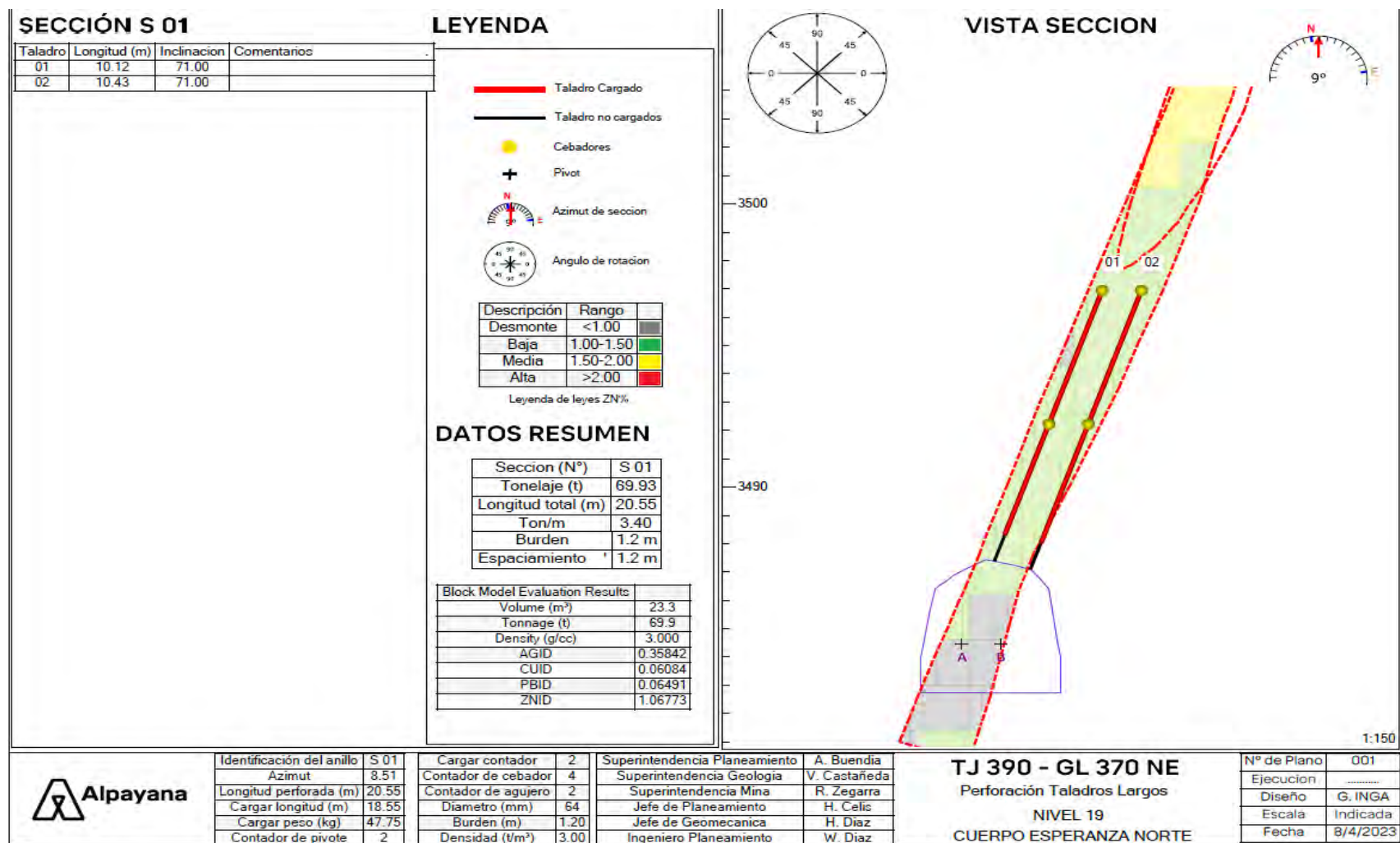
Conocer las mallas de perforación nos permiten realizar una adecuada distribución de aceros(brocas y barras) en función a su longitud y distribución. Las cuales estas mallas de los tajos 390 y 370 presentan longitudes que no mayores a 12 metros con inclinaciones de 0 a 90 grados con taladros radiales y taladros positivos.

Figura 38: Plano de perforación y carguío sección del 1 al 11/ Tajo 390



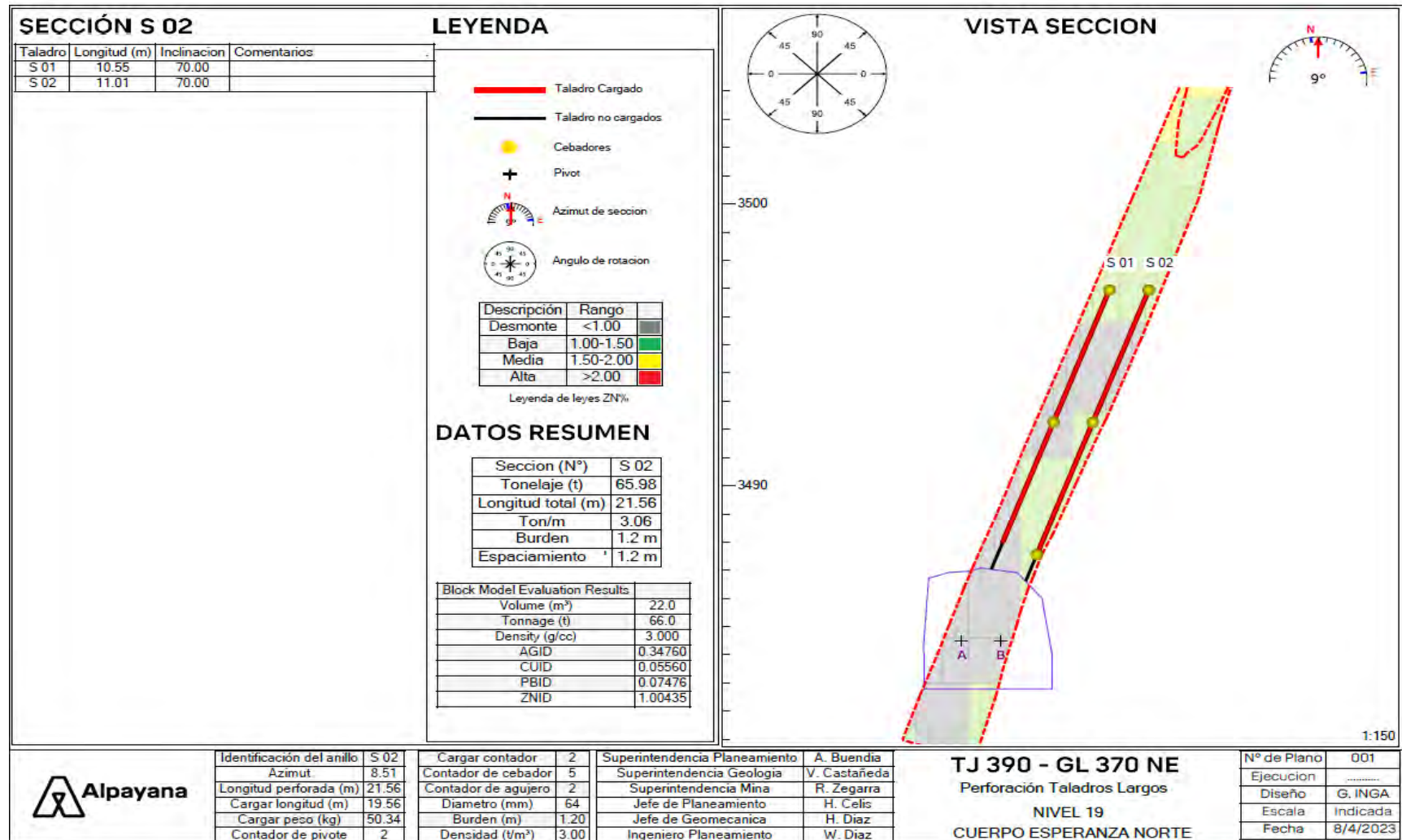
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 39: Plano de perforación y carguío sección N° 1 / Tajo 390



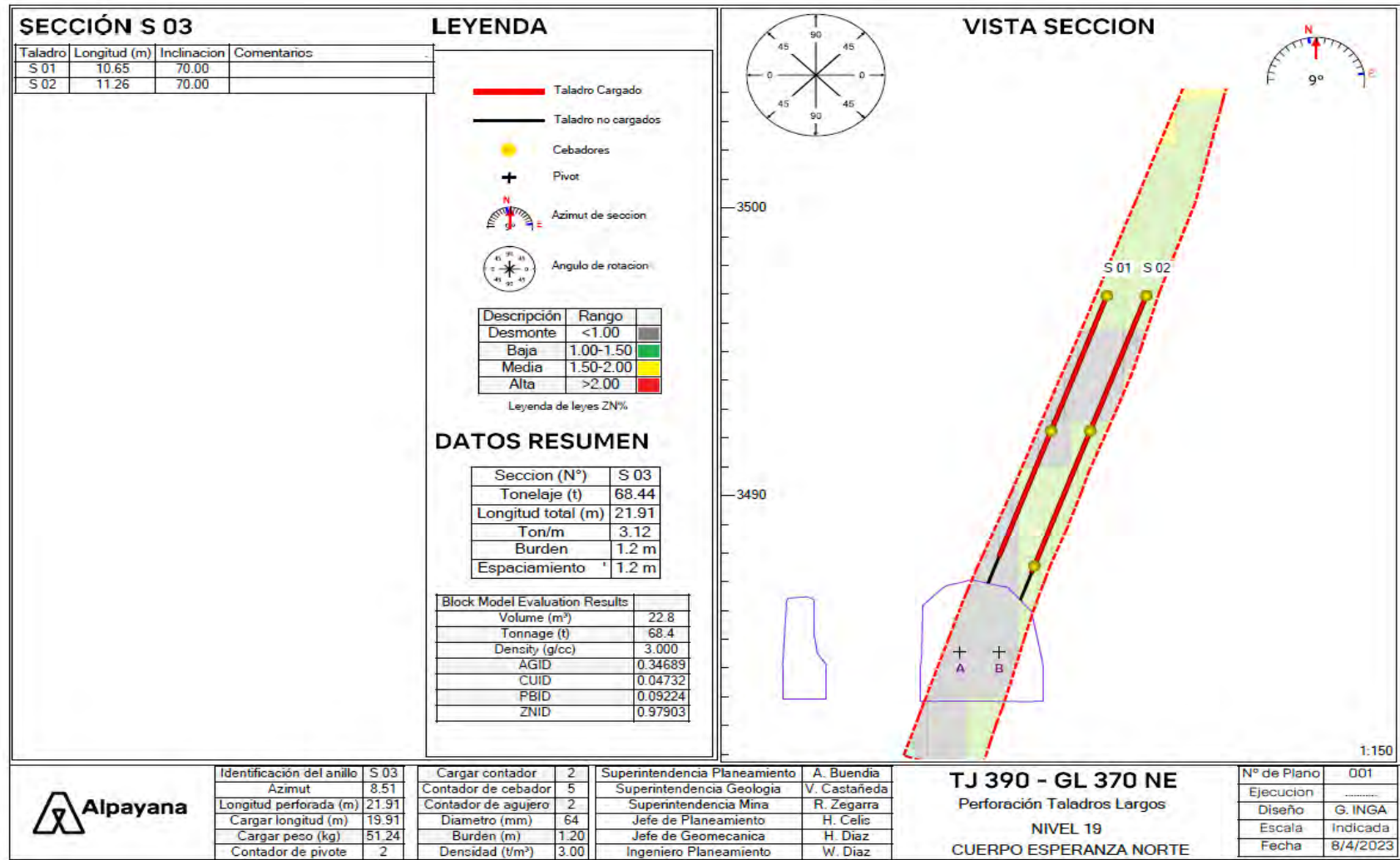
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 40: Plano de perforación y carguío sección N°2 / Tajo 390



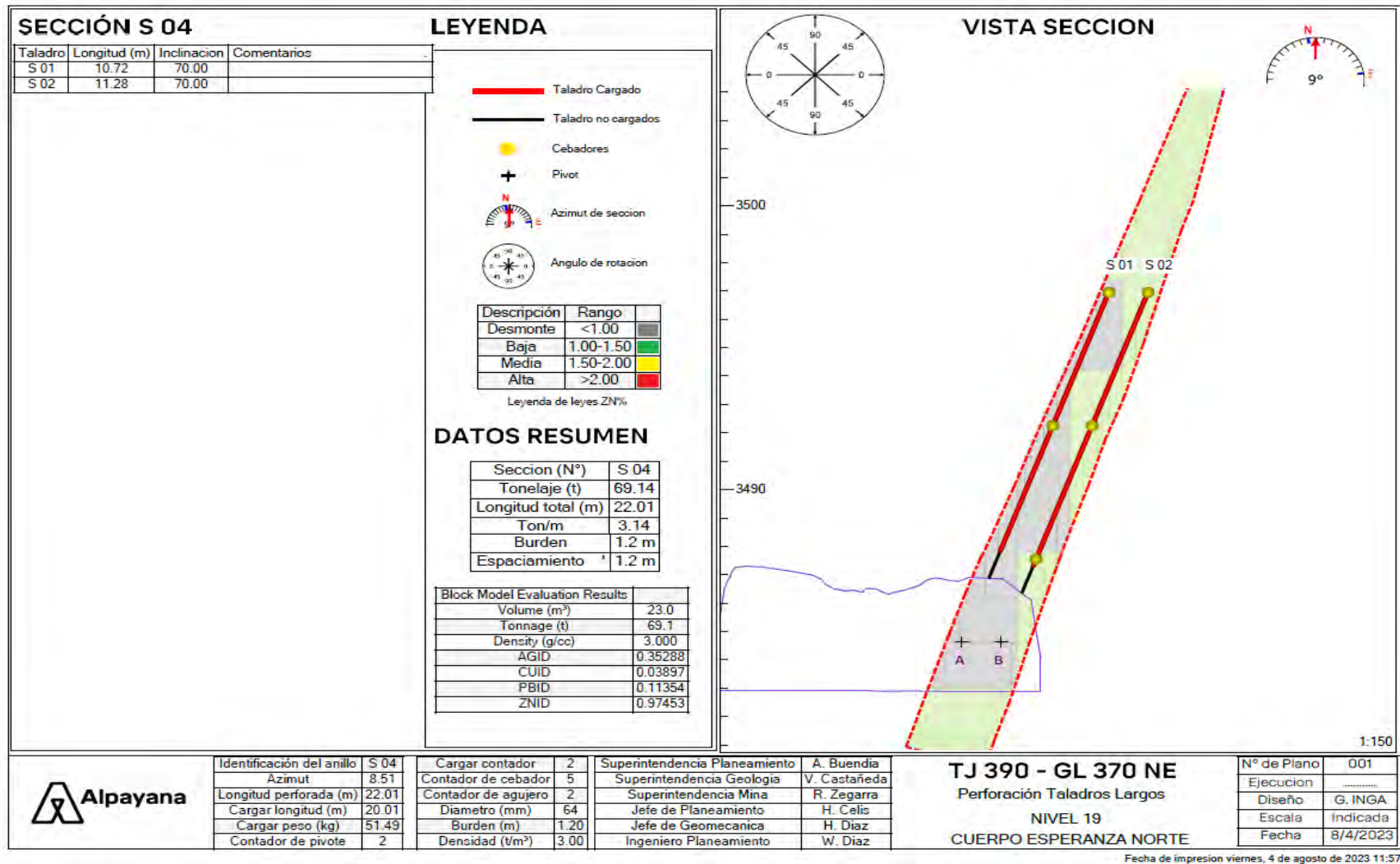
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 41: Plano de perforación y carguío sección N°3 / Tajo 390



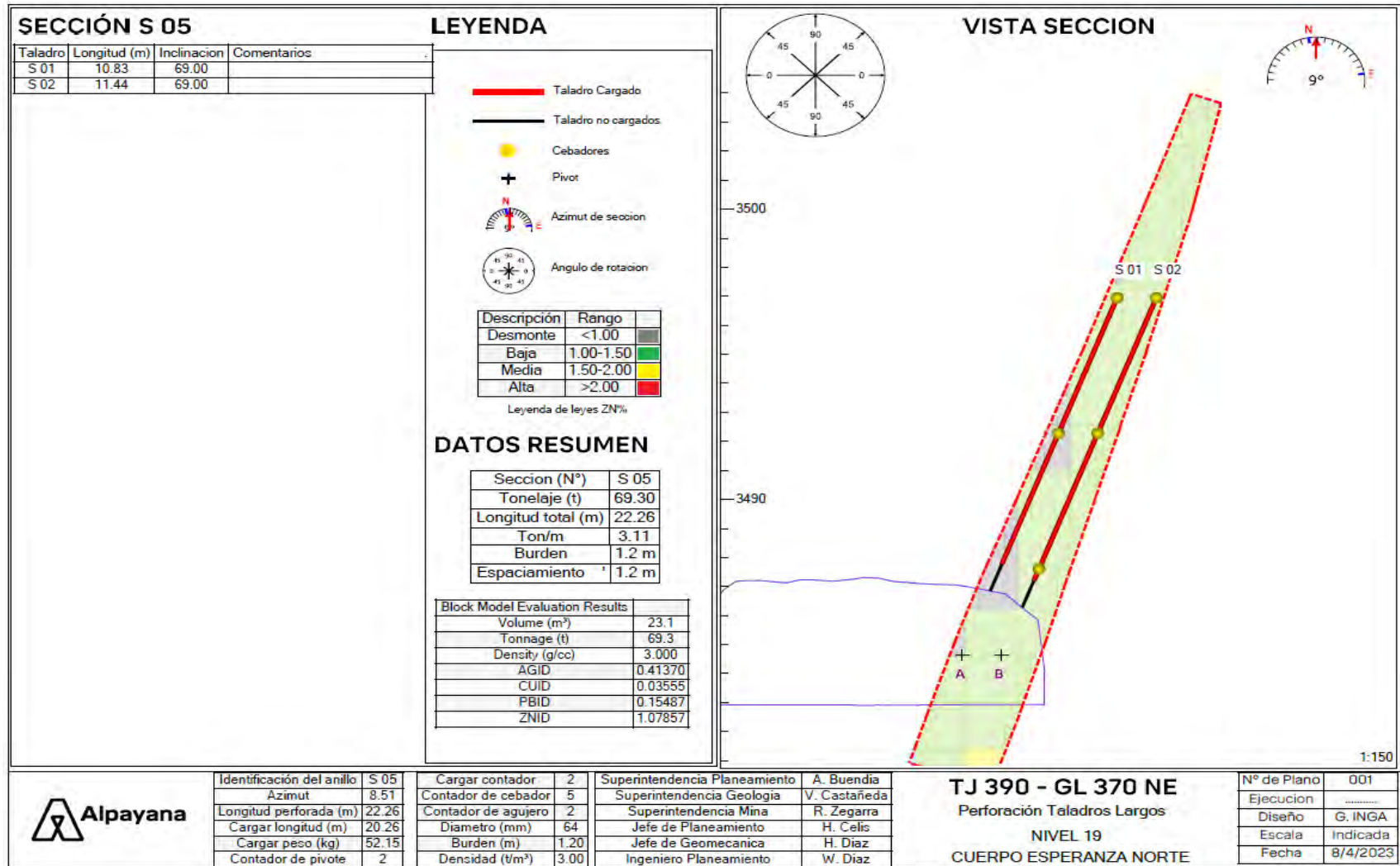
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 42: Plano de perforación y carguío sección N°4 / Tajo 390



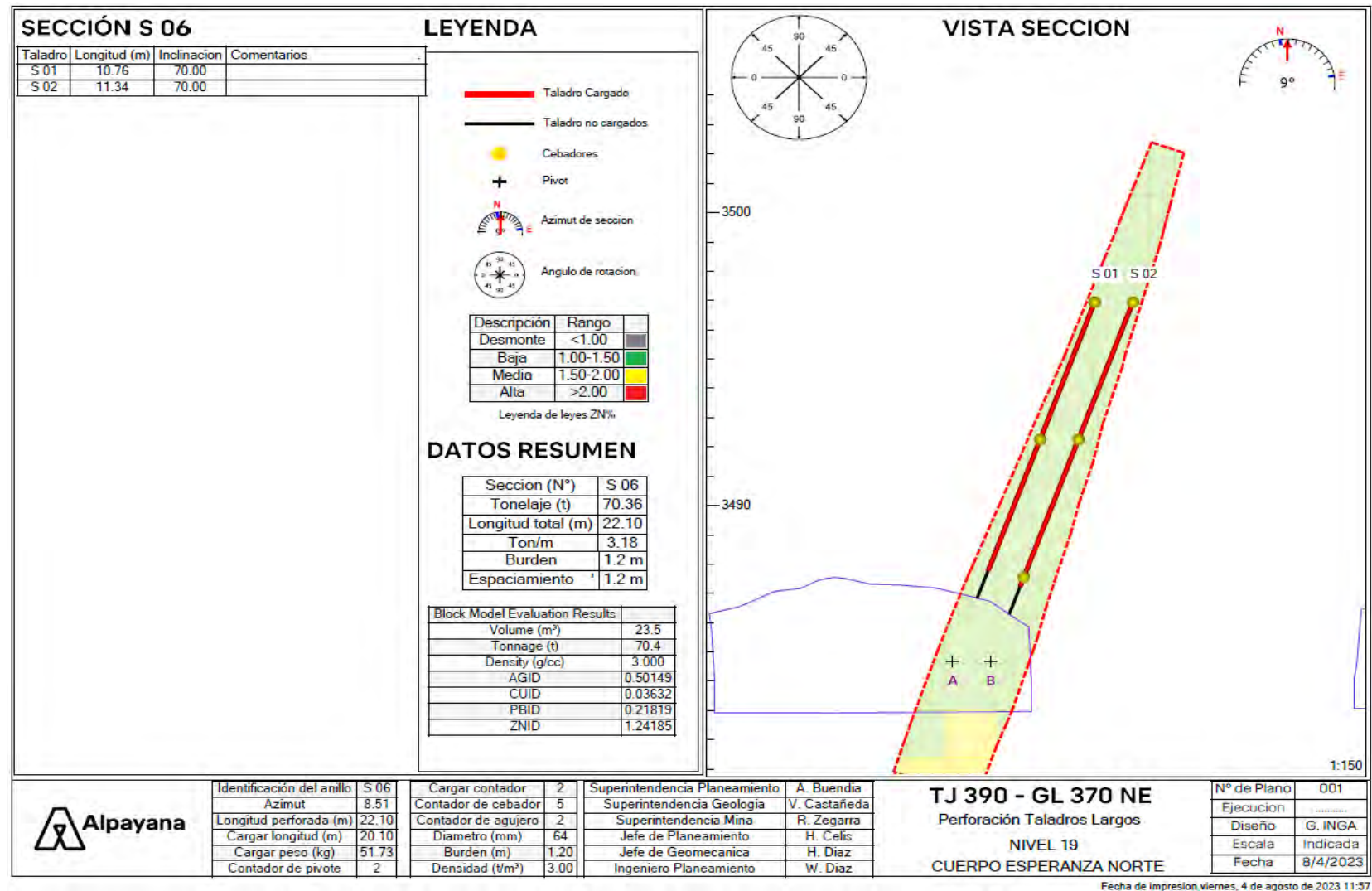
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 43: Plano de perforación y carguío sección N°5 / Tajo 390



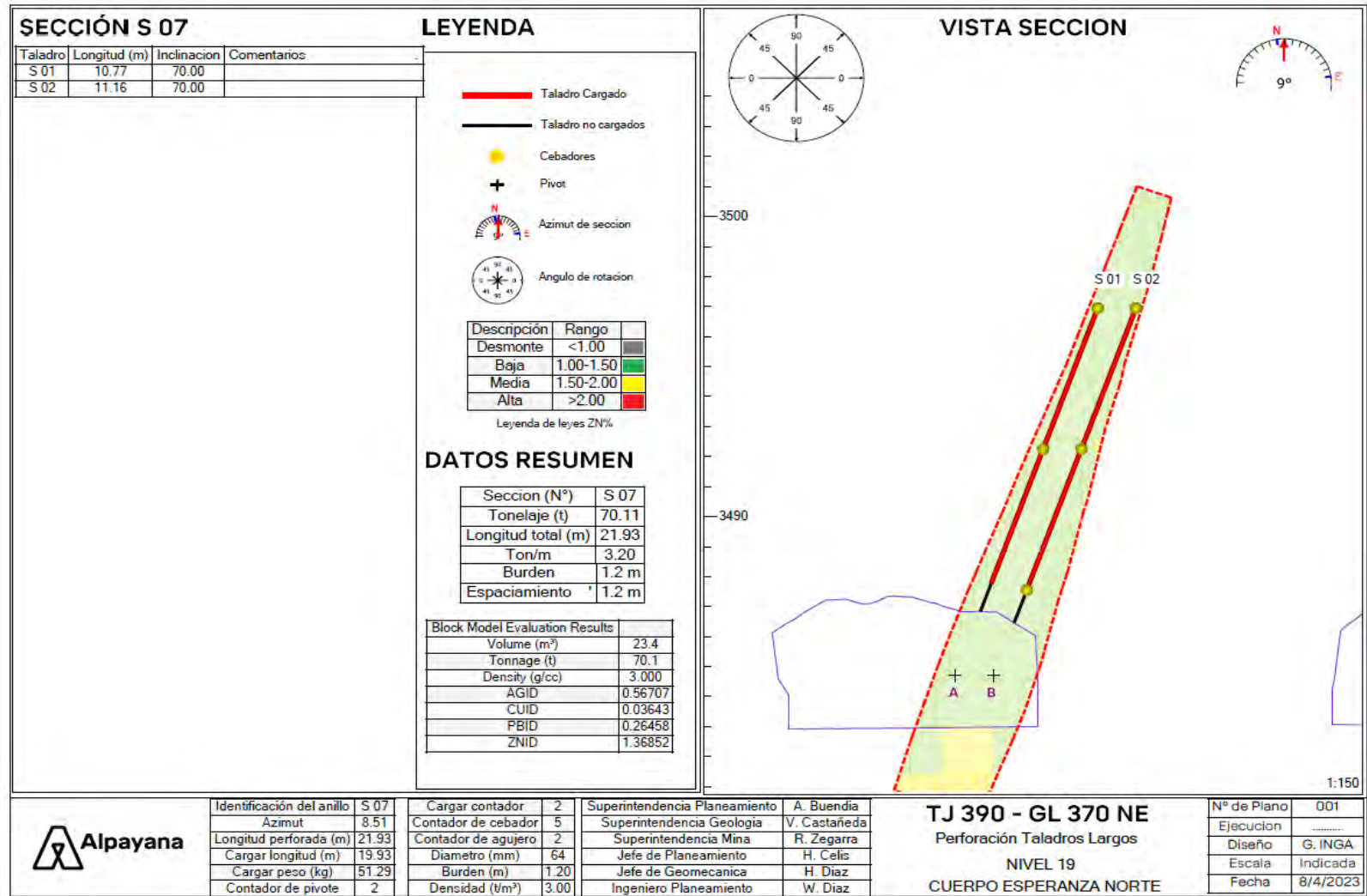
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 44: Plano de perforación y carguío sección N°6 / Tajo 390



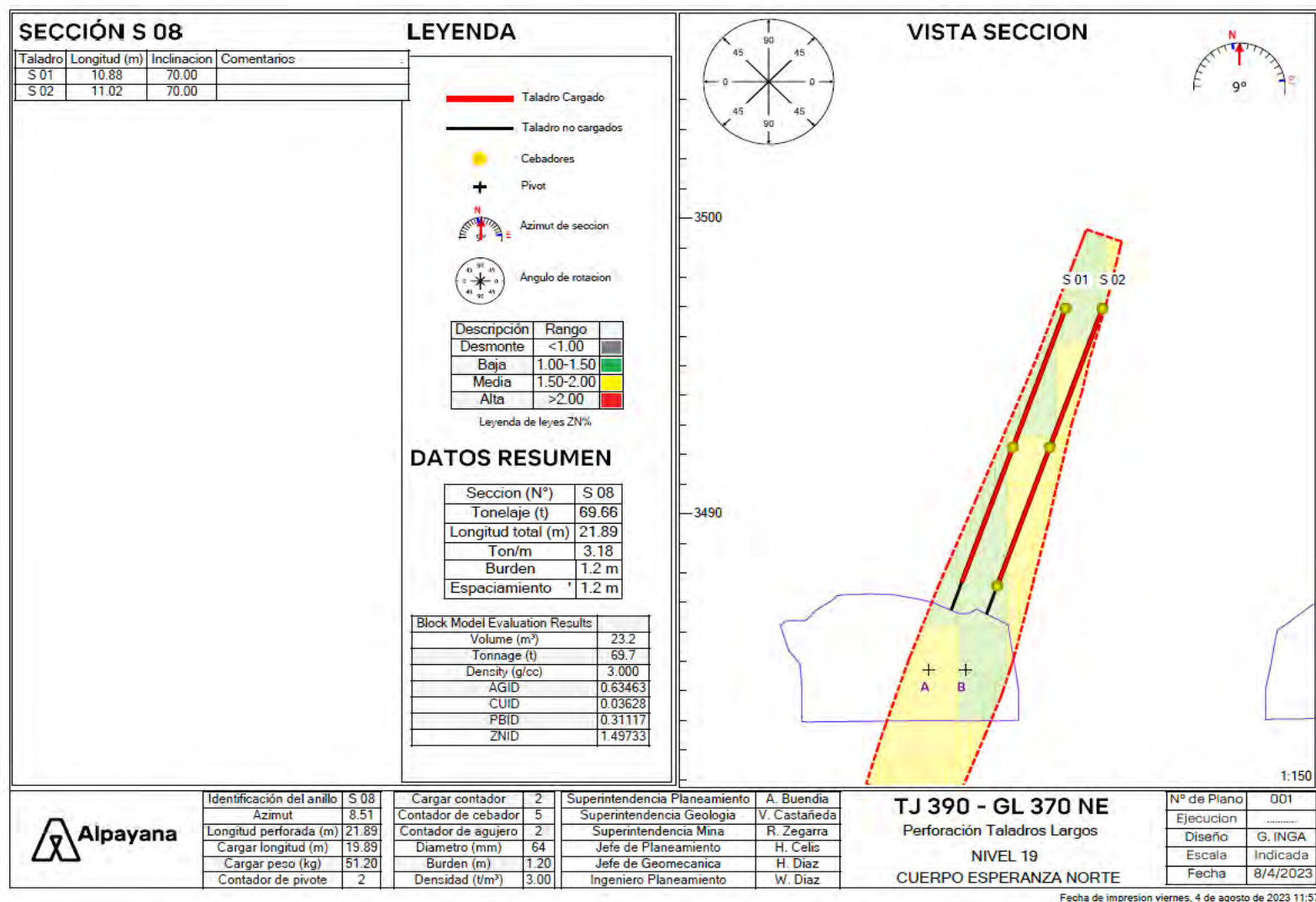
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 45: Plano de perforación y carguío sección N°7 / Tajo 390



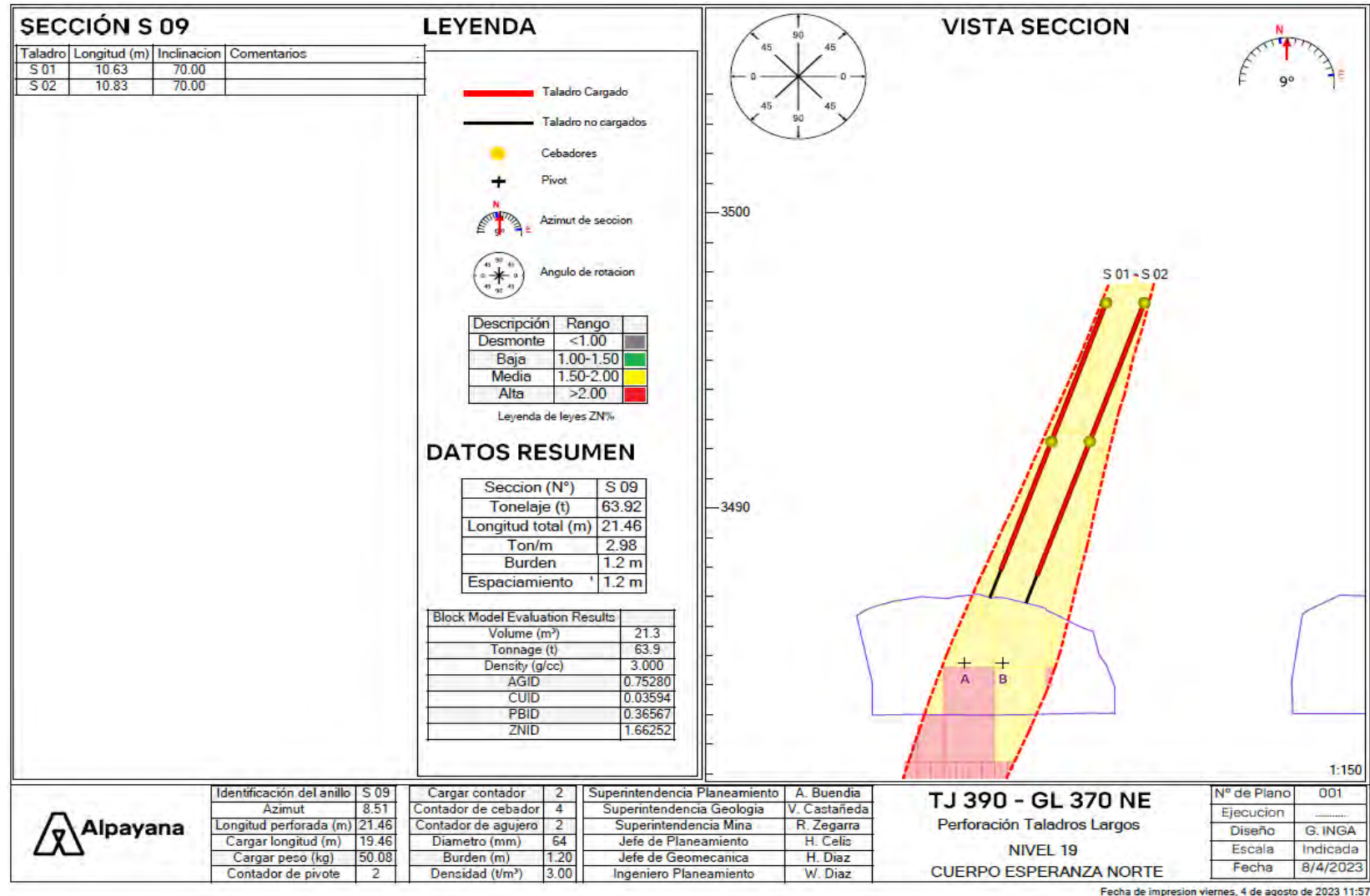
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 46: Plano de perforación y carguío sección N°8 / Tajo 390



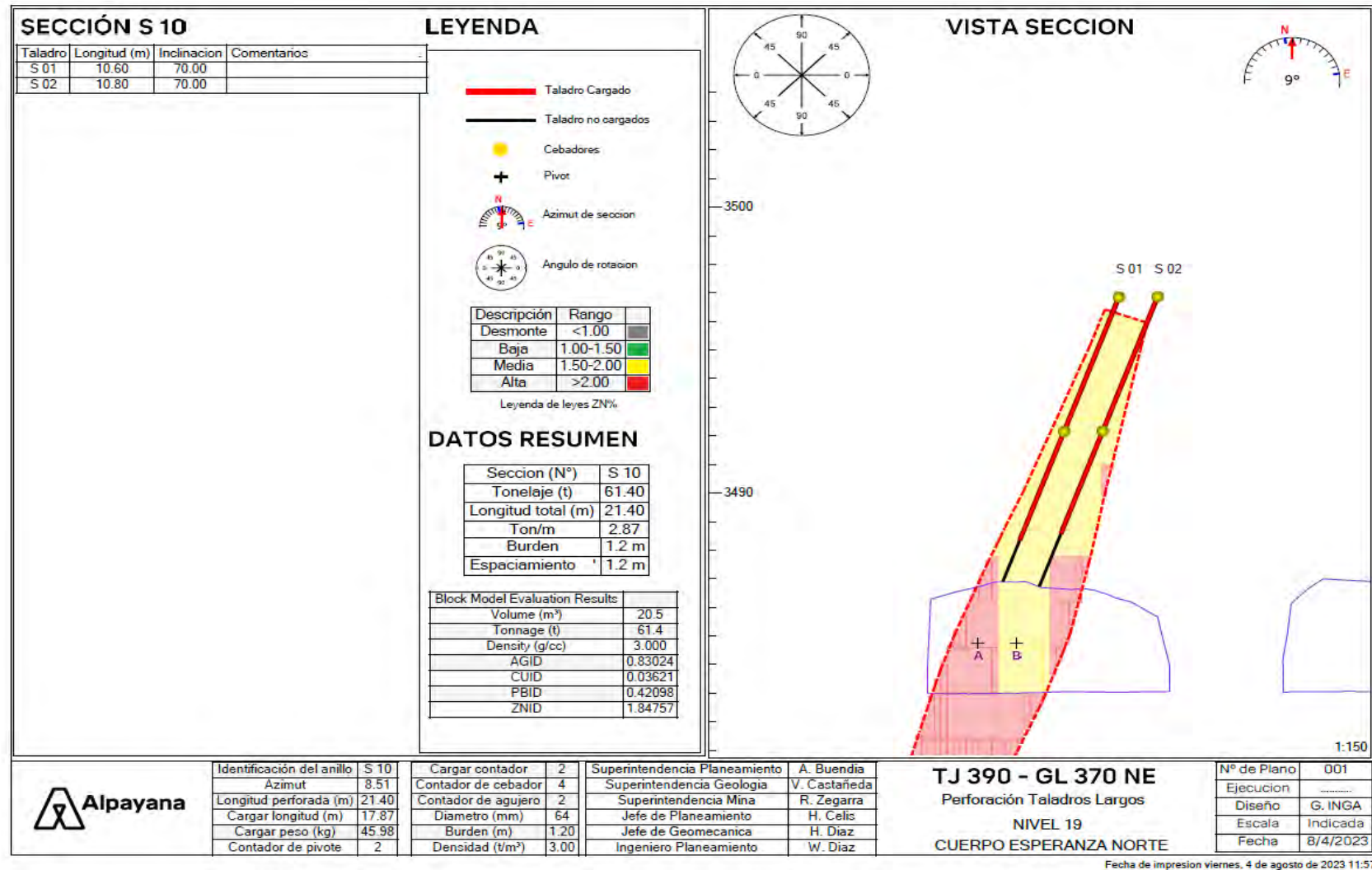
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 47: Plano de perforación y carguío sección N°9 / Tajo 390



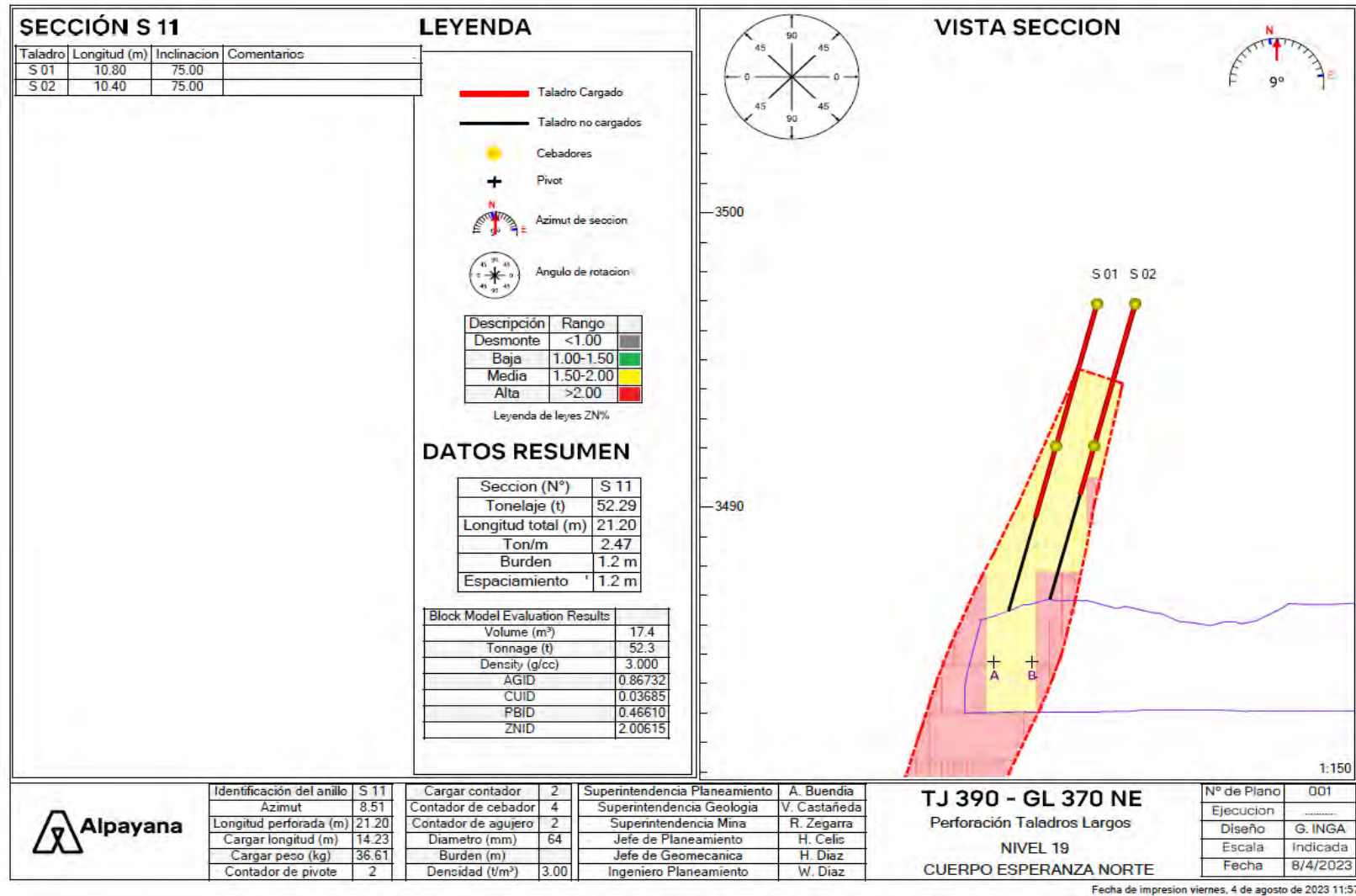
Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 48: Plano de perforación y carguío sección N°10 / Tajo 390



Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

Figura 49: Plano de perforación y carguío sección N°11 / Tajo 390



Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

4.7.2 Elección de Tipo de Brocas según características geomecánicas a Perforar.

Existen 3 tipos de preguntas para determinar el tipo de broca a seleccionar:

1. ¿Qué tan dura es la roca?

Aquí se evalúa el porcentaje de cobalto en el inserto de la broca como así también el diseño y forma del inserto, para roca con una resistencia a la compresión mayor a 220 mpa se recomienda el uso de insertos esféricos.

Figura 50: Insertos Esféricos



Fuente: Elaboración Propia

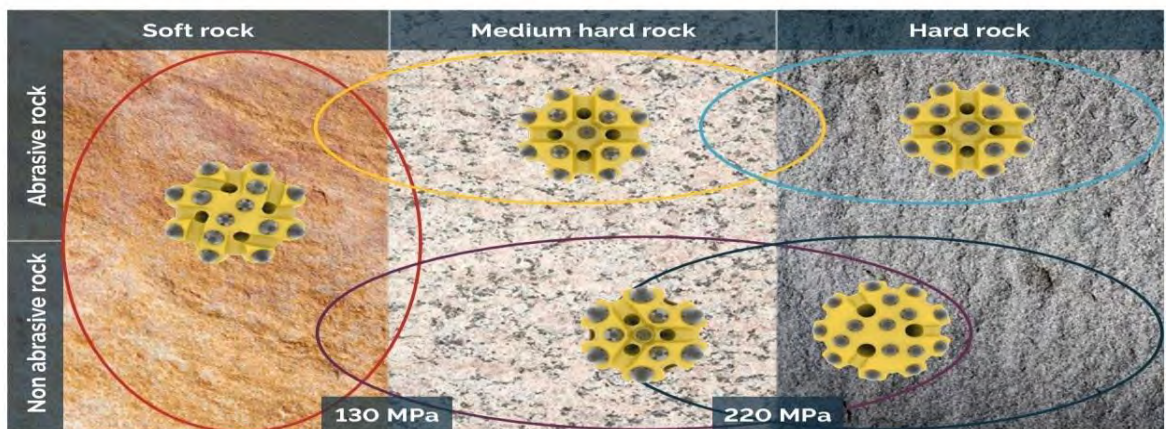
Para una roca con una resistencia a la compresión entre 130 a 220 mpa se recomienda insertos balísticos para obtener una mayor velocidad de penetración.

Figura 51: Insertos Balísticos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 52: Recomendación de tipo de broca por resistencia a la compresión y abrasividad.



Fuente: Catalogo de aceros EPIROC,2022

2. ¿Qué tan abrasiva es la roca?

Aquí se evalúa el porcentaje del carburo de tungsteno que netamente representa la resistencia al desgaste del inserto y determina el tamaño de inserto a optar.

3. ¿Qué tan homogénea es la roca?

Definir el tipo de cuerpo de la broca y diseño de la cara matriz de la broca.

Figura 53: Tipo De Cuerpo De La Broca



Fuente: Manual Robit

Para nuestro caso en el nivel 19 de la unidad minera americana su geomecánica presenta una roca no homogénea, medianamente abrasiva y dureza intermedia tipo IIIB, para lo cual elegiremos una broca retráctil de botones medianos con cara drop center y insertos esféricos ya que existen zonas con resistencia a la compresión mayores a 200 Mpa de esta manera garantizamos un buen rendimiento sin posibles roturas prematuras.

4.7.3 Check list de Operación (Pericia Del Operador)

Es la supervisión al operador durante la perforación con el equipo simba el cual debe cumplir los estándares de perforación. Según el manual de operación recomendada por el fabricante.

Tabla 7: Supervisión Al Operador

ACTIVIDAD	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN EQP
HERRAMIENTAS DE GESTION	10	
POSICIONAMIENTO DEL EQUIPO	5	
USO DE CLINOMETRO	5	
USO ADECUADO DE STINGER	20	
ADECUADA PRESION DE AVANCE	20	
EMBONADO DE BARRAS	10	
RECUPERACION DE BARRAS	10	
RECUPERACION DE BROCAS	20	
	TOTAL	

Fuente: Elaboración Propia

Se implementa un check list netamente para evaluar la correcta perforación por parte del operador así mismo se define que:

90-100 buena; 70- 90 regular; <70 deficiente.

Esto con fines de llevar un registro de pericia del operador y así mismo abocarnos en el tema de capacitación en el ítem más errado o defectuoso.

4.7.4 Uso y Cuidado de Aceros de Perforación

Buenas prácticas para garantizar que el acero de perforación tenga un desgaste homogéneo dentro de la columna de perforación.

4.7.4.1 Rotación de barras

Como parte del varillaje de perforación las barras representan más del 50 % del costo total en aceros, para lo cual su cuidado y que este acero llegue a su vida útil es crucial para la optimización de costos como así también para garantizar la perforación según lo programado y diseñado según malla. por ende, la rotación de barras se da netamente para que el desgaste de las uniones roscadas sea homogéneas ya que al no realizar una rotación adecuada la barra que va adelante tiende a tener un mayor desgaste de roscas en cual se tendría un alto riesgo de rotura prematura de la barra dentro del taladro lo cual afectaría al rendimiento como así también al diseño inicial de la malla de perforación.

Figura 54: Rotación De Barras



Fuente: Elaboración Propia

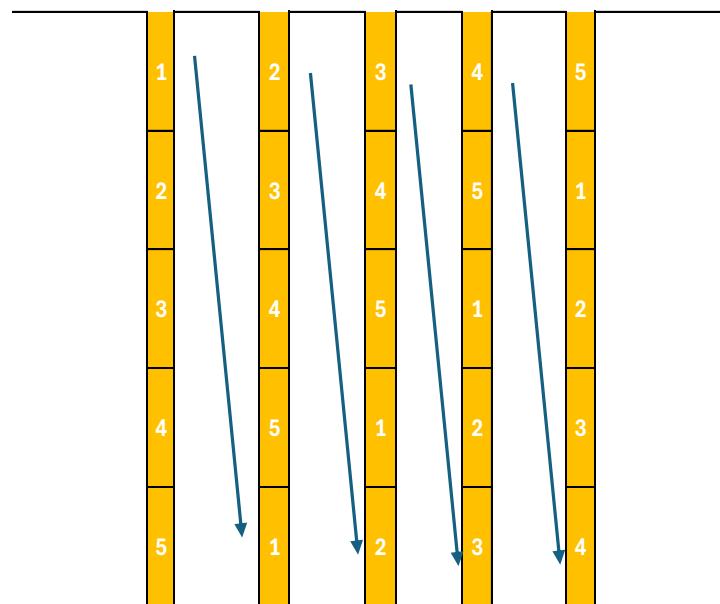
Mala rotación de barras se tiene un desgaste irregular de las roscas de acoplamiento.

Figura 55: Rotación adecuada de barras I



Fuente: Elaboración Propia

Figura 56: Rotación adecuada de barras II



Fuente: Elaboración Propia

Adecuada rotación de barras con un desgaste homogéneo de las uniones roscadas

El objetivo es netamente que la primera barra sea la última en el siguiente taladro lo cual se puede visualizar en el ejemplo en mención.

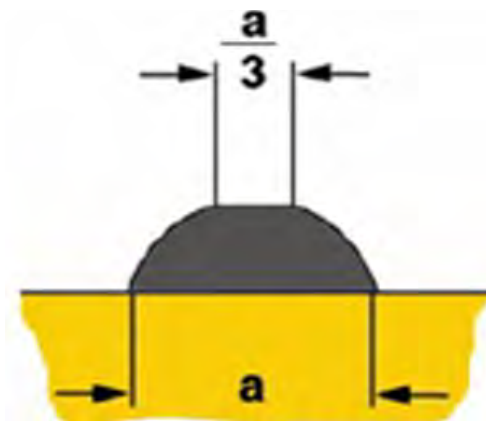
4.7.4.2 Rotación de brocas

La rotación de brocas es netamente el intervalo de metros perforados de broca a broca esto en función al diámetro de la broca y altura de inserto a fin de evitar la sobre perforación de brocas.

A. Sobre perforación de brocas

-Se considera una broca sobre perforada cuando el inserto presenta una luz de desgaste mayor al $\frac{1}{3}$ del diámetro del mismo inserto.

Figura 57: Luz De Desgaste Mayor Al $\frac{1}{3}$



Fuente: Elaboración Propia

-Las brocas sobre perforadas generan una perforación deficiente, donde la energía de retorno incrementa fatigando toda la columna de perforación

-Al no rotar adecuadamente las brocas tras cumplir un metraje determinado, simultáneamente disminuye el índice de penetración.

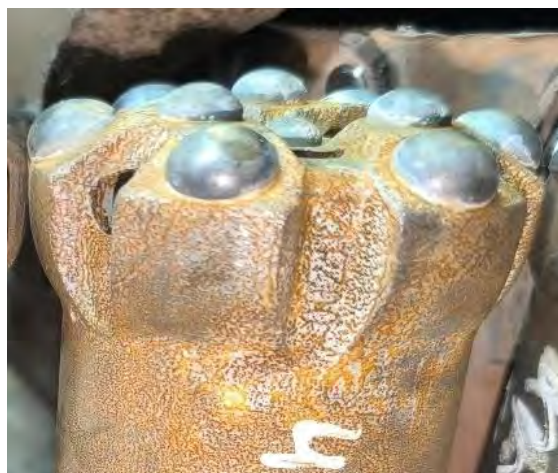
Figura 58: Broca No Rotada Adecuadamente (Sobre Perforada)



Fuente: Elaboración Propia

Al no rotar adecuadamente las brocas tras cumplir un metraje determinado, disminuye el índice de penetración y excede el desgaste a 1/3 del diámetro lo cual al realizar el afilado de brocas su desgaste de altura y diámetro será mayor.

Figura 59: Adecuada Rotación de Brocas



Fuente: Fotografía Propia

A fin de evitar la sobre perforación de brocas como parte del control después de realizar el afilado de brocas realizamos la medición de la altura de inserto y diámetro de la broca esto en función a una evaluación de tiempos y velocidades en perforación.

Gráfica 2: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación I

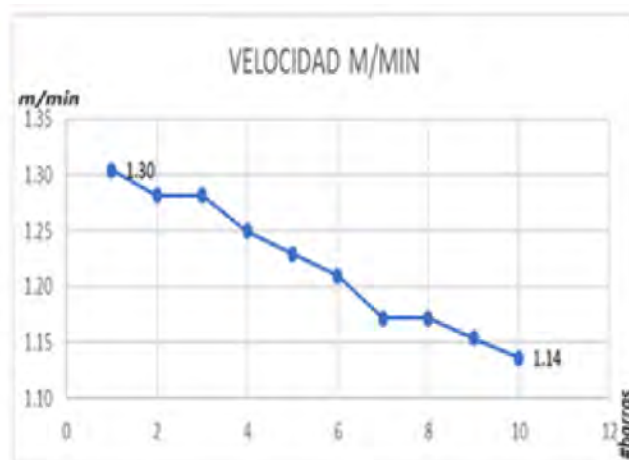
N°B	RMR	DIAMETRO	H. INSERT	LONG. BARRA	T.MIN	V M/MIN
1	50	65	5	1.5	1.05	1.43
2	50	65	5	1.5	1.08	1.39
3	50	65	5	1.5	1.10	1.36
4	50	65	5	1.5	1.12	1.34
5	50	65	5	1.5	1.15	1.30
6	50	65	5	1.5	1.15	1.30
7	50	65	5	1.5	1.21	1.24
8	50	65	5	1.5	1.22	1.23
9	50	65	5	1.5	1.22	1.23
10	50	65	5	1.5	1.30	1.15



Fuente: Elaboración Propia

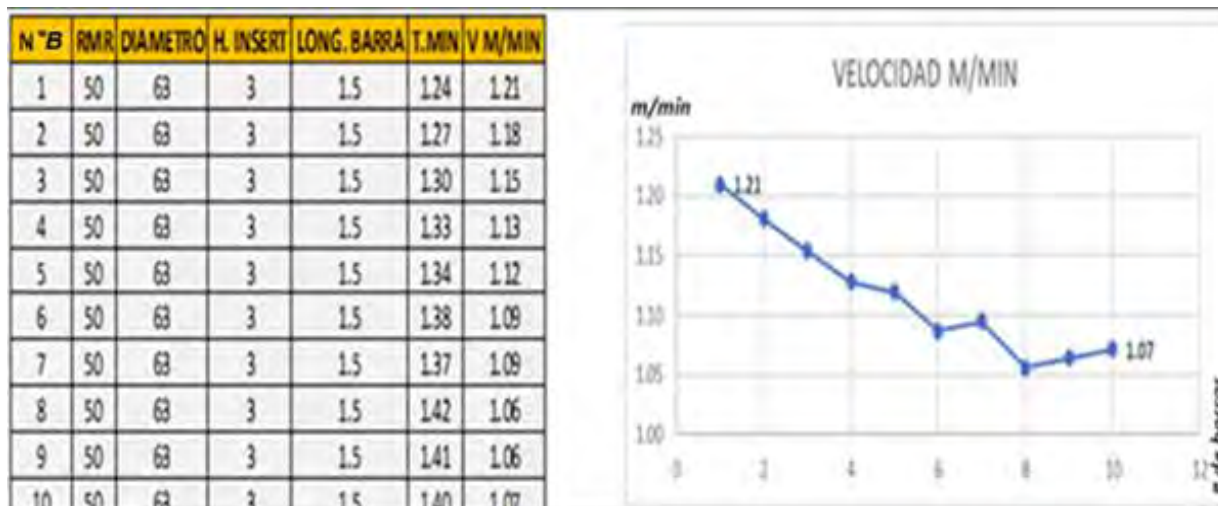
Gráfica 3: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación II

N°B	RMR	DIAMETRO	H. INSERT	LONG. BARRA	T.MIN	VM/MIN
1	50	64	4	1.5	1.15	1.30
2	50	64	4	1.5	1.17	1.28
3	50	64	4	1.5	1.17	1.28
4	50	64	4	1.5	1.20	1.25
5	50	64	4	1.5	1.22	1.23
6	50	64	4	1.5	1.24	1.21
7	50	64	4	1.5	1.28	1.17
8	50	64	4	1.5	1.28	1.17
9	50	64	4	1.5	1.30	1.15
10	50	64	4	1.5	1.32	1.14



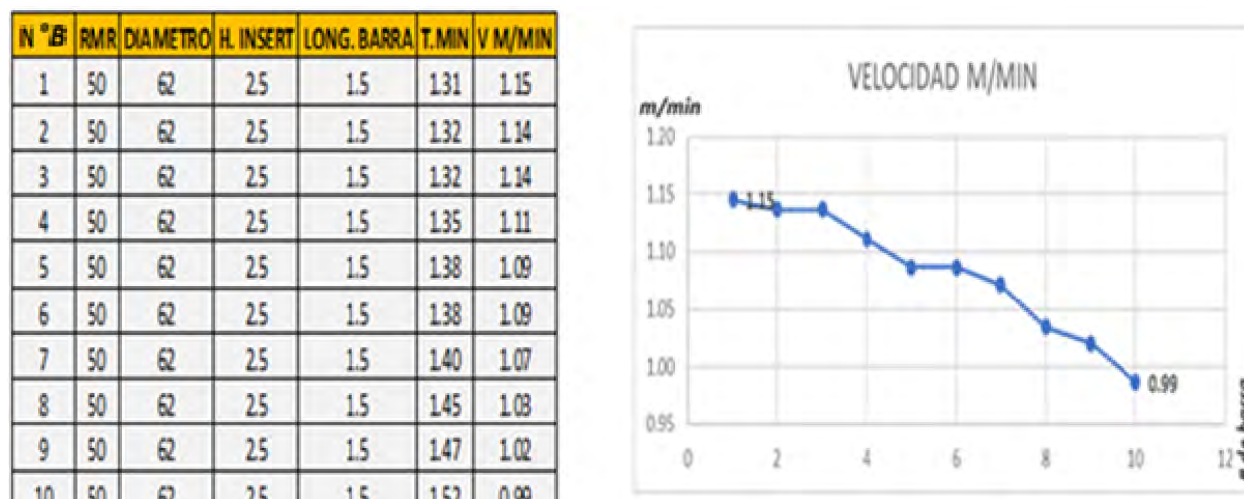
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 4: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación III



Fuente: Elaboración Propia

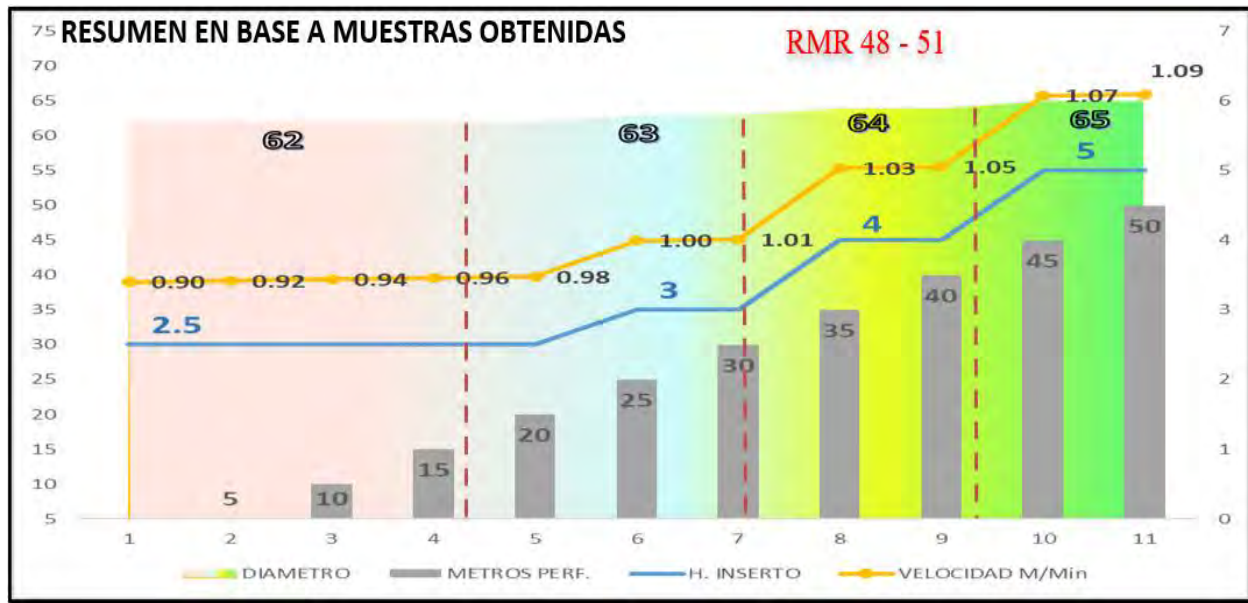
Gráfica 5: Evaluación de Tiempos y Velocidades en Perforación IV



Fuente: Elaboración Propia

En función a la toma de tiempos se obtiene un gráfico resumen el cual nos servirá de base para poder evitar la sobre perforación de brocas.

Gráfica 6: Resumen En Base A Muestras Obtenidas



Fuente: Elaboración Propia

Lo que se resume al siguiente cuadro

Tabla 8: En Función a la Toma de Tiempos

DIAMETRO	H.INSERTO	V.PERF	METROS PERF.
65	5	(1.07-1.09)	(45 a 50)m
64	4	(1.03-1.05)	(35 a 40)m
63	3	(1.00-1.01)	(25 a 30)m
62	2.5	(0.92-0.94)	(10 a 15)m

Fuente: Elaboración Propia

Es por ello que en función a este cuadro se rotula las brocas para que el operador pueda guiarse el intervalo para el cambio de brocas.

Figura 60: Rotulado de Brocas



Fuente: Elaboración Propia

En la imagen anterior podemos apreciar que ya se colocan los metros a perforar en la broca a fin de mantener la velocidad optima según mediciones realizadas

4.7.4.3 Engrase de uniones roscadas

Es necesario engrasar las roscas macho con una cantidad considerable de grasa negra grafitada, de esta manera facilitar en embonado y desembonado de las barras

- mayor disponibilidad para perforación, facilitando la recuperación de barras
- Evitando la percusión excesiva para soltar las juntas.

Figura 61: Evitando La Percusión Excesiva Para Soltar Las Juntas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 62: Causas De No Engrasar.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 63: Causas De No Engrasar.



Fuente: Elaboración Propia

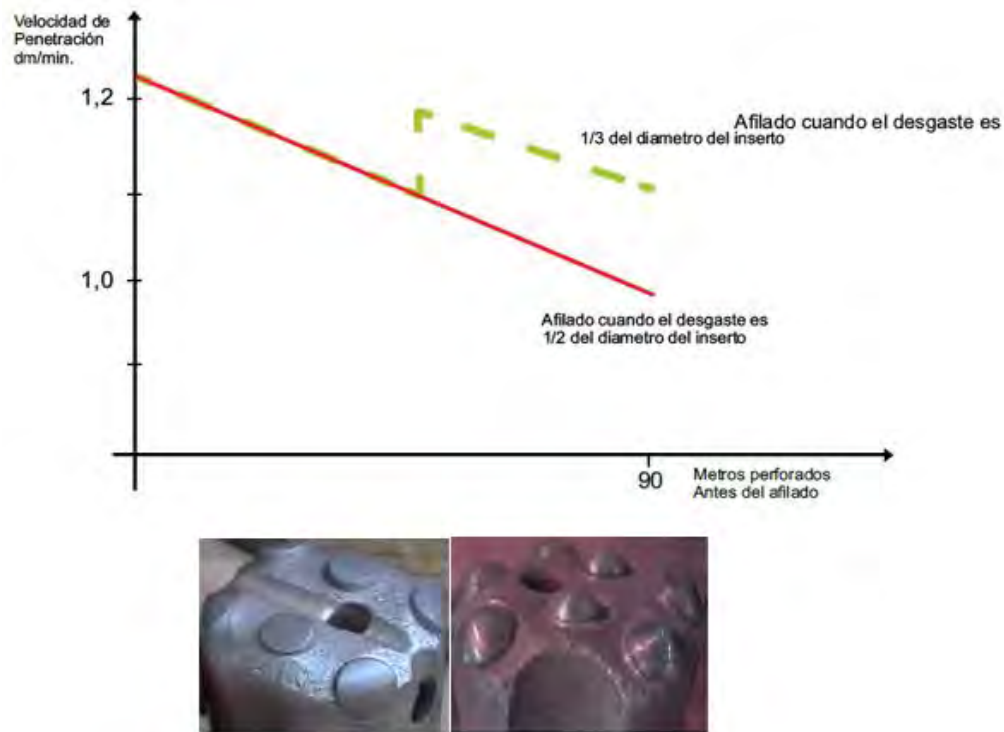
4.7.4.4 Aguzado De Brocas

El proceso de reacondicionamiento de los insertos desgastados a su condición original se lleva a cabo mediante el uso de una afiladora especializada. Esta tarea se vuelve necesaria cuando la broca, durante el proceso de perforación, experimenta deformaciones y desgaste en los insertos, lo que resulta en una resistencia adicional durante la perforación. Este aumento en la resistencia conduce a una perforación más lenta y puede ocasionar daños en la columna de perforación debido al esfuerzo adicional y al recalentamiento generado por el proceso de perforación.

Se recomienda realizar el afilado de los insertos cuando el desgaste supera el 33% del diámetro del inserto, ya que en este punto el rendimiento de la broca se ve significativamente afectado. La restauración de los insertos desgastados mediante el afilado ayuda a mantener la eficiencia y la calidad del proceso de perforación, al tiempo que prolonga la vida útil de la broca

y reduce el riesgo de daños en la columna de perforación debido a la sobrecarga y el recalentamiento.

Gráfica 7: Pérdida de velocidad de penetración



Fuente: Manual Rock tools,2021

a.Orígenes de la Sobre perforación

La sobre perforación puede surgir cuando los insertos de la broca han alcanzado un nivel significativo de desgaste, lo que resulta en una pérdida de capacidad para triturar la roca. En esta situación, toda la fuerza transmitida por la perforadora regresa hacia la broca, lo que puede ocasionar daños graves en los aceros de perforación. Es esencial tener en cuenta que una perforadora hidráulica típicamente produce entre 3,000 y 3,500 golpes por minuto, y con cada golpe se transmite una fuerza considerable de entre 30 y 40 toneladas métricas.(manual de rocktools,2024)

b.Ventajas de un Afilado Adecuado

El proceso de afilado adecuado presenta una serie de beneficios significativos que pueden mejorar considerablemente el rendimiento y la eficiencia del proceso de perforación:

- **Aumento de la velocidad de penetración:** Al restaurar los insertos desgastados a su condición óptima, se logra una mayor capacidad de trituración de la roca, lo que se traduce en una mejora notable en la velocidad de perforación.
- **Reducción de la carga sobre los aceros de perforación y la máquina:** Al mantener los insertos afilados, se minimiza la resistencia al corte durante la perforación, lo que reduce la tensión en los aceros de perforación y en la propia máquina perforadora.
- **Incremento de la productividad:** La mejora en la velocidad de penetración y la reducción de la carga sobre los equipos contribuyen a aumentar la productividad general del proceso de perforación.
- **Disminución de la desviación de los taladros:** Un afilado adecuado de los insertos ayuda a mantener la dirección deseada de los taladros, lo que resulta en una reducción de la desviación y en una mayor precisión en la perforación.

c.Aguzadora Semiautomática Eléctrica:

El proceso de afilado de brocas, que implica restaurar la forma original de los insertos de la broca, se lleva a cabo utilizando máquinas especializadas. En esta ocasión, se empleó la aguzadora eléctrica MINIJUNIOR, fabricada por la reconocida marca CME.

Figura 64: Aguzadora semiautomático – vista en campo



Fuente:Fotografía Propia

Figura 65: Aguzadora semiautomático – vista en catalogo

TECHNICAL DATA

Working Capacity	Light duty
Electrical Requirements	24-32 volts DC 5 Amps
Hydraulic Requirements	15 l/min (3.96 US gal/min) 200-300 bar (2900-4350 psi) Filtered to 10 µm (ISO 1406:99)
Working Air Pressure	6.3 bar (90 psi)
Water/coolant	Tank with integral pump
Weight excl. packaging	82 kg (180 lbs.)
Grinder Dimensions	521 x 375 x 790 mm 20.5" x 15" x 31"
Weight incl. Packaging	104 Kg (229 lbs)
Transport Dimensions	1100 x 520 x 640 mm 43" x 21" x 25"
Sound Level	76 dB(A)
Capacity Threaded Bit	Skirt diameter max 140 mm (5.5")
Capacity Down the Hole Bit	shank diameter max 140 mm (5.5")



Note: Must be completed with CME's patented Super Diaroc HD grinding cups.

Fuente: Catalogo de Afiladora Marca CME,2020

d. Aguzadora manual-neumática:

La aguzadora opera exclusivamente con el suministro de aire comprimido y se emplea específicamente para el afilado de los insertos que presentan deformaciones irregulares.

Figura 66: Aguzadora Manual-Neumática

DATOS TÉCNICOS

Velocidad del eje	22 000 rpm
Motor	Neumático
Potencia de salida	1.8 kW (2.4 Hp)
Presión neumática de trabajo	7-8 bares (100-115 psi)
Consumo de aire	2.2 m ³ /min (78 pies ³ /min)
Diámetro de la manguera de aire	19 mm (0.75")
Diámetro de la manguera de agua	6 mm (0.25")
Presión de agua/refrigerante	4 bares (60 psi)
Peso excl. embalaje	2.6 kg (5.7 lb.)
Peso incl. embalaje	3.5 kg (7.7 lb.)
Dimensiones para el transporte	460 x 250 x 200 mm 18" x 10" x 8"
Nivel de sonido	92 dB(A) o 82 dB(A) con manguera silenciadora
Nivel de vibración	< 2.5 m/s ²



* El filtro opcional, regulador, lubricador kit se muestra.

Nota: Debe completarse con las copas de afilado Super Diaroc HD patentadas de CME.

Fuente: Catalogo de Afiladora Marca CME, 2020

4.7.4.5 Copas de Aguzado.

El dispositivo de afilado se dedica a restaurar la forma original de los insertos de las brocas, utilizando polvo de diamante para moldear el inserto de vuelta a su estado inicial. Al igual que los botones de las brocas, estas copas se seleccionan en función del tipo de inserto de las brocas y su

diámetro correspondiente. Por ejemplo, si el inserto es de 12 mm y de tipo esférico, se debe emplear una copa esférica de 12 mm.

Figura 67: Copas De Aguzado



Copas hexagonales female



copas con pin

Fuente: Atlas Copco

4.7.4.6 Desbastado de Brocas

a.Amoladora:

Como estrategia para prolongar la vida útil de las brocas, se lleva a cabo el proceso de desbastado de brocas utilizando una amoladora de discos. Este método tiene como objetivo principal exponer los insertos desgastados de las brocas, permitiendo así que sean afilados para su posterior utilización.

Figura 68: Amoladora



Fuente: Elaboración Propia -figura referencial

b.Electrolisis:

Del mismo modo, se emplean estas herramientas con el propósito de exponer los insertos desgastados. Este método implica corroer la matriz que rodea al inserto, desgastando el acero, pero preservando el inserto. Aunque este enfoque puede ser más costoso, ofrece un acabado estético superior en comparación con otros métodos.

Figura 69: Electrolisis - I



Fuente: Elaboración Propia

Figura 70: Electrolisis – II



Fuente: Elaboración Propia

4.7.5 Tiempo de Perforación

La toma de tiempos de perforación nos permite evaluar la velocidad de penetración así mismo definir el intervalo de afilado de una broca según su desgaste.

Tabla 9: Tiempos de Perforación

FECHA	TURNO	LABOR	Nº DE BARRAS	TIPO DE ROCA	RMR	RESIST.COMP. SIMPLE (Mpa)	RPM	Pº AGUA (BAR)	TIEMPO NETO DE PERF.	TIEMPO PROM/BARRA	VELOC. PENET.(M/min)
14/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	00:47:24	00:01:19	1.14
15/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	6	01:28:40	00:01:35	0.90
16/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	7	02:16:30	00:01:30	0.95
17/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	00:56:42	00:01:21	1.11
17/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	01:22:30	00:01:15	1.20
22/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	00:47:24	00:01:19	1.14
22/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	10	00:15:24	00:01:17	1.17
23/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	7	01:45:00	00:01:30	0.95
24/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	7	00:45:00	00:01:30	1.00
24/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	9	00:45:30	00:01:18	1.10
26/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	00:40:30	00:01:21	1.11
27/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	01:11:06	00:01:19	1.14
28/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	00:41:30	00:01:23	1.08
30/09/2023	NOCHE	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	7	01:47:20	00:01:32	0.93
30/09/2023	DÍA	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	7	02:46:15	00:01:35	0.90
01/10/2023	NOCHE	TJ 390 -370	8	IIIB	41-50	80-100	160	6	01:39:12	00:01:33	0.89
02/10/2023	DÍA	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	8	02:02:51	00:01:21	1.06
02/10/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	9	02:40:00	00:01:20	1.13
04/10/2023	DÍA	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	8	00:40:30	00:01:21	1.11
05/10/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	7	01:42:18	00:01:33	1.08
05/10/2023	DÍA	TJ 390 -370	8	IIIB	41-50	80-100	160	8	01:26:24	00:01:21	1.02
07/10/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	7	01:23:42	00:01:33	0.97
08/10/2023	DÍA	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	8	01:53:24	00:01:21	1.06
08/10/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	7	01:04:24	00:01:32	0.98
10/10/2023	DÍA	TJ 390 -370	7	IIIB	41-50	80-100	160	8	01:25:03	00:01:21	1.06
11/10/2023	NOCHE	TJ 390 -370	6	IIIB	41-50	80-100	160	7	01:12:00	00:01:30	1.00
PROMEDIO								8	01:21:47	00:01:25	1.05

Fuente: Elaboración Propia,2023

4.7.6 Capacitación de Operadores

Se identifica las incidencias de los desvíos fuera de una adecuada perforación los cuales estas se refuerzan como temas de capacitación.

Figura 71: Capacitación De Operadores



Fuente: Fotografía Propia, 2023

4.8 Factores Mecánicos (Check list Equipo de Perforación)

4.8.1 Parámetros de Perforación

Cuando se logra ajustar adecuadamente las presiones de trabajo y se mantienen condiciones óptimas en el equipo y la perforadora, se maximiza el rendimiento de los aceros de perforación y se alcanza una producción óptima

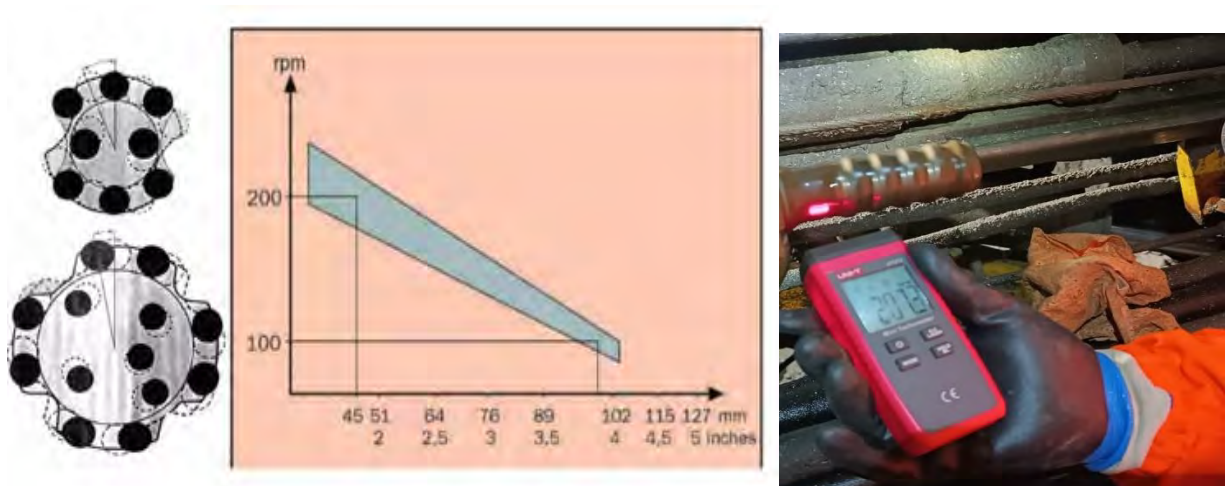
4.8.1.1 Rotación

La rotación en perforación percutiva tiene como cometido situar la broca en una nueva orientación tras cada golpe contra la roca. La velocidad de giro (RPM) adecuada depende del diámetro de la broca, la dureza del macizo y la frecuencia de percusión. Un régimen de rotación demasiado bajo provoca un giro irregular de la barra y, en especial, esfuerzos indebidos sobre el sistema de rotación. Por el contrario, un régimen excesivamente alto ocasiona un desgaste acelerado del filo externo de la broca, genera detritos muy finos durante la perforación y acelera el deterioro tanto de la perforadora como de los componentes del mecanismo de rotación.

4.8.1.2 RPM

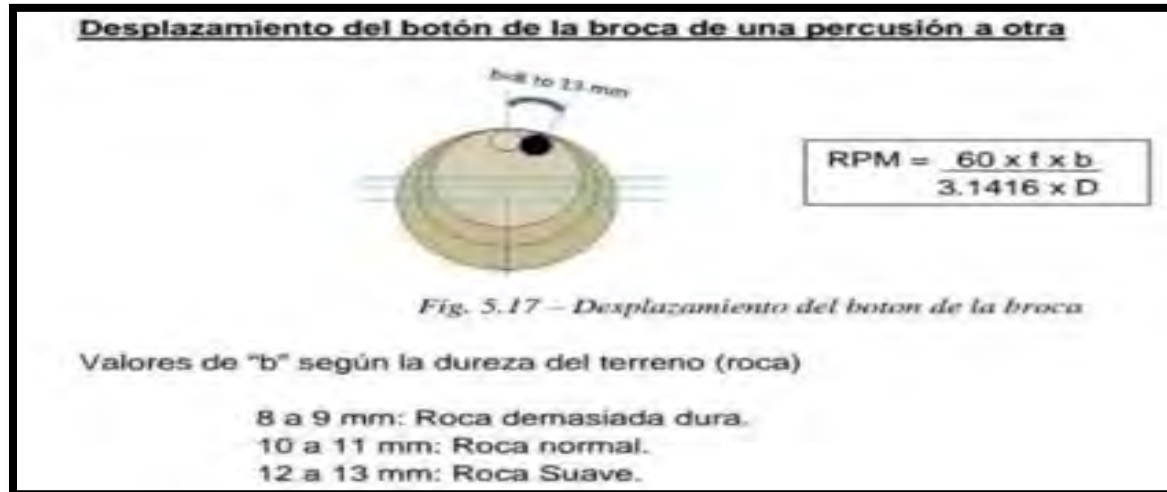
La velocidad de rotación, medida en revoluciones por minuto (RPM), se ajusta en función del diámetro de la broca y la frecuencia de impacto generada por la perforadora. Esta configuración determina directamente la velocidad a la que gira la columna de perforación durante la operación.

Figura 72: velocidad de giro de las columnas de perforación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 73: Desplazamiento del botón de la broca de una percusión a otra



Fuente: Manual Resemin

f: frecuencia de impacto (se usa una perforadora COP1838 de 55 golpes/segundo.)

b: desplazamiento del botón periférico(para roca normal o intermedia 10 mm de desplazamiento.

D: diámetro de la broca (se usa Broca de 64 mm.)

$$RPM = \frac{60 * 55 * 10}{64 * 3.1416} = 164 RPM$$

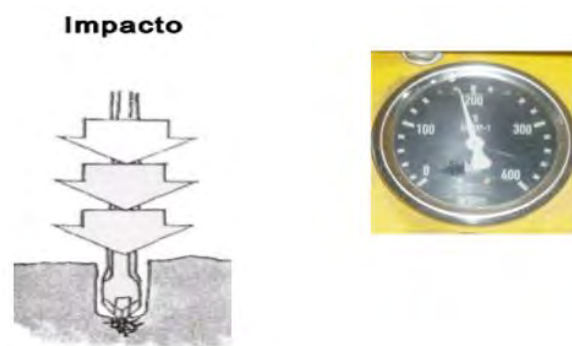
4.8.1.3 Percusión

El método de perforación utiliza principalmente energía cinética, la cual se transmite desde el pistón hacia la broca en forma de una onda de choque. Cuando esta onda de choque alcanza la

broca, una porción de la energía se convierte en trabajo, lo que permite que la broca penetre en la roca, mientras que el resto se refleja y retrocede a través del sistema de varillaje.

Es fundamental tener en cuenta que, durante este proceso, al utilizar un martillo en la cabeza de la perforadora, existe una pérdida de energía que ocurre en las uniones de las barras, que oscila típicamente entre un 8% y un 10%. Además, parte de la onda de choque que llega a la broca se refleja de vuelta en el sistema, lo que también puede influir en la eficiencia y la productividad del proceso de perforación.

Figura 74: Percusión



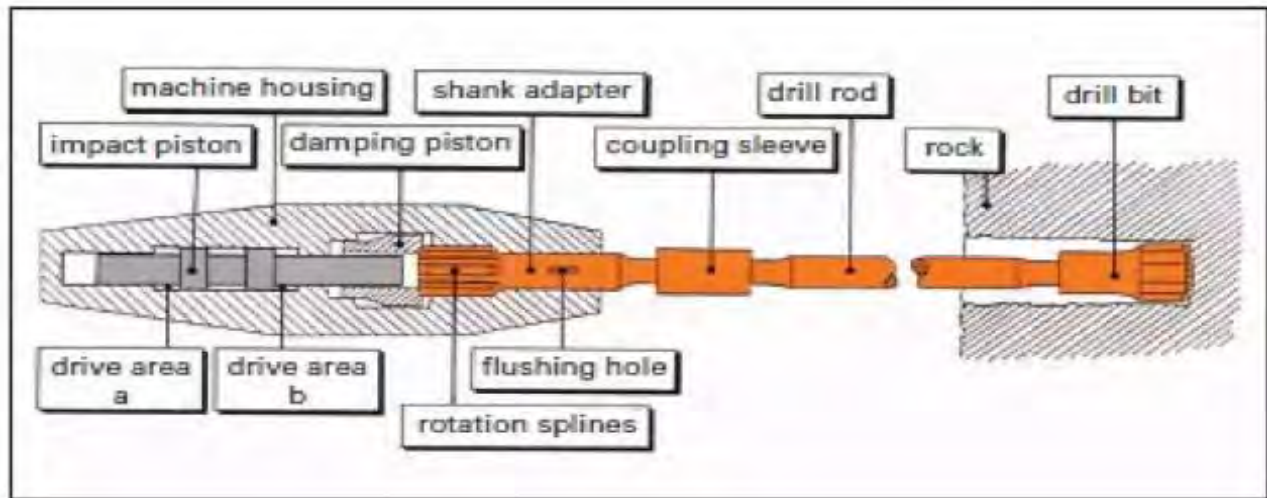
Fuente: Manual de Perforación Atlas Copco

Figura 75: Tipos de dureza de la roca



Fuente: Geoenciclopedia

Figura 76: Mecanismo de percusión



Fuente: Manual de Perforación Atlas Copco

4.8.1.4 Barrido

Para que la perforación se lleve a cabo de manera efectiva, es esencial mantener el fondo del taladro constantemente limpio, evacuando el detrito tan pronto como se forme. Si esta limpieza no se realiza de manera adecuada, se requerirá una cantidad considerable de energía para triturar estas partículas, lo que resultará en un desgaste excesivo de los equipos y una pérdida de rendimiento. Además, existe el riesgo de que se produzcan atascos, lo que podría ocasionar demoras en la operación y potencialmente daños en los equipos.

Es importante destacar que existen dos métodos principales para el barrido del detrito durante la perforación. El barrido con aire se emplea principalmente en operaciones a cielo abierto, donde el polvo generado puede ser capturado mediante sistemas de filtrado. Por otro lado, el barrido con agua es el método más comúnmente utilizado en perforación subterránea, ya que además de limpiar el fondo del taladro, ayuda a suprimir el polvo, mejorando las condiciones de trabajo para los operadores.

Las partículas desalojadas durante el proceso de perforación son evacuadas a través del espacio anular entre las barras de perforación y la pared del taladro, permitiendo así una evacuación eficiente del detrito generado durante la operación.

Figura 77: Barrido



Fuente: Manual de Perforación Atlas Copco

4.8.1.5 Avance

Para garantizar una eficiente transmisión de la energía hacia la roca durante el proceso de perforación, es fundamental mantener un contacto continuo entre la broca o cabezal de perforación y la superficie de la roca. Este contacto constante se logra mediante la aplicación de una fuerza de empuje proporcionada por un motor o cilindro de avance, el cual debe ajustarse adecuadamente según el tipo de roca y la broca utilizada.

Es esencial tener en cuenta que un empuje insuficiente puede resultar en una disminución de la velocidad de penetración, lo que a su vez puede ocasionar un mayor desgaste de la broca y una eficiencia reducida en el proceso de perforación. Por otro lado, un exceso de empuje también

puede tener efectos negativos, ya que puede disminuir la velocidad de penetración, dificultar el desenroscado de las barras de perforación y aumentar la desviación de los taladros, lo que podría afectar la precisión y la calidad del trabajo realizado.

Figura 78: Fuerza de Avance



Fuente: Manual de Perforación Atlas Copco

4.8.2 Estado del boom del equipo

4.8.2.1 Mordaza

Encargada de la sujeción para el acoplamiento entre barra y barra el estado de este componente es vital para un buen acople y desacople y/o el juego radial de todo el varillaje.

4.8.2.2 Brazos transportador de barras

Encargado de mover las barras del carrusel para el acoplamiento del shank y barra esta requiere tener un alineamiento para un buen acople de estas uniones

4.8.2.3 Carrusel

Zona donde se almacenan las barras de perforación los cuales rotan según el uso de cada barra.

4.8.2.4 Unidad de giro

Articulación de movimiento de toda la viga el cual permite un adecuado posicionamiento antes de la perforación el mal estado de este componente hace que en plena perforación la viga tenga movimiento hacia un lado específico.

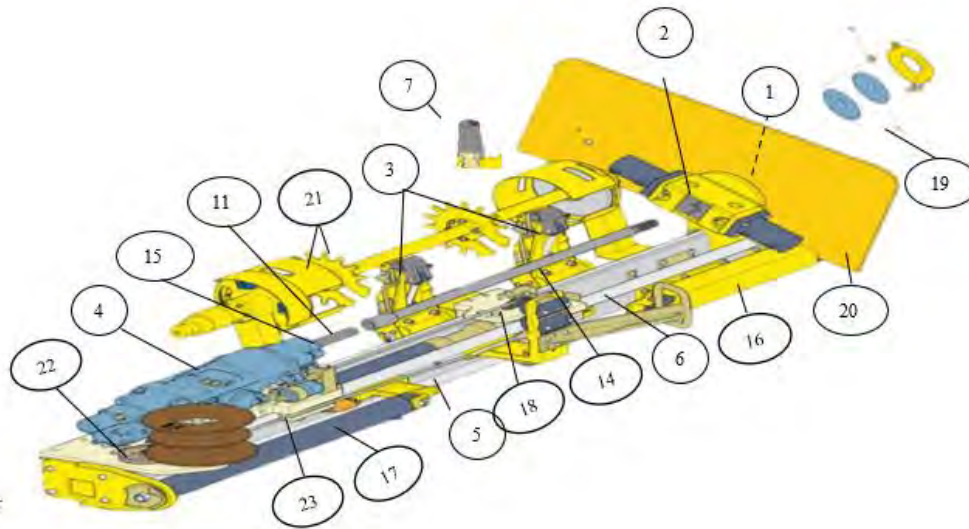
4.8.2.5 Pines y bocinas

Su desgaste de estos componentes implica un movimiento de la viga y articulaciones los cuales en plena perforación afectan a la perforación continua ya que el operador debe devolver la viga a la forma inicial según el Angulo de posicionamiento.

4.8.2.6 Mesa de la cop

Zona donde posa la perforadora el cual estas están sujetas por medio pernos que tienen que estar bien ajustados según manual del fabricante. Caso contrario la perforadora en plena perforación tiene movimiento el cual no garantiza un adecuado avance así mismo un riesgo de caída de la perforadora.

Figura 79: Viga de simba S7D



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Equipo Partes

NRO	DESCRIPCION	ESTADO	OBSERVACIONES
1	GOMA DELANTERA (DOWEL)		
2	MORDAZA		
3	BRAZOS TRANSPORTADORES		
4	PERFORADORA / (MODELO)		
5	VIGA DE AVANCE		
6	SLIDE BAR		
7	LUBRICADOR DE BARRA		
8	LUZ ENTRE SLIDE PICE Y SLIDE BAR		
9	PINES Y BOCINAS		
10	CILINDROS HIDRAULICOS		
11	DRILL COLLAR		
12	BARRIDO		
13	BRAZO		
14	ALINEAMIENTO DE PERF. CON MORDAZA		
15	LUBRICACION DE SHANK		
16	STINGER DELNATERO		
17	STINGER POSTERIOR		
18	MESA DE POLEA DE AVANCE		
19	SELLO DE PLACA FRONTAL		
20	PROTECTOR DE GOMA		
21	CARRUCEL (MANEJO DE BARRAS)		
22	POLEA DE RETORNO		
23	HOLDER /SLIDE PICE		

Fuente: Elaboración Propia

4.8.3 Estado de los componentes de la perforadora

Figura 80: Instrumentos utilizados



Fuente: Catalogo Gromar Maquinarias y Herramientas.

Estos componentes mencionados tienen contacto con el shank adapter y cual tienen q cumplir las medidas de descarte según recomendación del fabricante caso opuesto dañan al shank reduciendo así la vida útil estimada.

4.9 4.8. Factores Administrativos

4.9.1 Elaboración de Base de datos

La base de datos se elabora en función a los reportes de perforación para los metros perforados y la base de datos de control logístico se elabora en función a las guías de remisión de ingreso y vales de salida así mismo al juntar estas con el costo de los aceros se pueden obtener indicadores como metros por equipo, operador o consumo por equipo ,operador así también obtener el indicador \$/M.

Tabla 11: Base de datos de metros según reporte

MES	FECHA	TURNO	EQUIPO	RMR	ACTIVIDAD	LABOR	N°TALADROS	LONGITUD	M.TOTAL	SHANK	BARRA MF
sep-23	12/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	4	9	36	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	12/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	7	10	70	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	13/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	14/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	7	9	63	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	15/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	6	9	54	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	16/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	10	80	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	17/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	10	9	90	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	17/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	7	9	63	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	22/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	22/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	9	9	81	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	23/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	5	9	45	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	24/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	3	9	27	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	24/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	26/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	7	9	63	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	27/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	5	10	50	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	28/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	30/09/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
sep-23	30/09/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	4	9	36	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	01/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	9	9	81	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	02/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	9	9	81	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	02/10/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	10	10	100	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	04/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	11	9	99	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	05/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	5	9	45	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	05/10/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	6	9	54	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	07/10/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	08/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	8	9	72	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	08/10/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	6	10	60	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	10/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	6	8	48	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	11/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	9	9	81	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	11/10/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	9	10	90	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	13/10/2023	DIA	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	10	9	90	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA
oct-23	13/10/2023	NOCHE	S-19	41-50	TALADROS LARGOS	TJ 390-370 NV 19	9	10	90	12-09 TD SAHNK	12-09 TD BARRA

Fuente: Elaboración Propia,2023

4.9.2 Vales de Salida

Hojas de control de entrega de aceros para la alimentación de base de datos de consumo.

Tabla 12: Control Logístico

FECHA	DESCRIPCION	SALIDA
12/09/2023	Shank COP 1838 C38 x 052/525 mm	1
12/09/2023	M/F Rod C38 39R x 1525 mm FC (5')	8
12/09/2023	Button Bit HTG 38C x 64 mm	7

Fuente: Elaboración Propia

4.9.3 Reporte de Perforación del Operador

Tabla 13: Control de Metros Perforados

MES	FECHA	TURNO	EQUIPO	LABOR	M.TOTAL
sep-23	12/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	36
sep-23	12/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	70
sep-23	13/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
sep-23	14/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	63
sep-23	15/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	54
sep-23	16/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	80
sep-23	17/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	90
sep-23	17/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	63
sep-23	22/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
sep-23	22/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	81
sep-23	23/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	45
sep-23	24/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	27
sep-23	24/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
sep-23	26/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	63
sep-23	27/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	50
sep-23	28/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
sep-23	30/09/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
sep-23	30/09/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	36
oct-23	01/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	81
oct-23	02/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	81
oct-23	02/10/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	100
oct-23	04/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	99
oct-23	05/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	45
oct-23	05/10/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	54
oct-23	07/10/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
oct-23	08/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	72
oct-23	08/10/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	60
oct-23	10/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	48
oct-23	11/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	81
oct-23	11/10/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	90
oct-23	13/10/2023	DIA	S-19	TJ 390-370 NV 19	90
oct-23	13/10/2023	NOCHE	S-19	TJ 390-370 NV 19	90
TOTAL					2181

Fuente: Elaboración Propia

4.9.4 Rotulado de brocas

Consiste realizar una marca en el cuerpo de la broca con un punzón con punta de carburo de tungsteno a fin de realizar seguimiento de su despacho y retorno.

Figura 81: Rotulado De Aceros



Fuente: Fotografía Propia

4.9.5 Registro de control de despacho y recepción de aceros

Control manual donde se registra la entrega de brocas diarias y así mismo el retorno de las mismas con el fin de registrar el total de uso de brocas, el total de afiladas y el total de brocas en descarte.

Figura 82: Registro De Control De Despacho-referencial

ENTREGA			NOMBRE OPERADOR / AYUDANTE	FIRMA	RECEPCIÓN					NOMBRE OPERADOR / AYUDANTE	FIRMA	COMENTARIOS ADICIONALES
TURNOS	N	A			N	A	XA	ND				
DIA		4	OSIAS	<i>[Signature]</i>	-	2	2			OSIAS	<i>[Signature]</i>	Conforme
NOCHE		4	ROBERTO	<i>[Signature]</i>	-		4			ROBERTO	<i>[Signature]</i>	Conforme
DIA												
NOCHE												
DIA		4	OSIAS	<i>[Signature]</i>	-	3	1			Richard	<i>[Signature]</i>	Conforme
NOCHE		3	OSIAS	<i>[Signature]</i>	-	2	1			OSIAS	<i>[Signature]</i>	Conforme
DIA		4	RUFINO	<i>[Signature]</i>	-	1	3			RUFINO	<i>[Signature]</i>	Conforme
NOCHE		3	MARCOS	<i>[Signature]</i>	-		2	1	1	MARCOS	<i>[Signature]</i>	SE rompió barra
DIA		4	MILTON	<i>[Signature]</i>	-	2	2			MILTON	<i>[Signature]</i>	Conforme
NOCHE		3	EDGAR	<i>[Signature]</i>	-		4			EDGAR	<i>[Signature]</i>	Conforme

Fuente: Elaboración Propia

4.9.6 Registro de pérdidas prematuras

Es el formato de pérdidas de aceros antes de llegar a su vida útil por distintos factores que pueden ser mecánicos, operacionales y litológicos en los cuales se hacen rellenar por los operadores para tener un sustento de las pérdidas.

4.9.7 Dashboard de resultados

Conjunto de gráficos correspondiente al consumo, metros y costos el cual nos servirán de indicador para mejorar el control específico de los aceros para la obtención máxima de rendimientos.

4.9.7.1 Rendimiento de Shank

Rendimiento: Mt/Ns

- Mt: Metros Acumulados
- Ns: Número De Shank

Rendimiento: $2181/1 = 2181$ Metros/Shank

Tabla 14: Rendimiento Practico De Shank

Etiquetas de fila	Suma de M.TOTAL
S-12-09-23	2181
Total general	2181

SHANK		
METROS	CANTIDAD	RENDIMIENTO
2182	1	2182

Fuente: Elaboración Propia

4.9.7.2 Rendimiento de Barras M/F

Tabla 15: Rendimiento Practico de Barras

Etiquetas de fila		Suma de M.TOTAL
B- 12-09-23(8)		2181
Total general		2181

BARRA MF 5 PIES		
METROS	CANTIDAD	RENDIMIENTO(m)
2182	8	323

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Rend} = \frac{MT}{LB(NB + 1)/2}$$

- MT: metros acumulados(m/barra)
- NB: número de barras
- LB: longitud de barra

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{2182}{1.5 \cdot \frac{(8 \cdot (8+1))}{2}} * 8 = 323 \text{ metros/barra}$$

4.9.7.3 Rendimiento De Brocas

Tabla 16: Rendimiento Practico de Brocas

Etiquetas de fila		Suma de M.TOTAL
BR- 12-09-23(7)		2181
Total general		2181

BROCA DE 64 MM		
METROS	CANTIDAD	RENDIMIENTO(m)
2182	7	312

Fuente: Elaboración Propia

$\text{Rendimiento} = \text{Mt} / \text{Nb}$

- Mt: Metros Acumulados
- Nb: Numero De Brocas

$\text{Rendimiento} = 2182 / 7 = 312 \text{ Metros / Broca}$

4.9.7.4 Costo vs metros perforados

Tabla 17: Costo de Aceros de Perforación Taladros Largos.

DESCRIPCION	COSTO
<i>Shank COP 1838 C38 x 052/525 mm</i>	\$220.27
<i>M/F Rod C38 39R x 1525 mm FC (5')</i>	\$250.22
<i>Button Bit HTG 38C x 64 mm</i>	\$126.74

Fuente: Elaboración Propia

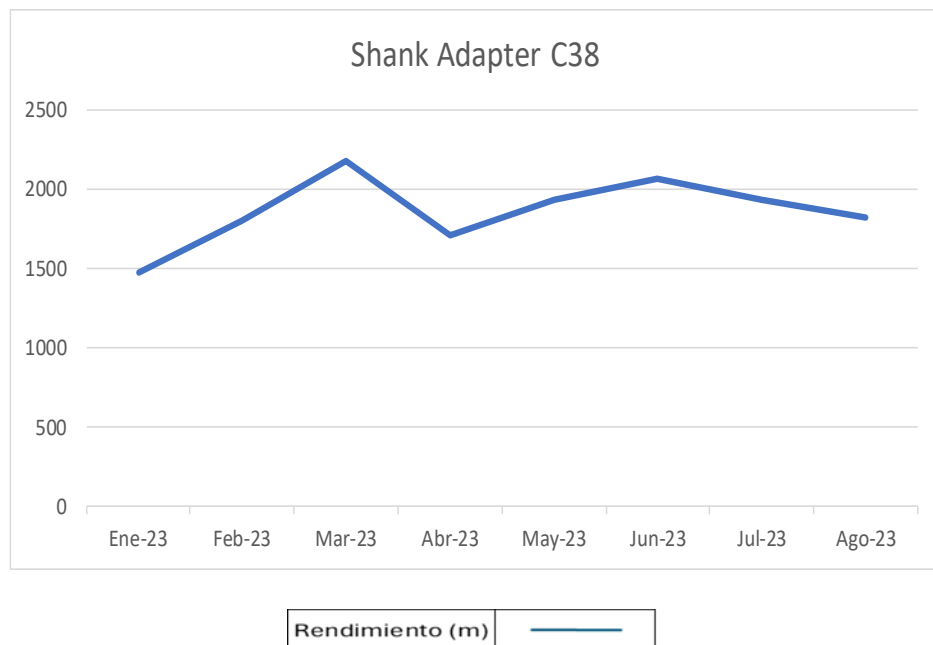
Antes de realizar cualquier evaluación, es crucial tener en cuenta el rendimiento promedio anterior a la prueba. Esto implica analizar detalladamente el historial de rendimientos que abarca desde el 23 de enero hasta el 23 de agosto. Estos datos históricos servirán como nuestro punto de referencia fundamental, el cual será utilizado para comparar y contrastar con los rendimientos que se obtengan posteriormente.

Tabla 18: Rendimiento de Taladros Largos

CUADRO DE RESUMEN - RENDIMIENTO TALADROS LARGOS C38														
Tipo de Perforación		2023												
Taladros Largos														
Nr. Parte	Descripción	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Set-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23	Total general
01-238-064-2386	Button Bit HTG 38C x 64 mm DSR	194	155	134	196	162	155	69	0					1065
01-238-076-3952	Button Bit HTG 38C x 76 mm DSR	3	6	4	2	2	4	4	7					32
06B-07-2420	M/F Rod C38 39R x 1525 mm FC (5')	172	152	156	208	144	175	126	107					1240
06F-07-2662	Shank COP1838 C38 x 038/525 mm	13	8	4	16	10	9	11	7					78
06F-07-2838	Shank COP 1838 C38 x 052/525 mm	18	14	12	13	11	12	7	10					97
01-238-064-0864	TH RBIT 38C64DCRHD	0	0	0	0	0	12	50	117					179
2001578	TH RBIT 38C76DC HD	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Total general		400	335	310	435	329	367	267	248	0	0	0	0	2691
Metros Perforados Producción		45,903	39,638	34,870	49,630	40,541	43,440	34,728	31,035					319,784
Metros Rimado		199	382	390	241	112	122	291	449					2,186
		Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Set-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23	Rend. Prom (m)
Rendimiento en metros por unidad	Shank Adapter C38	1481	1802	2179	1711	1931	2069	1929	1826	-	-	-	-	1866
	Barra MF C38 x 5 Pies	267	261	224	239	282	248	276	290	-	-	-	-	261
	Broca C38 x 64 mm	233	246	253	251	247	254	282	250	-	-	-	-	252

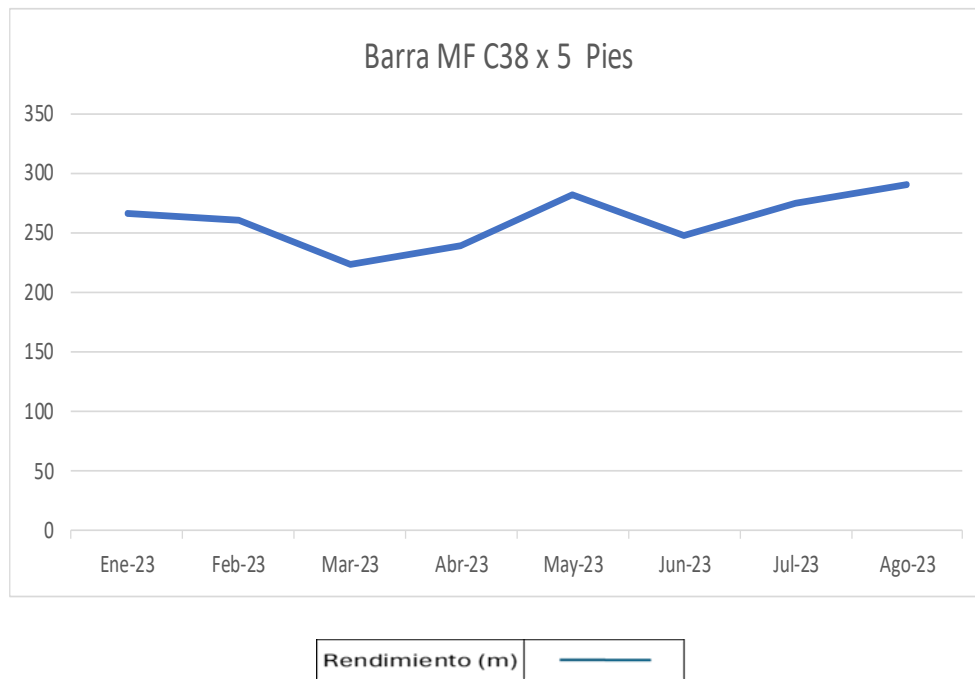
Fuente: Base de datos ROBIT plc.

Gráfica 8: Rendimiento de Shank Adapter C38



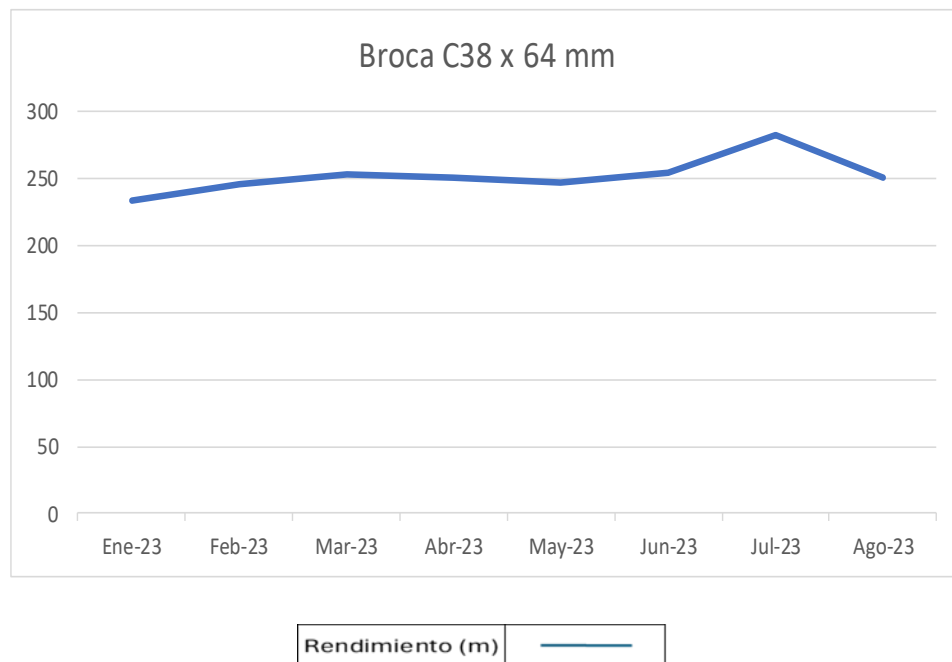
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 9: Rendimiento de Barra C38 X 5 Pies



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 10: Rendimiento de Broca C38 X 64 mm



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19: Resumen del historial de rendimiento promedio ene-23 al ago-23

		Rend. Prom (m)
Rendimiento en metros por unidad	Shank Adapter C38	1866
	Barra MF C38 x 5 Pies	261
	Broca C38 x 64 mm	252

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20: Rendimiento después de la prueba SIMBA #19

		Rend.prueba (m)
Rendimiento en metros por unidad	Shank Adapter C38	2182
	Barra MF C38 x 5 Pies	323
	Broca C38 x 64 mm	312

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21: Indicadores \$/M Antes de da Prueba

		Rend. Prom (m)	COSTO. \$	\$/M
Rendimiento en metros por unidad	Shank Adapter C38	1866	\$220.27	0.12
	Barra MF C38 x 5 Pies	261	\$250.22	0.96
	Broca C38 x 64 mm	252	\$126.74	0.50
		INDICADOR		1.58

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22: Indicadores \$/M Resultado Simba #19

		Rend.prueba (m)	COSTO. \$	\$/M
Rendimiento en metros por unidad	Shank Adapter C38	2182	\$220.27	0.10
	Barra MF C38 x 5 Pies	323	\$250.22	0.77
	Broca C38 x 64 mm	312	\$126.74	0.41
		INDICADOR		1.28

Fuente: Elaboración Propia

La optimización del costo, expresada a través del indicador \$/m, es un proceso crucial en el cual se busca maximizar la eficiencia y minimizar los gastos asociados con la perforación. Para ello, se considera el promedio anual de perforación, que asciende a 500,000 metros por año. Este indicador proporciona una medida significativa de cómo se distribuyen los costos en relación con la cantidad de metros perforados durante el período de tiempo especificado.

Tabla 23: Optimización de costo por el indicador \$/M

	\$/M	metros	costo aceros T.L
Antes de la prueba	1.58	500000.00	\$790,000.00
Resultado prueba	1.28	500000.00	\$640,000.00
DIFERENCIA			\$150,000.00

Fuente: Elaboración Propia

En el transcurso de un solo año, siguiendo adecuadamente todas las precauciones y prácticas recomendadas en el uso de los aceros de perforación, se proyecta un ahorro estimado de 150,000.00 dólares, independientemente del proveedor de dichos aceros. Este cálculo se fundamenta en la implementación de medidas efectivas para maximizar la vida útil de los equipos, minimizar el desgaste prematuro de los materiales y optimizar los procesos de perforación en general, lo que conlleva a una reducción significativa de los costos operativos.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis Desde el Criterio Técnico

La investigación analiza la implementación de técnicas operacionales y mecánicas, desde la selección adecuada de la columna de perforación en función al tipo de roca en este caso se desarrollo las pruebas en un roca de arenisca alterada el cual Kahraman, S. (2003). Menciona en su investigación que el tiempo promedio en este tipo de roca va desde los 0.4 a 1.42 m/min . para lo cual en nuestra investigación obtuvimos tiempos de 1.05 a 1.43 m/min guardando cierta correlación el cual Kahraman, S. (2003). Sin embargo ,Kahraman, S. (2003) no considera el estado de los aceros de perforacion ,como son las características físicas de desgaste de las brocas en cuanto a diámetro y altura de inserto los cuales involucran considerablemente en la obtención de una alta tasa de penetración en rocas . cabe resaltar que una adecuada velocidad nos da a entender que es el resultado de una perforación sin mayores esfuerzos o fatigamiento de columna de perforación lo que a la ves se entiende como perforación optima.

Asi mismo dentro de la investigación pudimos apreciar que la aplicación de las técnicas operacionales y mecánicas nos permiten que el acero pueda estar expuesta a las mejores condiciones de trabajo que como resultado no solo nos brinda un mayor rendimiento si no también nos permite tener una perforacion continua logrando cumplir nuestras metas proyectadas de perforacion . concordando con Huamani Roiro, V. (2023). Y la implicancia del control de rendimientos en los aceros de perforación .

Cabe mencionar también que los controles operativos y de mantenimiento juegan un rol importante dentro del incremento de rendimiento de nuestros aceros de perforación el seguimiento de los parámetros de perforación que influyen en el rendimiento de los aceros, tales como la velocidad de rotación, la fuerza de percusión, el barrido, el avance y la lubricación. También se detallan los procesos de afilado y desbastado de las brocas, cuyo propósito es restaurar los insertos desgastados y prolongar su vida útil. Lo cual conlleva relación con la investigación de Ccollqqe Choquepuma, H. & Fernández, J. (2022).

El resultado del incremento del rendimiento de los aceros de perforación repercute en la optimización de costos en aceros el cual concuerda también con Castro Camargo, W. H. (2023). Quien nos habla de la reducción de costo \$/M que en nuestro caso se obtuvo una reducción de 1.58 a 1.28 dólares /metro perforado.

Además, se proponen recomendaciones para mejorar el rendimiento de los aceros de perforación, en función a las condiciones geomecánicas, pericia del operador, estado mecánico del equipo y controles operacionales, así como también prácticas de mantenimiento y control logístico.

El solo echo de cumplir estas técnicas permiten que el acero de perforación trabaje en condiciones optimas lo cual se refleja con un incremento sustancial de la vida útil de estos componentes.

5.2 Análisis Desde el Criterio Económico

Los resultados obtenidos del análisis, indican que la implementación de técnicas operacionales y mecánicas aplicados a la columna de perforación en la actividad de taladros largos permite obtener un mayor rendimiento de los aceros usados en el simba-19 lo cual al tener un

mayor rendimiento se reduce el uso de estos accesorios a nivel macro lo que repercute en el costo total de adquisición de estos componentes haciéndolo más rentable desde un punto de vista económico .

En conclusión, este análisis económico subraya la importancia crucial de la elección adecuada del equipo y los accesorios de perforación en la rentabilidad de las operaciones mineras. Se recomienda encarecidamente la adopción de la estrategia que utiliza el equipo Simba S7D con el martillo COP 1838 y la broca de 64 mm, debido a su óptima relación costo-beneficio y su mayor retorno sobre la inversión. Esta selección no solo fomenta la eficiencia en el uso de recursos, sino que también contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental y a la mejora de la seguridad en el lugar de trabajo.

5.3 Análisis Desde el Aspecto de Seguridad

La investigación aborda los riesgos y las precauciones asociadas a las actividades de perforación en el tajo 390 -370 de la unidad minera americana, utilizando el método de sublevel stoping y el equipo de perforación Simba S7D. Se identifican los principales riesgos que pueden comprometer la seguridad de los trabajadores y los equipos durante la perforación, tales como caída de rocas, explosiones, incendios, ruido, vibraciones, polvo, gases, golpes, cortes, atrapamientos, electrocución, entre otros.

Para abordar estos riesgos, se proponen diversas medidas de control y mitigación, fundamentadas en los principios de gestión de riesgos y la normativa legal vigente. Estas acciones comprenden capacitación, supervisión, señalización, uso de equipos de protección personal, mantenimiento preventivo, inspección, ventilación, iluminación, limpieza y orden, entre otras estrategias.

Además, se realiza una evaluación del riesgo de cada actividad de perforación mediante una matriz de riesgo, considerando tanto la probabilidad como la gravedad de cada posible escenario. Se establecen criterios de aceptación y se delinear acciones correctivas para cada nivel de riesgo identificado, especificando los responsables de su implementación y seguimiento.

5.4 Comparativos de Los Resultados

5.4.1 Costos De Aceros De Perforación

El cuadro presenta un desglose detallado de los costos unitarios de los diferentes tipos de aceros de perforación utilizados en las pruebas, así como los costos por metro antes y después de la evaluación con el equipo Simba 19. Por ejemplo, el Shank Adapter C38 tiene un costo unitario de 220.27 dólares, y antes de la prueba, el costo por metro era de 0.12 dólares, que disminuyó a 0.10 dólares después de la evaluación. Asimismo, la Barra MF C38 x 5 Pies tenía un costo unitario de 250.22 dólares, con un costo por metro de 0.96 dólares antes de la prueba, reduciéndose a 0.77 dólares posteriormente. Por último, la Broca C38 x 64 mm tenía un costo unitario de 126.74 dólares, con un costo por metro de 0.50 dólares antes de la prueba, que se redujo a 0.41 dólares después de la evaluación. En resumen, el costo total antes de la prueba era de 1.58 dólares por metro, que disminuyó a 1.28 dólares por metro después de la evaluación.

Tabla 24: Costos de Aceros de Perforación

Tipo de acero	Costo unitario (\$)	Costo por metro antes de la prueba (\$)	Costo por metro después de la prueba (\$)
Shank Adapter C38	220.27	0.12	0.10
Barra MF C38 x 5 Pies	250.22	0.96	0.77
Broca C38 x 64 mm	126.74	0.50	0.41
Total	597.23	1.58	1.28

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Cuadro de Ahorro de Aceros de Perforación.

El cuadro proporciona información detallada sobre los ahorros por metro y los ahorros anuales asociados con cada tipo de acero de perforación. Por ejemplo, el Shank Adapter C38 presenta un ahorro por metro de 0.02 dólares, lo que resulta en un ahorro anual de 10,000 dólares. Asimismo, la Barra MF C38 x 5 Pies muestra un ahorro por metro de 0.19 dólares, lo que se traduce en un ahorro anual de 95,000 dólares. Por último, la Broca C38 x 64 mm registra un ahorro por metro de 0.09 dólares, generando un ahorro anual de 45,000 dólares. En conjunto, el ahorro total es de 0.30 dólares por metro, lo que equivale a un ahorro anual de 150,000 dólares.

Tabla 25: Ahorro de Aceros de Perforación.

Tipo de acero	Ahorro por metro (\$)	Ahorro anual (\$)
Shank Adapter C38	0.02	10,000
Barra MF C38 x 5 Pies	0.19	95,000
Broca C38 x 64 mm	0.09	45,000
Total	0.30	150,000

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación presentada en esta tesis abarcan varios aspectos cruciales para la industria minera, centrándose en el análisis y mejora del rendimiento de los aceros de perforación, así como en la evaluación de la viabilidad económica y la gestión de riesgos en las operaciones de perforación subterránea. A lo largo del estudio, se han explorado diversas estrategias y prácticas destinadas a optimizar la eficiencia y la seguridad en este entorno desafiante, destacando la importancia de comprender a fondo los procesos de perforación y los equipos utilizados, como el método de sublevel stoping y el equipo de perforación Simba S7D. Mediante el análisis de causa raíz, se identificaron las causas potenciales que ocasionan un bajo rendimiento y altos costos en aceros de perforación.

1.-Al seleccionar un varillaje adecuado según la geomecánica del macizo rocoso, garantizamos una perforación continua con un performance optimo de trabajo, esto reduce las paradas operativas por aceros y así permite reducir el desgaste prematuro de estos componentes. Siendo así el shank adapter se selecciona según el modelo de la perforadora a utilizar el cual corresponde a una cop 1838, respecto a las barras de perforación se selecciona en función al dimensionamiento de la viga, en este caso al ser un simba S7D la viga tiene un uso exclusivo para barras de 1.5m de longitud y finalmente para la selección de la broca se tiene una Roca tipo III-B, medianamente abrasivo con presencia de 12 a 20 fracturas por metro lineal, para lo cual una broca optima es una de cuerpo retráctil que ayudara a la evacuación de detritus con insertos esféricos que es un inserto estándar para todo tipo de roca.

2.- Una vez implementada las técnicas operacionales y mecánicas para el uso y cuidado de los aceros de perforación, se puede apreciar que los aceros trabajan óptimamente el shank adapter y

las barras MF de 5', al ser engrasadas permite que el desgaste de las uniones roscadas sean mínimas así también la rotación de barras permite un desgaste homogéneo de todo el juego de barras, así mismo el buen afilado y respetando el intervalo de rotación de brocas en función a su metraje garantiza un mayor rendimiento y mayor velocidad , como resultado después de las pruebas con el equipo Simba 19. Se obtiene un incremento de rendimiento del 16% en shank adapter ;23% en barras mf y un 23 % brocas retractiles de 64 mm.

3.-Al realizar un control de los aceros se pudo mitigar los descartes prematuros de estos y como consecuencia se incrementa el rendimiento del varillaje de perforación y así mismo un menor consumo de estos accesorios (shank, Barra MF y broca), el cual representan una optimización de costos significativos en el consumo mensual de aceros en toda la flota de equipos que realizan la perforación de taladros largos. En términos numéricos como nuestro KPI general es el indicador \$/M que es netamente la sumatoria del resultado de dividir el costo unitario del accesorio con el rendimiento alcanzado en metros. Antes de las pruebas el indicador fueron los siguientes; shank 0.12\$/m , barra 0.96 \$/M y brocas 0.5 \$/M dando un total de 1.58 \$/M perforado. El cual esta fue reducida a shank 0.10 \$/m , barra 0.77 \$/M y broca 0.41 \$/M un dando un total de 1.28 \$/M . para lo cual la mina tiene una proyección de perforación de 500,000 metros anuales. Es por ello de aplicarse una proyección en ambos casos (con 1.58\$/M antes de la prueba y 1.28\$/M después de la prueba) , nos da un ahorro equivalente a \$ 150 000,00 por año.

RECOMENDACIONES

1.-La empresa proveedora de aceros y la empresa minera deben implementar programas de capacitación continua para el personal involucrado en las operaciones de perforación, enfocados en prácticas de seguridad y manejo adecuado de aceros de perforación .

2.-El personal técnico de la empresa proveedora o la empresa minera debe realizar inspecciones periódicas del equipo de perforación para garantizar su correcto funcionamiento y detectar posibles problemas antes de que se conviertan en riesgos para el descarte prematuro de los aceros de perforación.

3.-El operador y ayudante deberán realizar la correcta rotación de barras y brocas a fin de tener un desgaste homogéneo de las uniones roscadas como así también los insertos en las brocas.

3.- El área de mantenimiento mina debe establecer programas de mantenimiento preventivo para prolongar el rendimiento del equipo de perforación y garantizar su eficiencia operativa.

4.El área de Productividad deberá evaluar constantemente el rendimiento de los aceros de perforación y realizar ajustes en los procesos de acuerdo con los hallazgos obtenidos.

5.-La empresa minera deberá adoptar nuevas tecnologías y prácticas innovadoras que puedan mejorar la eficiencia, rentabilidad y seguridad de las operaciones de perforación , así como la adquisición de equipos con sistema RCS que permiten un mejor análisis para la desviación de taladros y un mejor rendimiento horario en la obtención de metros.

6.-La empresa minera debe realizar análisis de riesgos periódicos para identificar y mitigar posibles peligros en las operaciones de perforación, priorizando la seguridad de los trabajadores y

la integridad del equipo. Mantener una comunicación fluida con los proveedores de equipos y materiales de perforación para asegurar la calidad y disponibilidad de los recursos necesarios.

7.- La empresa minera debe monitorear de cerca los indicadores clave de desempeño y realizar ajustes en las estrategias operativas según sea necesario para lograr el incremento de rendimiento de los aceros de perforación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, S. (s.f.). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>

Burns, E. (septiembre de 2021). *computerweekly*. Obtenido de <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Aprendizaje-profundo-deep-learning>

Calvo, D. (13 de Julio de 2017). Obtenido de Clasificación de las Redes Neuronales Artificiales.: <https://www.diegocalvo.es/clasificacion-de-redes-neuronales-artificiales/>

Delgado, R. (8 de Julio de 2018). *Redes Neuronales Artificiales*. Obtenido de Introducción a las Redes Neuronales Artificiales en R: <https://rpubs.com/rdelgado/402754>

Durán, J. (4 de Septiembre de 2019). *Medium.com*. Obtenido de <https://medium.com/metadatos/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-descenso-del-gradiente-aplicado-a-redes-neuronales-19bdbb706a78>

E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid. (2013). *Perforación Y Voladura de Rocas En Minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

González, S. A. (2014). *blogger*. Obtenido de <https://samuelabad1991.blogspot.com/2014/02/analisis-con-redes-neuronales-neural.html>

grupo us es. (s.f.). *grupo us es*. Obtenido de CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE REDES NEURONALES: <http://grupo.us.es/gtocom/pid/pid10/RedesNeuronales.htm>

Ingeoexpert. (18 de enero de 2019). *ingeoexpert.com*. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/>

OFICINA DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA PARA EL CONGRESO DE LA UNIÓN . (Marzo de 2018). *Foro Consultivo*. Obtenido de

https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-012.pdf

Ponce, J. (10 de Julio de 2021). *jahaielponce.com*. Obtenido de [https://jahaielponce.com/funciones-de-activacion-y-como-puedes-crear-la-tuya-usando-python-r-y-tensorflow/#:~:text=SELU%20\(Scaled%20Exponencial%20Linear%20Unit\),-Es%20otra%20variaci%C3%B3n&text=SELU%20funciona%20solo%20para%20redes,la%20inicializaci%C3%B](https://jahaielponce.com/funciones-de-activacion-y-como-puedes-crear-la-tuya-usando-python-r-y-tensorflow/#:~:text=SELU%20(Scaled%20Exponencial%20Linear%20Unit),-Es%20otra%20variaci%C3%B3n&text=SELU%20funciona%20solo%20para%20redes,la%20inicializaci%C3%B)

Rodríguez, D. (13 de Julio de 2018). *Aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado*. Obtenido de Analytics Lane: <https://www.analyticslane.com/2018/07/13/aprendizaje-supervisado-y-aprendizaje-no-supervisado/>

Roman, V. (12 de junio de 2019). *Medium.com*. Obtenido de <https://medium.com/datos-y-ciencia/aprendizaje-no-supervisado-en-machine-learning-agrupaci%C3%B3n-bb8f25813edc>

TIBCO CLOUD. (s.f.). *tibco.com*. Obtenido de <https://www.tibco.com/es/reference-center/what-is-supervised-learning>

Huarachiri, 2021 Obtenido
<https://repositorio.unap.edu.pe/server/api/core/bitstreams/761d0362-9a5d-483a-b029-7cb9a3941513/content>

Manual de perforación de rocas Sandvik,1984 , coromant -Atlas copco
<https://es.scribd.com/document/379655783/Manual-de-Perforacion-de-Rocas-Atlas-Copco>

Lopez Jimeno ,2023 <https://es.scribd.com/document/664204106/Manual-de-Perforacion-y-Voladura-de-Rocas>

ANEXOS

ANEXO 1

Geología Estructural

Las unidades estratigráficas muestran una intensa deformación, con ejes que tienen un rumbo promedio de N20°W, alineados paralelamente al rumbo general de la cordillera de los Andes. Entre las estructuras geológicas más destacadas se encuentran el Anticlinal Casapalca y el Sinclinal Americana, ambos con pliegues menores en sus flancos. El sistema de fracturamiento presente en la mina está vinculado al Anticlinal Casapalca y al Sinclinal Americana; el rumbo de las fracturas varía al pasar de una unidad estratigráfica a otra, generalmente presentando rumbos que van desde N30°E a N90°E con buzamientos subverticales.

Se sugiere que la presencia del sistema de fracturamiento puede estar asociada al emplazamiento de un intrusivo a mayor profundidad. Esta conclusión se respalda con la presencia de cuerpos de skarn en la formación Casapalca y el skarn del Túnel Graton.

ANEXO 2

Geología Económica

En la Unidad Americana de Alpayana, se encuentran depósitos minerales polimetálicos de origen hidrotermal, clasificados en dos grupos distintos: las vetas, también conocidas como filonianos, y los cuerpos mineralizados denominados skarn. Las vetas, pertenecientes al primer grupo, muestran una diversidad de estructuras originadas por la combinación de fracturas de tipo tensional y de cizallamiento, previas a la formación de minerales. Por otro lado, los cuerpos mineralizados de skarn, que constituyen el segundo grupo, están asociados a depósitos de reemplazamiento metasomático, presentándose de manera irregular en la Formación Casapalca.

En cuanto a las vetas, se han formado por procesos hidrotermales que han rellenado fisuras, extendiéndose en superficie a lo largo de 3 a 5 km y en altitudes que varían desde 4,800 m.s.n.m. hasta 3,540 m.s.n.m. Estas estructuras poseen un rumbo predominantemente de N30°E a N90°E, con buzamientos variables de 55° a 88° NW, y se ubican en todas las unidades litoestratigráficas del distrito minero. Algunas de las vetas más destacadas incluyen Oroya, Ximena, Ana María, Carolina, entre otras, cada una con características particulares como lazos cimoides y ramales.

En cuanto a los cuerpos mineralizados, estos se forman por procesos de reemplazamiento metasomático y relleno de cavidades en las areniscas y conglomerados de la Formación Casapalca. Los cuerpos más voluminosos se encuentran en las areniscas asociadas a la epidotización y solidificación del Miembro Capas Rojas Casapalca, mientras que en los horizontes de conglomerado del Miembro Carmen, los cuerpos son de menor volumen y se presentan de manera más estrecha y concordante con la estratificación. Hasta la fecha, se han identificado diversos cuerpos mineralizados, tales como Mery, Emilia, Micaela, Esperanza, entre otros, cada uno con características propias.

ANEXO 3

Reservas

De acuerdo con la información proporcionada por Muñoz en 2019, se puede realizar una estimación preliminar de los recursos en la zona de la mina de la Compañía Casapalca. Se anticipa que las cuatro estructuras principales descenderán al menos 2,000 metros hasta alcanzar los 3,500 metros sobre el nivel del mar. Estas vetas tienen una aparición intermitente con extensiones irregulares, lo que se traduce en una extensión total de aproximadamente 13 km para las cuatro vetas. Considerando un ancho promedio de veta de 1.1 metros, un espesor (Pe.) de 2.9 metros y

una altura de referencia de 2,000 metros, aplicando un margen de seguridad del 70% al producto total de toneladas métricas (T.M.), se estima un recurso de 25,000,000 T.M. El margen de seguridad se incorpora para compensar posibles irregularidades en las vetas, así como la presencia o ausencia de ore shoots, secciones estériles, desplazamientos de fallas, entre otros.

Adicionalmente, se identifican otras estructuras de menor escala que generan divisiones, como la veta Escondida, que presenta lazos sigmoides. También se observan cuerpos irregulares de reemplazamientos y mantos, los cuales podrían dar lugar a sorpresas inesperadas en el futuro.

Tabla 26: Reservas de Mineral De La Mina

Tipo	T.M.S.	Ag Oz/TC	Pb %	Cu %	Zn %
Vetas					
Probado	1052390	5.97	1.52	0.24	2.05
Probable	668880	5.69	1.51	0.23	2.13
Cuerpos					
Probado	1945131	1.33	0.29	0.33	3.51
Probable	598634	1.46	0.39	0.31	3.28
TOTAL	5'165,035	3.61	0.93	0.28	2.74

Fuente: Informe anual Alpayana 2021

ANEXO 4

Método de Explotación

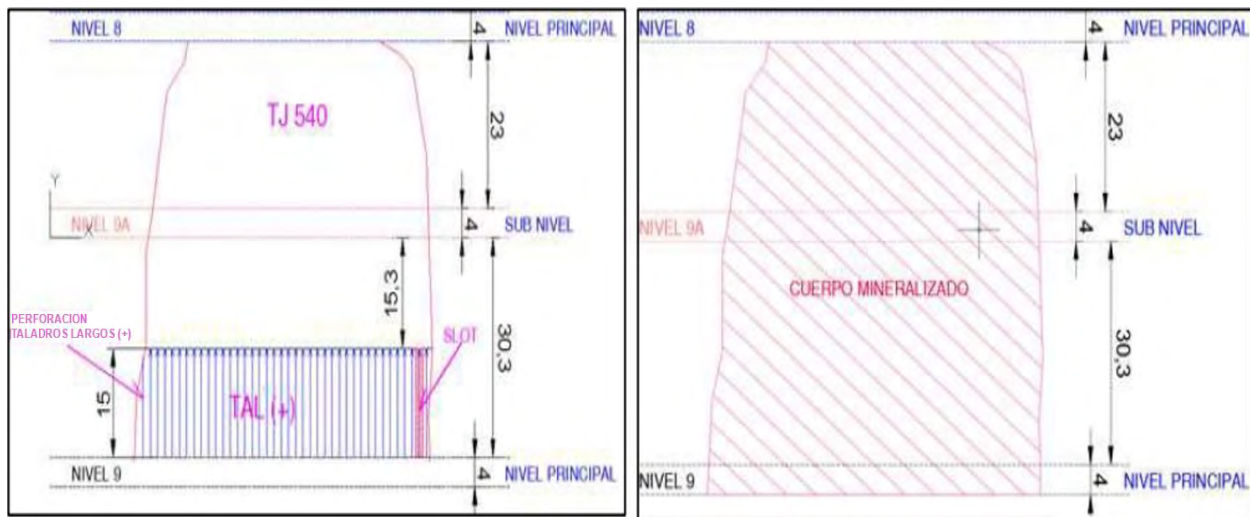
Según la información proporcionada por Muñoz en 2019, el método de Sublevel Stoping se destaca por su eficiencia en la producción, ya que implica la preparación de labores directamente sobre el mineral. En esencia, este método consiste en segmentar el cuerpo mineralizado en sectores y extraerlo desde subniveles dispuestos de manera vertical mediante disparos radiales o paralelos. Una vez completada la explotación, las cámaras quedan vacías. En resumen, el proceso implica

realizar voladuras en el entorno subterráneo, similar a una operación a cielo abierto. Para llevar a cabo este método, se establece un nivel de extracción que abarca varios subniveles, con longitudes típicas que oscilan entre 80 y 100 metros.

Selección del Método de Minado

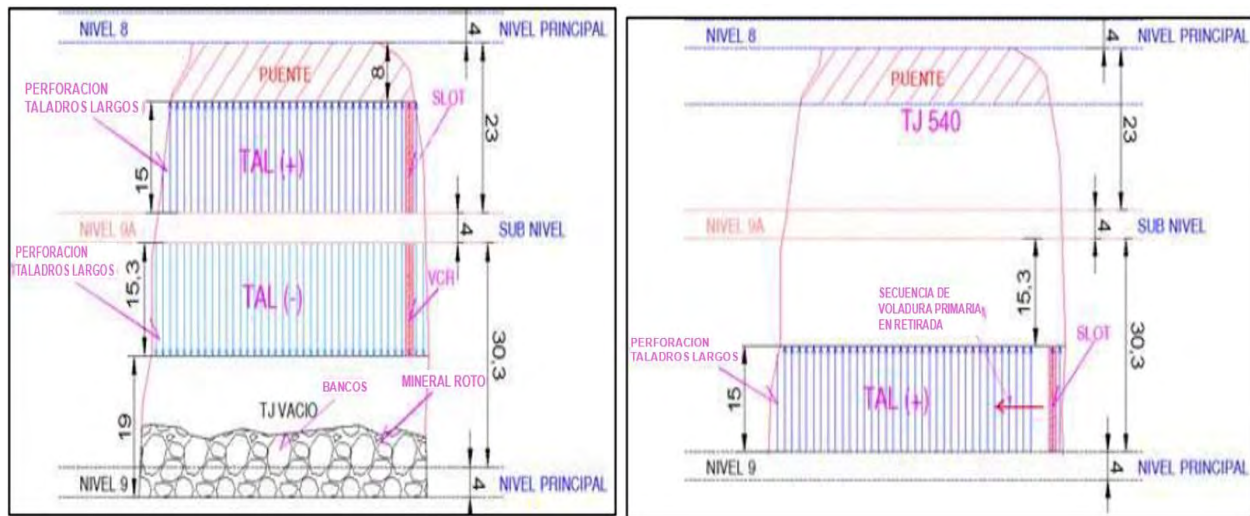
La explotación se llevará a cabo en niveles de 50.0 metros, con subniveles de 25.0 metros. Los tajos tendrán longitudes que variarán entre 60.0 y 120.0 metros, y un ancho de 4.0 a 4.0 metros, con buzamientos que oscilarán entre 45° y 85°. Para compensar la extracción, se utilizará relleno detrítico. Se proyecta una producción estimada de hasta 150,000.0 T.M.C/mes y 5,000.0 T.M.C/día para las actividades de preparación y desarrollo.

Figura 83: Método sub-level stopping 1



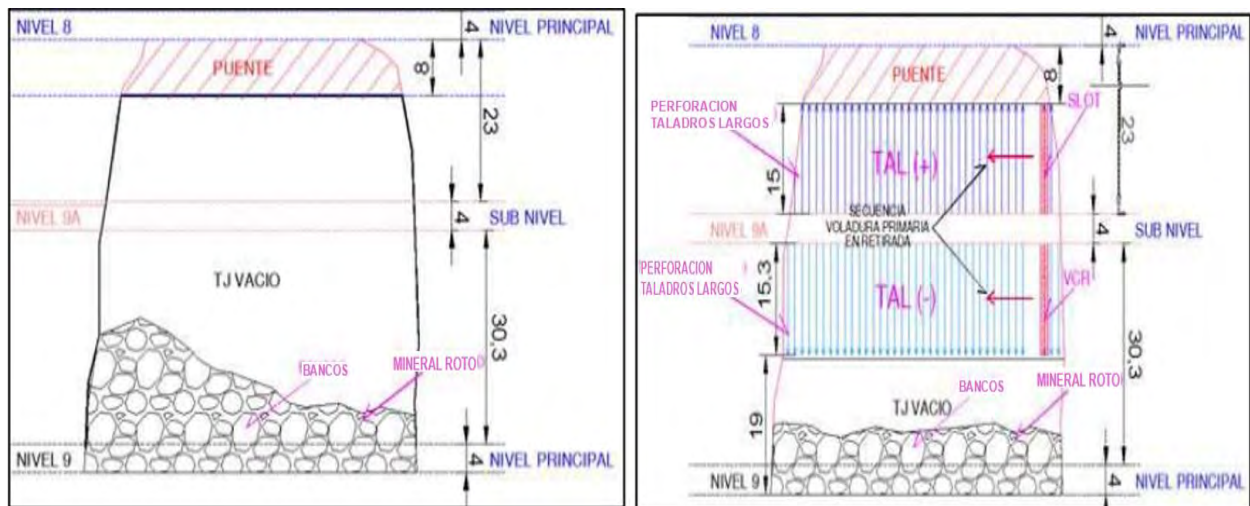
Fuente: Muñoz, 2019.

Figura 84: Método sub-level stoping 2



Fuente: Muñoz, 2019.

Figura 85: Método sub-level stoping 3



Fuente: Muñoz, 2019

ANEXO 5

Operaciones Unitarias

Perforación

Se requiere llevar a cabo la perforación del diseño de taladros largos con una precisión y control minuciosos para garantizar una voladura óptima y eficiente en el minado por subniveles, ya sea en disposición paralela o en abanico. La utilización de diámetros reducidos y longitudes extensas en los taladros genera cierta desviación, pero se mantiene dentro de los límites aceptables.

Figura 86: Perforación de taladros largos simba N°19

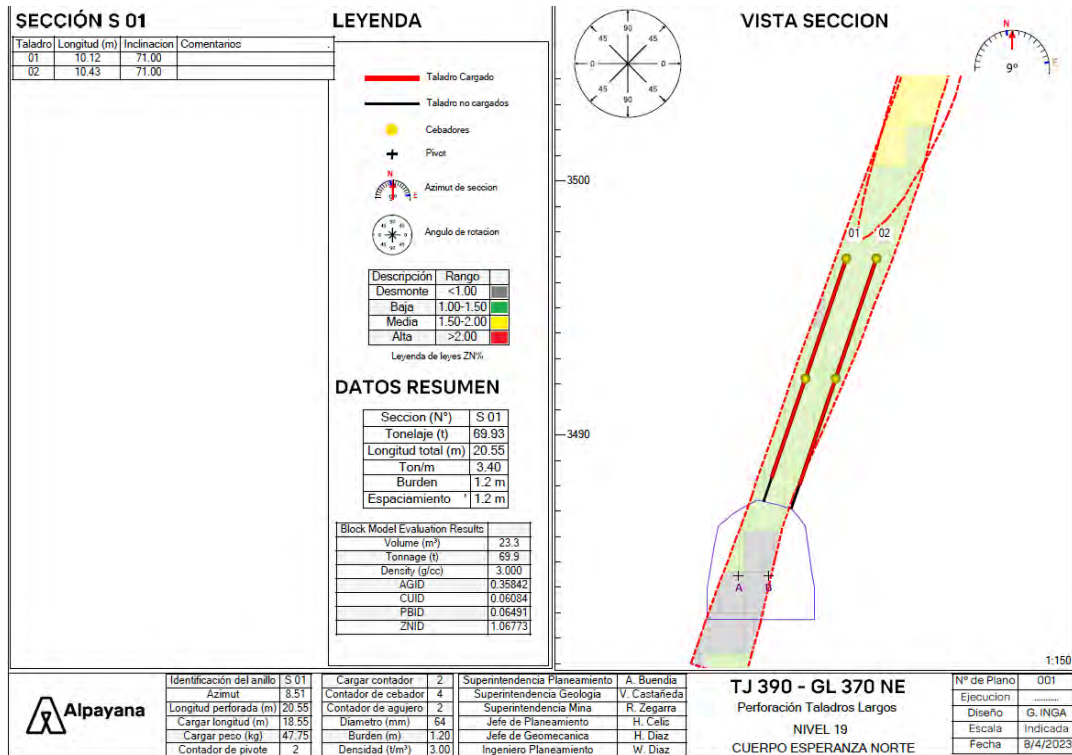


Fuente: Propia

En Alpayana, empleamos la máquina perforadora SIMBA para realizar taladros largos en labores de sección mediana a pequeña, con diámetros que oscilan entre 51 y 89 mm. Este equipo ofrece una amplia área de cobertura y la facilidad de perforar taladros ascendentes o descendentes, lo que simplifica la perforación de barrenos largos gracias a un martillo en la cabeza.

La perforación puede alcanzar longitudes de hasta 20 metros hacia abajo o arriba, ya sea en forma paralela o radial. Se inicia desde el nivel inferior, ejecutando taladros ascendentes para los niveles intermedios y taladros descendentes. Según el plan de perforación mensual, se estima un total de 35,000.0 metros perforados. Además, se llevan a cabo perforaciones adicionales para garantizar la eficiencia del método, como la chimenea slot (cara libre) y la chimenea VCR (vertical cráter raicé). La chimenea slot se ejecuta posterior a la perforación de los taladros positivos y puede realizarse de manera convencional con la máquina perforadora Stoper o mecanizada con Raise boring de un diámetro de 2.5 m. Una empresa contratista, Master Drilling, generalmente lleva a cabo esta operación con un avance programado de 350 m/mes. También se realizan proyectos de chimeneas para ventilación. La chimenea VCR, necesaria después de la perforación de taladros negativos, se ejecuta con una sección de 2 x 2 m y en dirección descendente. Actualmente, la Cía. Minera Alpayana utiliza dos tipos de equipos de perforación: electrohidráulicos y neumáticos. Las perforadoras eléctricas, como las simbas 1254 ,S7D y jumbos de un solo brazo, perforan de manera radial y vertical, funcionando a 440V o con sistema hidráulico, con una desviación cercana al 2%. Las perforadoras neumáticas, como la COP 1838 , HLX5 realizan diseños radiales, emplean energía neumática y avanzan lentamente, con una desviación cercana al 5%.

Figura 87: Malla De Perforación



Fuente: Planeamiento Alpayana

ANEXO 6

Voladura

Conforme a lo indicado por Muñoz en 2019, se lleva a cabo voladura de dimensiones significativas debido a la presencia de taladros largos, lo cual tiene un impacto directo en la estabilidad del macizo rocoso y la seguridad. Por esta razón, se ejecuta la voladura utilizando un número reducido de taladros que han sido previamente planificados. En esta actividad, se emplean explosivos como emulsión con cebo, ANFO y EXAMON, junto con accesorios de voladura como pentacord, mechas lentas y faneles con retardos prolongados.

La carga se realiza generalmente en la mayoría de la extensión del taladro en el caso de taladros paralelos. Sin embargo, para taladros dispuestos en abanico, la carga es menor para evitar afectar las cajas u otros taladros. Cuando se produce material que supera la granulometría estimada, se recurre a la voladura secundaria para complementar la voladura primaria. El propósito de esta acción es reducir el tamaño de dicho material, representando aproximadamente el 28% de la voladura primaria. Se lleva a cabo voladura masiva en los tajos de producción, lo que resulta en un ritmo de extracción considerable y, por ende, en una mayor productividad. En cuanto al cálculo del factor de potencia, se realiza para la labor TJ 445, sección 61 del nivel 18A, tal como se muestra en la figura N°32 de la malla de perforación.

Tabla 27: Datos de Tajo

N° tal.	L (m)	%	Ang. Perf.	L. Taco (m)	L. Carga (m)	Anfo (kg)
1	15	95%	67	0.8	14.3	40.8
2	15	95%	67	0.8	14.5	41.3
3	16	95%	67	0.8	14.8	42.2

Fuente: Cia. Minera Alpayana

Tabla 28: Parámetros de La Voladura

Parámetro	Valor
Longitud detonadora no eléctrico	18.0 m
Diámetro del cebo iniciador	1 ½ pulga
Factor de carga (+)	3.0 kg/m
Factor de carga (-)	2.60 kg/m
Factor de potencia (cuerpos)	0.55 kg/t
Factor de potencia (vetas)	0.85 kg/t
Densidad de columna carga	0.88 g/cm ³
Número de cebos/taladro	2.0 und.
Tipo de secuencia de salida	“V”
Tonelaje roto/día	6,000.00 T
Tonelaje roto/metro en paralelo	4.80 T
Tonelaje roto/metro en abanico	3.50 T

Fuente: Cia. Minera Alpayana

- La ejecución de la voladura se llevará a cabo conforme al programa de producción establecido.
- Se utilizará un cargador de ANFO Jet Anol de 125 kg para el proceso de carguío, lo cual permite aumentar la densidad del ANFO de 0.85 a 0.97 g/cm³ mediante un confinamiento de 100 psi.
- Los taladros, diseñados con longitudes que varían entre 2.0 y 20.0 metros, serán cargados de acuerdo con los parámetros mencionados. La voladura comprenderá taladros positivos y negativos, y la secuencia será la siguiente:
- Voladura de taladros negativos: Se llevará a cabo a partir del VCR establecido previamente en una sección de 1.80 x 1.80 m, con un factor de potencia de 3.80 kg/t. El avance será de 2.0 en 2.0 metros hasta la conexión con el nivel superior. Posteriormente, se abrirán zanjas para establecer la conexión con el cuerpo mineralizado, optimizando así la cara libre.

Figura 88: Malla de Perforación De VCR TJ 390



Fuente: Fotografía Propia

Voladura de taladros positivos: en el caso de los taladros positivos, se llevará a cabo desde la chimenea Slot con una sección de 1.80 x 1.80 metros, utilizando un factor de potencia de 3.50 kg/t. A continuación, se procederá a la voladura progresiva del cuerpo mineralizado, siguiendo el programa de voladura establecido y considerando las leyes minerales del tajeo.

Figura 89: Sección de Taladros Positivos Cargados



Fuente: Propia

ANEXO 7

Acarreo

Según Rojas A. (2021), la extracción del mineral fragmentado se llevará a cabo desde los tajos de producción y las labores de desarrollo utilizando equipos especializados como el Scooptran R-1600, de 6 yd³, instalado de forma remota para garantizar la seguridad. Durante este proceso, se emplearán refugios construidos previamente en la etapa de preparación. Para una mayor eficiencia en la limpieza de los frentes de avance en los tajos, se instalarán cámaras de acumulación de acopio a distancias no superiores a 100 metros, facilitando la evacuación del material roto. Se utilizarán equipos como el Scoop R-1600 de 6 yd³, el Scoop R-1300 de 4 yd³ y otros equipos más pequeños, alcanzando una capacidad total de 85 T/Hr.

Figura 90: Limpieza de mineral con scoop de 7 yd3



Fuente: Propia

En la zona intermedia, que abarca desde el Nivel 7 hasta el Nivel 15 y pertenece al Cuerpo Mery, se llevará a cabo la extracción de minerales de tajeo de producción y frentes de avance. Se utilizarán Dumpers MT 2010 para el transporte al romper banco y chancadora de los Niveles 10 y 14, de acuerdo con el nivel correspondiente. La elevación se realizará mediante izaje (skip) desde el pique 650 hasta el Nivel 1.

En la zona baja, que comprende desde el Nivel 15 hasta el Nivel 19A del Cuerpo Mery, se extraerán minerales de tajeo de producción y frentes de avance utilizando volquetes de 15m3 de las marcas VOLVO FAMECA y SCANIA. El material extraído se evacuará al romper banco y chancadora de los Niveles 18 y 14. Posteriormente, se realizará el izaje (skip) desde el pique 650

hasta el Nivel 1, donde se encuentran tolvas hidráulicas para cargar los volquetes que transportarán el material a la planta concentradora en la superficie.

En la zona de profundización, que abarca desde el Nivel 19 hasta el Nivel 23, se realizarán labores de desarrollo y preparación de rampas, galerías, cruceros, refugios, cámaras y posas de bombeo. Los desmontes se evacuarán a los tajos de relleno Nivel 15 TJ454, y se extraerá diariamente un volumen de desmonte de 960 M3/día.

En la zona de vetas Oroya, los scooptram 151D de 2 yd³ transportarán el mineral hasta los echaderos de los diferentes niveles, acumulándose en el pocket 550 del Nivel 18. Posteriormente, mediante izaje (skip) desde el pique 790 hasta el Nivel 435, se cargarán los minerales en carros Grambys, los cuales serán transportados por locomotoras hacia la superficie, llegando a las tolvas correspondientes. Desde allí, se cargarán en volquetes de la marca VOLVO FAMECA para su transporte hacia la planta concentradora o los botaderos, según sea necesario.

ANEXO 8

Sostenimiento

Según Rojas A. (2021), dada la sección de 4x4 metros en las labores de avance, se lleva a cabo el sostenimiento mecanizado mediante el equipo Bolter DD421, encargado de la producción y recuperación. El sostenimiento se realiza utilizando una variedad de opciones, que incluyen pernos helicoidales de 7 pies, mallas electrosoldadas adheridas con Split de 5 o 6 pies, así como hidrobell de 6 pies para las labores de explotación y avance en frentes como pernos de sacrificio. Para las labores permanentes, se emplea cimbras, shotcrete de 2 o 3 pulgadas con mallas y pernos helicoidales

Figura 91: Pernos Helicoidales con Equipo Jumbo ,Gl 370 Nv19.



Fuente: Fotografía Propia

ANEXO 9

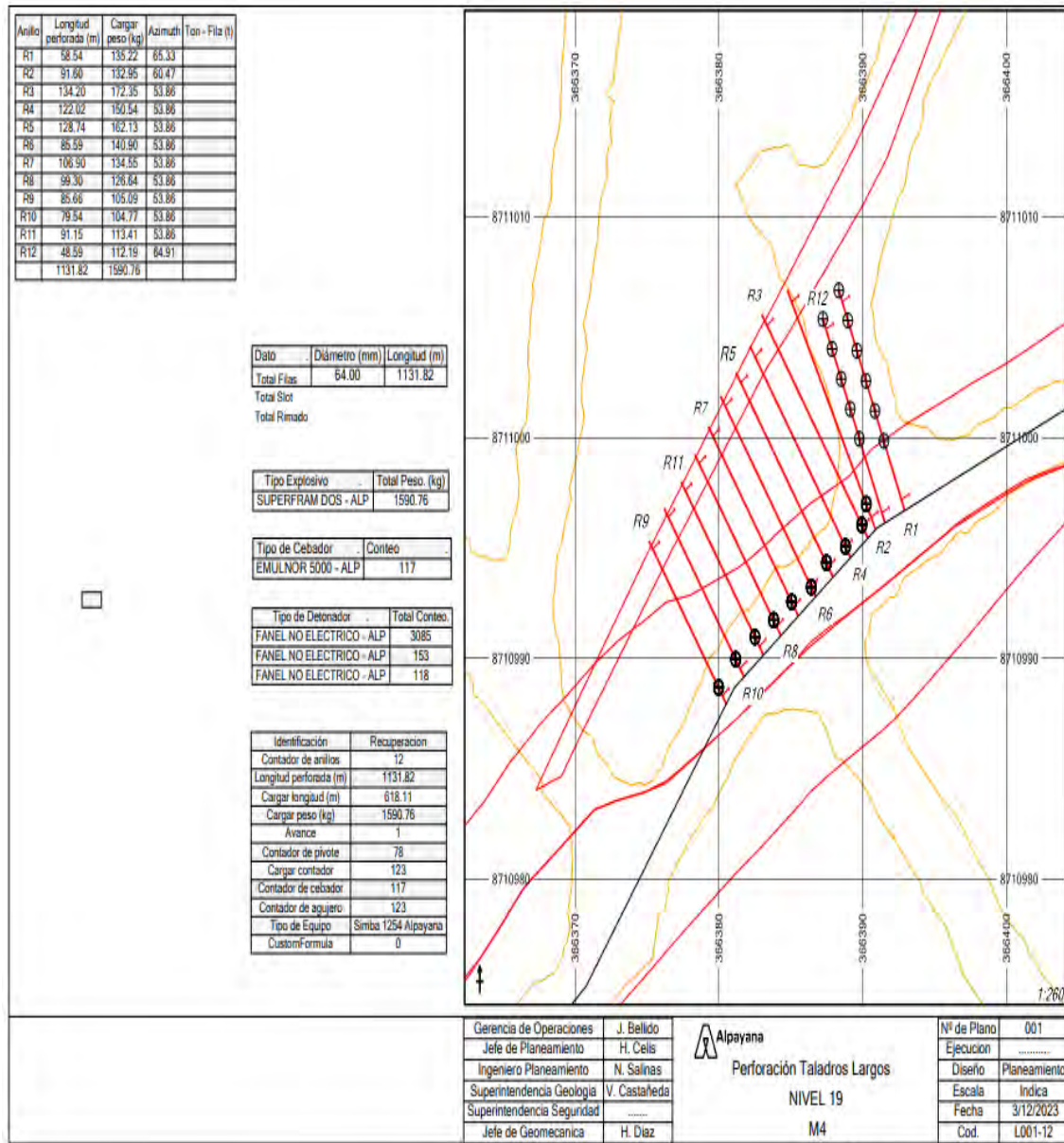
Ventilación

Según Pacheco Quinto. (2025), la ventilación en la mina americana depende de algunos factores así como el caudal que permitía una renovación completa del aire cada 15 minutos en labores profundas, incumpliendo lo recomendado por el DS-024-2016-EM, que exige entre 6,000 y 8,000 m³/min para labores mecanizadas con equipos diésel en operación.

Así mismo por normativas internacionales ISO, que recomiendan velocidades mínimas de 0.5 m/s en labores operativas. Así también las temperaturas según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, que establece un máximo de 28 °C como límite aceptable en atmósfera laboral continua. En caso de las condiciones referente a los gases siendo 50 ppm para CO y 3 ppm para NO₂, las cuales el tajo 390/370 cumplen con estas condiciones de ventilación.

ANEXO 10

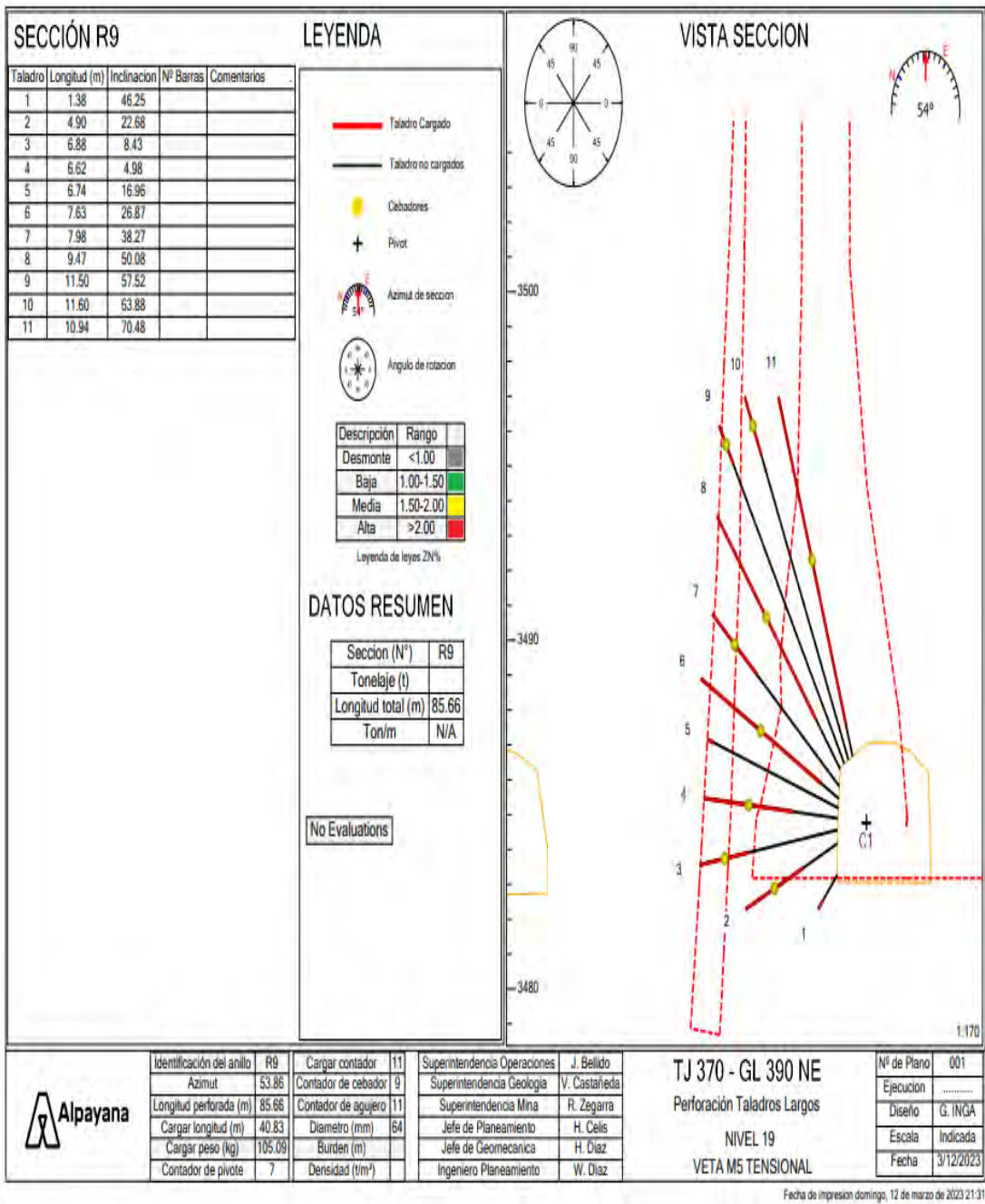
Figura 92: Planos referenciales 1



Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana, 2023

ANEXO 11

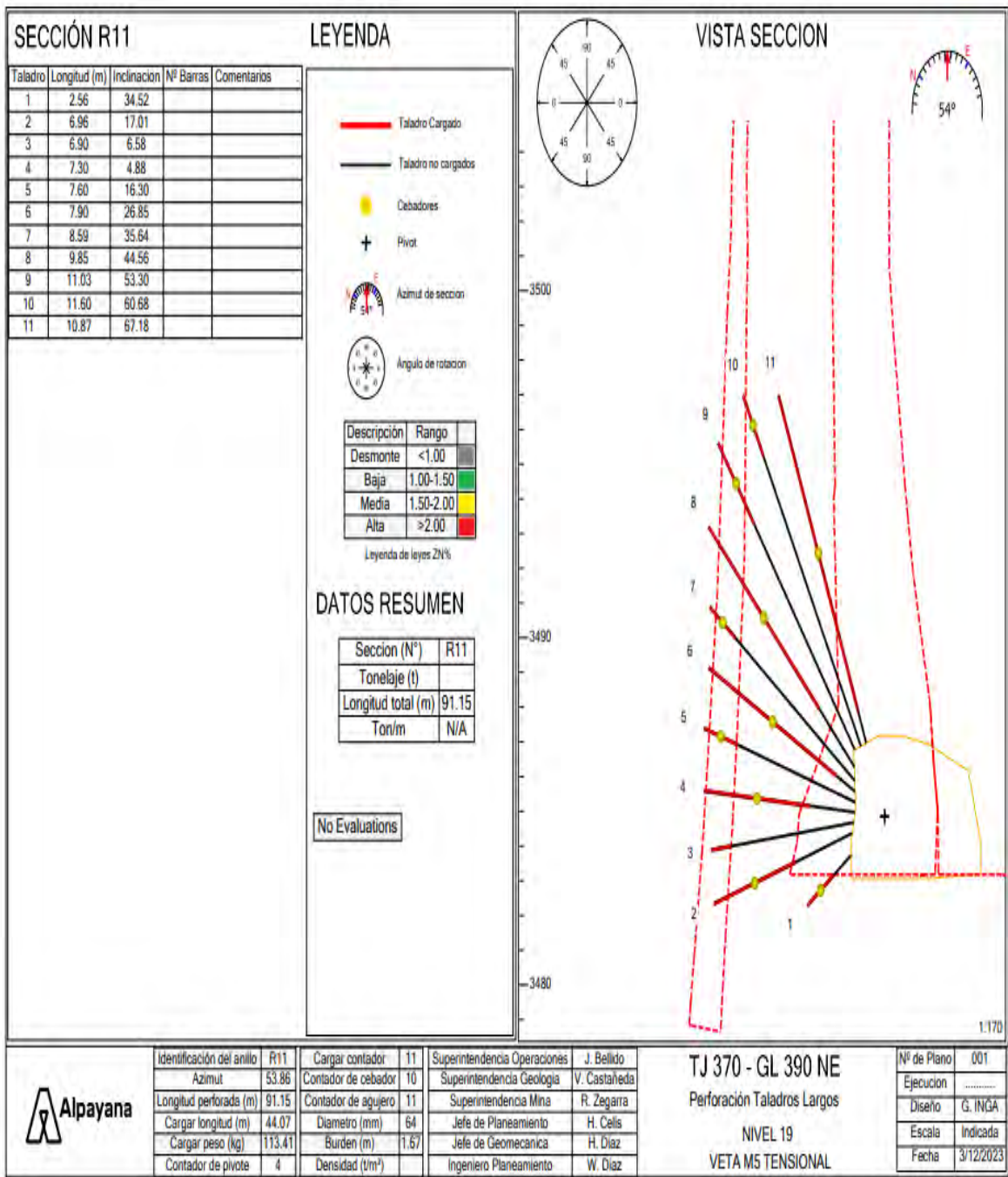
Figura 93: Planos referenciales 1



Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

ANEXO 12

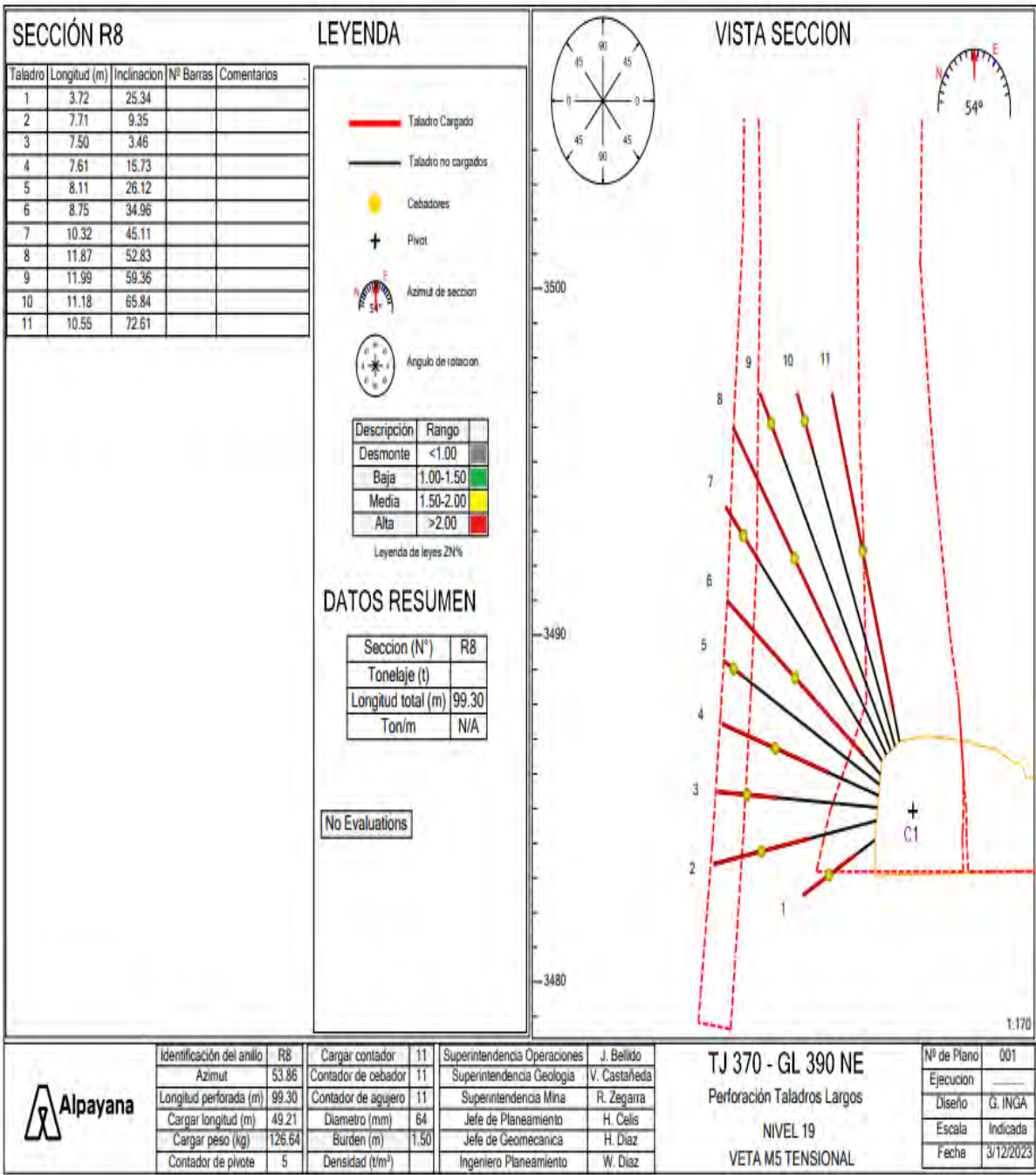
Figura 94: Planos referenciales 1



Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

ANEXO 13

Figura 95: Planos referenciales 1



Fuente: Área de Planeamiento U.M Alpayana,2023

ANEXO 14

Figura 96: Reporte referencial de metros

Empresa: GMI				Horómetro Diesel (H):	
Fecha:	Día: 13	Mes: 09	Año: 23	Horómetro Diesel (F): 204.7	
Guardia:	Zona:			Horómetro Perforación (H):	
Simba:	Horómetro Perforación (F): 1313.4				
Operador:					
DNI - Operador:					
Registrar a cargo:					

Horas de trabajo			Datos de Labor Perforado				
ITEMS	Hr. Inicial	Hr. Final	Descripción	Hrs. Sección	Hrs. Total	Mts. Perf.	Angulo Perf.
001	7:00	8:20	ZONA: Bero	2.6	2	10.55	90
002	8:20	9:20	NIVEL: 1/8	6.5	5	29.24	90
003	9:20	10:30	LABOR: CALAPALCA	1	4	20.35	90
004	10:30	11:20	CUERPO: CALAPALCA	1	5	26.24	90
005	11:20	12:00	PERFORACION EN:	1	1	2.51	90
006	12:00	1:00	PRODUCCION ☒	0	6	28.20	90
007	1:00	2:00	EXPLORACION ☐	4.7	10	40.92	90
008	2:00	3:20	VIC ☐	2.0	12	6.31	90
009	3:20	6:20	REPARANDO ☐	3.2	7.2	32.96	90
010			OBSERVACION:	6.5	20	73.2	116.3
011					32.2	93	20
				Total Mts. Perf. 90			

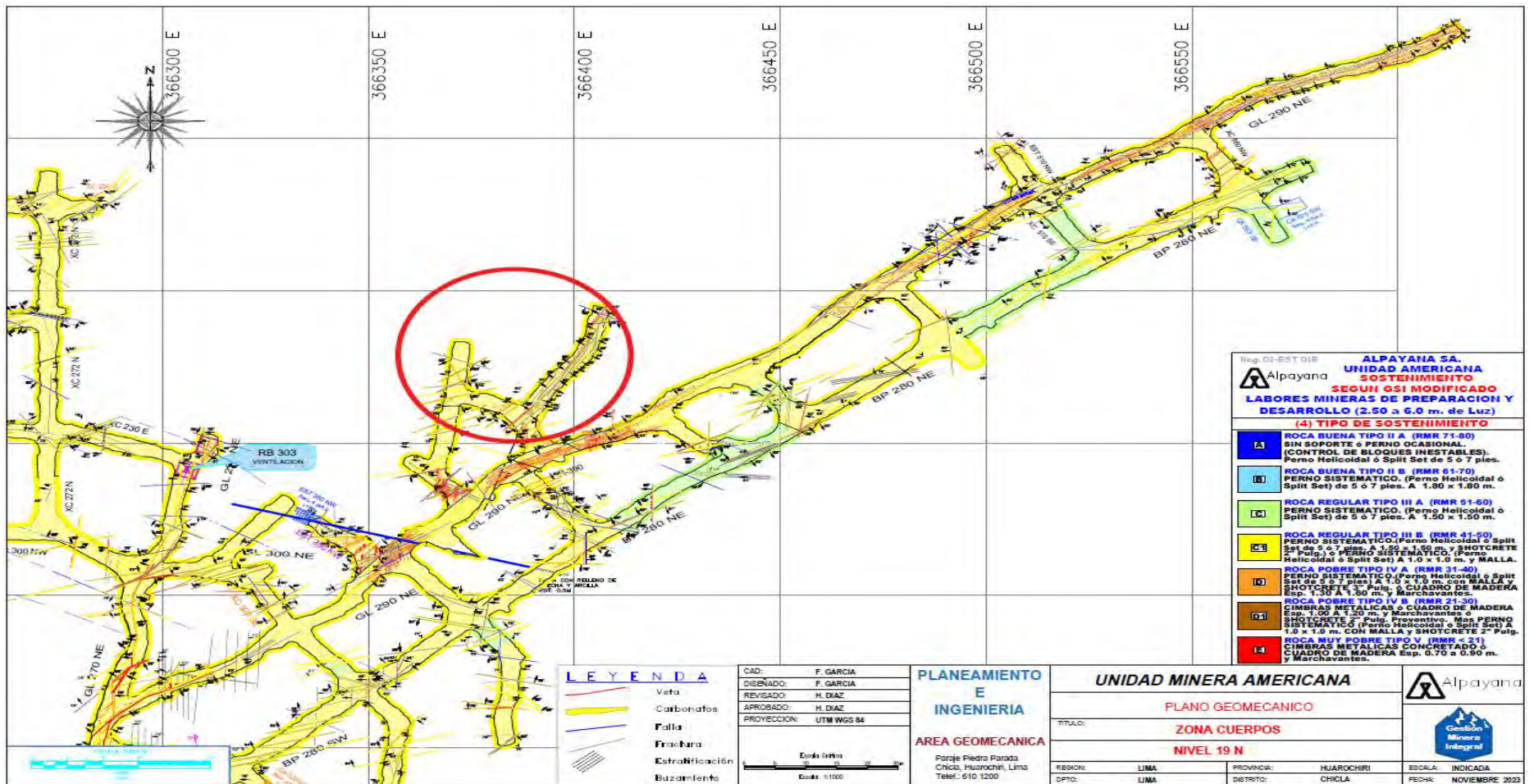
ITEMS DE OPERACIÓN EQUIPO		
Actividad Operativa	Hr. Inicial	Hr. Final
001	7:00	8:20
002	8:20	9:20
003	9:20	10:30
004	10:30	11:20
005	11:20	12:00
006	12:00	1:00
007	1:00	2:00
008	2:00	3:20
009	3:20	6:20

Equipo
pider raspado
de la 8:30
de la mañana

Fuente: Planeamiento GMI

ANEXO 15

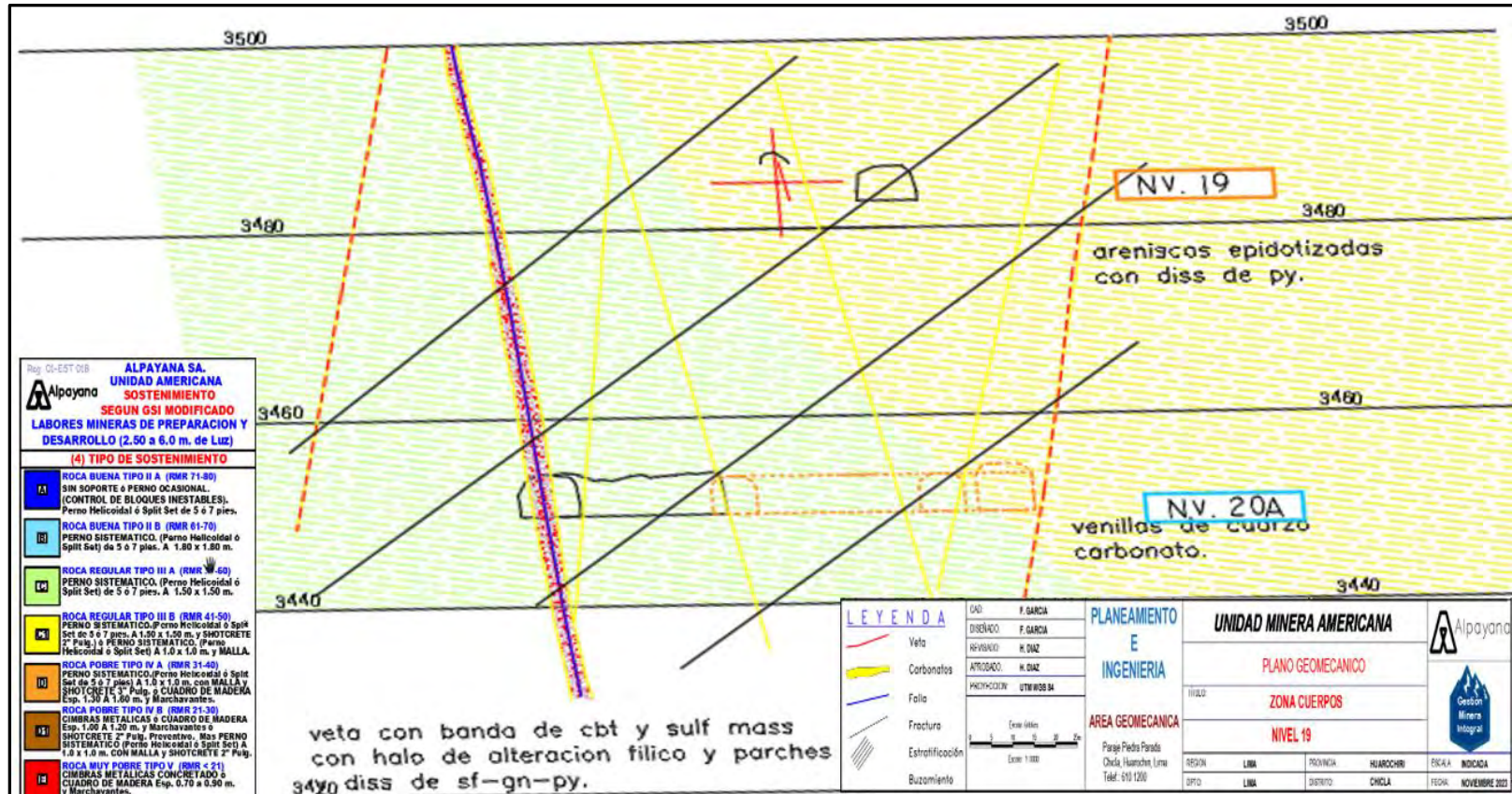
Figura 97: Plano Geomecánico Nv 19



Fuente: Area Geomecánica U.M.Alpayana,2023

ANEXO 16

Figura 98: Plano Geomecánico referencial vista transversal Nv 19.



Fuente: Area Geomecánica U.M Alpayana, 2023