

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“MINIMIZACIÓN DE RIESGOS POR CAÍDA DE ROCAS MEDIANTE
LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EN LA MINA HERALDOS
NEGROS COMPAÑÍA MINERA SAN VALENTÍN S.A.
HUANCAVELICA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

ROGER MEDINA AGUILAR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

MINIMIZACIÓN DE RIESGOS POR CAÍDA DE ROCAS MEDIANTE LA
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EN LA MINA HERALDOS NEGROS COMPAÑÍA
MINERA SAN VALENTÍN S.A. HUANCAMELICA”

PRESENTADA POR:


Bach. ROGER MEDINA AGUILAR

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:


INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR:

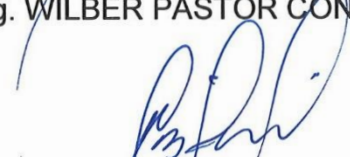
PRESIDENTE:


Ing. ESTEBAN AQUINO ALANOCA

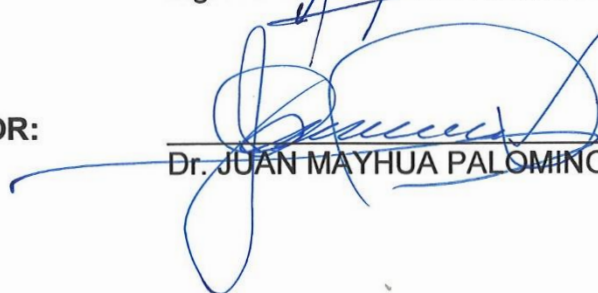
PRIMER MIEMBRO:


Ing. WILBER PASTOR CONTRERAS

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. AGUSTIN PEREZ QUISPE

DIRECTOR / ASESOR:


Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

Área : Mecánica de rocas y geomecánica

Tema : Evaluación geomecánica y aplicación

DEDICATORIA

A Dios

Por cada día más de vida, por permitir disfrutar de mi familia y darme la fortaleza para seguir adelante para lograr mis objetivos.

Dedico esta tesis aquellos que no creyeron en mí, aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que dada hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que nunca esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supieron que no lo lograría, a todos ellos dedico esta tesis.

A la memoria de mi padre Roque Medina, quien es mi angelito que desde el cielo me guía me protege e ilumina mi camino y a mi entrañable hija Jazmin.

Roger Medina Aguilar.

AGRADECIMIENTO

A mi madre Paulina E. Aguilar, quien me brindó su apoyo incondicional y ha hecho posible el logro de mis objetivos. Este presente trabajo es en agradecimiento a mis hermanos quienes me brindaron su apoyo moral y económico para seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y ser el orgullo para ellos y de toda la familia.

A las autoridades y Docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente, lo cual será el pilar para desenvolverme en cualquier ámbito.

A los que conforman parte de la Mina Heraldos Negros Compañía Minera San Valentín S.A. Huancavelica. Por brindarme la información necesaria para realizar la presente investigación.

Al Director y Asesor de la Investigación, Dr. Juan Mayhua Palomino, quien, con su amplia experiencia y trayectoria en el ejercicio profesional, dio una valiosa contribución en la concreción de este trabajo.

A los miembros del jurado, Ing. Esteban Aquino Alanoca, Ing. Wilber Pastor Contreras e Ing. Agustín Pérez Quispe; quienes en forma desprendida y con su excelente capacidad y conocimientos, aportaron a través de sus observaciones respecto a la coherencia epistemológica, teórica y metodológica de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	xii
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Planteamiento del Problema	15
1.2. Formulación de Problema.....	17
1.2.1. Pregunta General:	17
1.2.2. Pregunta Específicos:.....	17
1.3. Hipótesis de la Investigación	17
1.3.1. Hipótesis general.....	17
1.3.2. Hipótesis específico	18
1.4. Justificación del estudio.....	18
1.5. Objetivos de la Investigación.....	19
1.5.1. Objetivo General.....	19
1.5.2. Objetivos Específico	19
1.6. Limitaciones del estudio	20
1.7. Viabilidad del estudio	20
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.2. Antecedentes Nacionales	23
2.3. Bases teóricas.....	27
2.3.1. Calculo de la constante K	27

2.3.2. Criterio de rotura de hoek-brown.....	30
2.3.3. Métodos empíricos de clasificación geomecánica.....	32
2.3.4. Valoración de la masa rocosa (RMR89).....	33
2.3.5. Índice geológico de resistencia (GSI).....	35
2.3.6. Índice de calidad Q.....	36
2.3.7. Dimensión equivalente (De).....	38
2.3.8. Relación de soporte de la excavación (ESR).....	38
2.3.9. Clasificación geomecánica de bieniawski.	40
2.4. Definición de términos básicos.....	41

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica del Estudio.....	45
3.1.1. Ubicación.....	45
3.1.2. Concesiones Mineras.....	45
3.1.3. Geografía.....	46
3.1.4. Topografía.....	47
3.1.5. Reseña histórica.....	47
3.1.6. Heraldos Negros.....	48
3.1.7. Geología.....	49
3.1.7.1. Geología regional.....	49
3.1.7.2. Geología local.....	50
3.1.7.3. Geología estructural.....	51
3.1.7.4. Geología económica.....	52
3.1.7.5. Minerales de mena.....	52
3.1.7.6. Minerales de ganga.....	52
3.1.7.7. Zona de oxidación.....	53
3.1.7.8. Zoneamiento y paragénesis.....	53
3.1.7.9. Estructuras mineralizadas.....	53
3.1.7.10. Estructuras formadas.....	53
3.2. Estructuras mineralizadas.....	56
3.3. Estructuras formadas:.....	56
3.4. Descripción del yacimiento.....	58

3.5. Geología estructural	59
3.6. Plan de Minado	59
3.7. Ciclo de Minado.....	60
3.8. Procedimiento geomecanico	62
3.9. Método geomecanica	66
3.10. Población y Muestra del Estudio	74
3.10.1. Población	74
3.10.2. Muestra	74
3.10.3. Metodología.....	75
3.10.4. Materiales e instrumentos	75
3.10.5. Técnicas de procesamiento y análisis	75
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Antecedentes	76
4.2. Evaluación de la rampa (-) 300, nivel 4890.....	78
4.3. Diseño y aplicación de la tabla GSI.....	83
4.4. Principio de aplicación.....	84
4.5. Grado de fracturamiento	85
4.6. Condición superficial.....	85
4.7. Evaluación de las labores en ejecución de los NV 4890 NV 4930.....	88
4.8. Caracterización del macizo rocoso	88
4.9. Veta brecha Heraldos Negros	89
4.10. Veta Vanessa.....	91
4.11. Determinación del método de minado	98
4.11.1 Yacimiento:.....	98
4.11.2. Mineral:.....	98
4.11.3. Caja techo:	99
4.11.4. Caja piso:	99
4.12. Minimización de riesgos	99
V. CONCLUSIONES	100
VI. RECOMENDACIONES.....	101
VII. REFERENCIAS	102



ANEXOS 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variación de K con la profundidad (Hoek & Brown).....	29
Figura 2: Categorías de sostenimiento estimadas, basadas en el índice de calidad tunelera Q.	39
Figura 3: Mapa de Ubicación	55
Figura 4: Mapa geológica.....	57
Figura 5: Testigo con perforación diamantina.....	63
Figura 6: Observacion goteras en la labor	64
Figura 7: Perforación con perforación diamantina	65
Figura 8: Perforación con perforación diamantina.	66
Figura 9: Longitudes traza conjunta	69
Figura 10: Análisis de la estabilidad de cuña	70
Figura 11: El 3D Wedge Ver 4 presenta vistas del modelo.....	71
Figura 12: Cuñas se alejaron de la excavación.....	72
Figura 13: Litoestructural de la Rp(-) 300.....	78
Figura 14: Cuña mordida.....	79
Figura 15: Cuña mordida.....	80
Figura 16: Cuña echada	80
Figura 17: Cuña mordida.....	81
Figura 18: Cuña abierta	82
Figura 19: Factor de seguridad de 0.2.	82
Figura 20: Factor de seguridad de 0.5	83
Figura 21: Cartilla gemecanica Mina Heraldos Negros	87
Figura 22: Veta brecha Heraldos Negros	89

Figura 23. Orebory Characteristics.....	89
Figura 24. Minig Method Rankings	89
Figura 25: Veta Vanessa.....	91
Figura 26: Mining Method	91
Figura 27: Factor de seguridad de 0.6.	93
Figura 28: Factor de seguridad de 2.1	93
Figura 29: Cuña echada	94
Figura 30: Factor de seguridad de 0.4	95
Figura 31: Factor de seguridad de 0.3	95
Figura 32: Cuña echada.	96
Figura 33: Cuña N° 8 abierta con un factor de seguridad de 0.....	97
Figura 34: cuña mordida hacia la corona y los hastiales presentan factores de seguridad mayores a 1	97
Figura 35: Mapeo caja techo y piso Vanesa	106
Figura 36: Mapeo de la veta Heraldos Negros	107
Figura 37: Equipo de trabajo destacado para la consultoría “Heraldos Negros”:	108
Figura 38: Levantamiento geológico	108
Figura 39: Inspección geomorfológica	109
Figura 40: Instalaciones mineras	109
Figura 41: Llanura perteneciente a la concesión minera	110
Figura 42: Entrada a la unidad minera “Heraldos Negros”	110
Figura 43: vista de frente	111
Figura 44: Vista en frente	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de Hoek y Brown.....	31
Tabla 2: Índice de calidad de la roca (RQD).....	33
Tabla 3: Parámetros de clasificación RMR-Bieniawski 89.....	34
Tabla 4: Índice de Resistencia Geológica (GSI)	36
Tabla 5: Índice de la calidad de la roca de acuerdo al factor Q.....	37
Tabla 6: Geomecanica de Bineawski 1989. Parámetros de clasificación.....	41
Tabla 7: Acceso a la mina por ciudad de Lima	46
Tabla 8: Acceso a la mina por ciudad de Huancayo.....	46
Tabla 9: Coordenadas de los vértices de concesión Heraldos Negros	46
Tabla 10: Caracterizado el macizo rocoso de las cajas (Techo y Piso).....	88
Tabla 11: Sostenimiento y zonificación litoestructural de la niveles 4890 y 4930.	92
Tabla 12: Minimización de accidentes por caída de rocas	99

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ISRM	: Society International For Rock Mechanics
SA	: Sociedad Anónima
MEM	: Ministerio de Energía y Minas
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
CSIR	: Council of Scientific and Industrial Research
GSI	: Grand Sport Injection
a	: Hoek-Brown material constant
c	: Cohesión Criterio Mohr-coulomb
D	: Factor de disturbación
De	: Dimensión equivalente del túnel : Módulo de deformación del bloque de roca intacta.
Em	: Módulo de deformación de macizo rocoso
ESR	: Relación de Soporte de la Excavación
GSI	: Geological Stretgh Index
Ja	: Grado de alteración
Jn	: Número de juntas
Jr	: Coeficiente de rugosidad
Jw	: Joint Water Reduction Factor
Mb	: Constante de hoek-brown del macizo rocoso
MDT	: Método de Detonación de Taladros
MPa	: Megapascales
Q	: Calidad de la roca según Barton

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulada “minimización de riesgos por caída de rocas mediante la evaluación geomecánica en la Mina Heraldos Negros compañía minera San Valentín S.A. Huancavelica” ubicado en la región de Huancavelica, provincia de Huancavelica del distrito de Acobambilla, tiene el objetivo evaluar y controlar geomecánicamente para evitar los riesgos de la caída de rocas en la mina Heraldos Negros y además; la eficiente evaluación y control geomecánico evitara los riesgos de caída de rocas en la mina. Se enmarca dentro del paradigma cuantitativo; correspondiente a la investigación correlacional, el método utilizado descriptivo aplicativo corresponde a un diseño no experimental, mediante la evaluación geomecánica, para evitar los riesgos de accidentabilidad en las labores mineras de desarrollo, preparación y explotación en función del macizo rocoso mineralizado de las propiedades de la roca cuyos componentes transversales está en la aplicación de los índices del macizo rocoso como RMR, RM,Q y GSI y la tipificación del estado de fracturamiento a través del modelo Hoek-Brown con el uso de procedimientos de modelo Phases, Unwedge y RocLab, la evaluación geomecánica de calidad de roca con RMR en un promedio de 42-54; el estereograma determina que existe cuñas mordidas, echadas y abiertas; con un factor de seguridad F.S. de 1.5, 1.2, 0.4, 0.3 y 0.2 en la bóveda formando trozos, bloques de roca que tienen un buen entrapamiento de cuña de roca. La rampa es considerada una labor permanente, se determinó que las cuñas se controlan con pernos helicoidales, por el buen entrapamiento de roca, el sostenimiento necesario y suficiente es con sostenimiento Split Set de 7 pies en los hastiales y corona donde requiera control con desate de roca en forma periódica, para evitar caídas de rocas, lo cual disminuyo ostensiblemente la accidentabilidad del 37.9 % en el año 2016 a 21.4% en el año 2018. Se ha estandarizado el control sobre la calidad de la instalación de los pernos helicoidales y split set a cada 100 unidades utilizando la prueba del pull test. (Perno helicoidal 15Tn y 7Tn en caso de Split set, lo cual garantiza 99% por el tiempo de labor.

Palabras Clave: Caída de rocas. Evaluación geomecánica, minimización de riesgos.

ABSTRACT

The present research work entitled “minimization of risks due to rock falls by means of the geomechanical evaluation in the Heraldos Negros Mine Compañía Minera San Valentín S.A. Huancavelica ”located in the region of Huancavelica, province of Huancavelica of the district of Acobambilla, has the objective to evaluate and control geomechanically to avoid the risks of falling rocks in the Heraldos Negros mine and also; The efficient evaluation and geomechanical control will avoid the risks of falling rocks in the mine. It is framed within the quantitative paradigm; corresponding to the correlational research, the method used descriptive application corresponds to a non-experimental design, through the geomechanical evaluation, to avoid the risks of accident in mining development, preparation and exploitation based on the mineralized rock mass of the properties of the rock whose transverse components are in the application of the rock mass indexes such as RMR, RM, Q and GSI and the typification of the fracture state through the Hoek-Brown model with the use of Phases, Unwedge and RocLab model procedures, the Geometrical evaluation of rock quality with RMR at an average of 42-54; The stereogram determines that there are wedges bitten, cast and open; with a safety factor F.S. 1.5, 1.2, 0.4, 0.3 and 0.2 in the vault forming pieces, blocks of rock that have a good wedge of rock wedge. The ramp is considered a permanent work, it was determined that the wedges are controlled with helical bolts, due to the good rock trapping, the necessary and sufficient support is with 7-foot Split Set support in the gables and crown where it requires control with unleashing of rock on a periodic basis, to avoid rock falls, which significantly reduced the accident rate from 37.9% in 2016 to 21.4% in 2018. Control of the installation quality of the helical and split bolts has been standardized set to every 100 units using the pull test. (Helical bolt 15Tn and 7Tn in case of Split set, which guarantees 99% for the working time.

Keywords: Fall of rocks. Geomechanical evaluation, risk minimization.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En nuestro país la industria minera constituye una de las principales ramas de la economía, estimula el desarrollo, asegura el abastecimiento de las principales materias primas e influye directamente en el desarrollo económico y social del país, la construcción de obras subterráneas, tanto civiles (trasvases, almacenes, etcétera), como para obras protectoras de diversos usos, ha aumentado en los últimos años.

Donde las excavaciones de una mina subterránea en un medio rocoso producen inevitablemente desequilibrio de la masa circundante en un corto periodo de tiempo lo que origina deformaciones en el medio rocoso, a veces en un corto periodo de tiempo, las que hay que tener presente para asegurar la estabilidad del túnel mediante la aplicación de sostenimiento oportuno y suficiente. Por otra parte, un túnel puede atravesar rocas de distinta competencia duras a blandas y las fallas de los macizos se pueden presentar por zonas de debilidad o de discontinuidad estructural. Las rocas blandas fallan principalmente a través de la deformación de la masa rocosa y través de sus defectos estructurales por abovedamiento.

Al no realizar un trabajo de evaluación y control geomecánica del macizo rocoso en los proyectos mineros de las unidades y por desconocimiento del mismo se realizan operaciones mineras sin ningún control geomecánico, generando como consecuencia desarrollos mineros como túneles, tajeos, cortadas, cruceros, chimeneas, entre otros, inestables ocasionando así accidentes a los equipos utilizados, y al personal colaborador que finalmente es un recurso no recuperable. El personal colaborador que trabaja en la pequeña y mediana minería que desconoce la evaluación, control geomecánica y diseño

de sostenimiento en el cual operan sus minas esto induce a realizar trabajos inseguros, esto está reflejado en las estadísticas nacionales del Ministerio de Energía y Minas, que nos indica que un 30 % de los accidentes mortales es por desprendimiento de rocas, por el cual el presente proyecto está dirigido a dar a conocer al personal colaborador que opera en la Empresa pueda realizar sus operaciones mineras seguras y estables.

A partir de estas premisas, surgió la idea de llevar a cabo esta investigación en una labor subterránea en la Mina Heraldos Negros Compañía Minera San Valentín S.A. Huancavelica, en el cual se encuentran afloramientos de rocas andesíticas, pertenecientes al Volcánico Chilete, siendo bastante complejo debido a la presencia geoestructural fuertemente fracturadas por los esfuerzos geotectónicos; dando lugar a plegamientos, fallamientos y fracturamientos; ocasionando roturas planares y cuñas; por lo tanto encontramos inestabilidades geomecánicas. La evaluación geomecánica se debe a la presencia de rocas, siendo necesario definir las características geomecánicas a lo largo del eje del túnel, para determinar los factores de seguridad actuales para las condiciones de estabilidad tenso-deformacionales de elementos finitos de dicho túnel para un mejor análisis. Además, tenemos presencia de agua que se infiltra por las fracturas dando lugar a presiones de poros.

El presente trabajo de investigación, se enfoca en la minimización de riesgos por caída de rocas mediante la evaluación geo mecánica en la Mina Heraldos Negros Compañía minera San Valentín S.A. Huancavelica, con el fin de lograr una evaluación del macizo rocoso y de la mineralización y control de riesgo de las caídas de rocas.

1.2. Formulación de Problema

1.2.1. Pregunta General:

- ¿En qué medida la evaluación y control geomecánico evita los riesgos de caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica??

1.2.2. Pregunta Específicos:

- ¿En qué medida la evaluación en el aspecto geomecánico tendrá efectos para evitar los riesgos de caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. – Huancavelica?
- ¿En qué medida el control en el aspecto geomecánico tendrá efectos de evitar los riesgos de caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica?

1.3. Hipótesis de la Investigación

1.3.1. Hipótesis general

- La evaluación y control geomecánico evita los riesgos de caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica.

1.3.2. Hipótesis específicos

- La evaluación geomecánica evita los riesgos de caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica.
- El control geomecánico evita los riesgos de caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica.

1.4. Justificación del estudio

La actividad minera subterránea, tiene un alto riesgo de predisposición accidentes e incidentes durante el proceso de minado de labores de preparación y explotación principalmente, generándose en la mayoría de los sucesos por la caída o desprendimiento de las rocas o del mineral que son objeto de arranque y extracción. Para superar este problema en la minera Heraldos Negros de la compañía minera San Valentín S.A., que se ubica en la región Huancavelica, que se presenta en las vetas: Heraldos Negros y Vanessa que son zonas brechadas, de la información que se tiene este problema de los riesgos de caída de rocas encajonante data desde el año 2014 en los niveles 4980 al 4890, en donde el buzamiento de las vetas varían de 70° a 80° con respecto a la normal y que son explotados por el método de corte y relleno ascendente, pero sin embargo es importante señalar que la zona brechada es la que presenta los mayores problemas de estabilidad de rocas en la caja techo y el mineral que han ocasionado una serie de accidentes en el recurso humano y la maquinaria utilizada en el proceso productivo de la explotación.

Como es caso de la Mina Heraldos Negros Compañía minera San Valentín S.A. Huancavelica, quien presenta inconvenientes en el proceso de explotación debido al riesgo de caída de rocas en este proceso presenta ineficiencias, uno de los principales problemas es; evaluación geomecánica y es claramente que la evaluación del macizo rocoso y de la mineralización, que se encuentran en forma de brechas y del resultado de

la misma se establecerá los sistemas de control de las caídas potenciales o de riesgos de la estructura en análisis de acuerdo a las normas internacionales propuestas por la ISRM (Society International For Rock Mechanics, 1981), todo estos problemas mencionados son consecuencia ante una falta de un estándar de evaluación y control geomecánico que permitirá tener un alto índice de seguridad, para realizar las operaciones mineras, tratando en lo posible de minimizar los riesgos de accidentabilidad y incidentabilidad.

En ese sentido, se ha orientado el desarrollo del presente proyecto la minimización de riesgos por caída de rocas mediante la evaluación geomecánica en la Mina Heraldos Negros Compañía minera San Valentín S.A. Huancavelica, la investigación permitirá conocer el resultado de la evaluación y control geomecánico en relación a la caracterización del macizo y así mismo servirá como guía práctica para los profesionales del rubro minero que laboren en la zona de estudio.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

Evaluar y controlar geomecánicamente para evitar los riesgos de la caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica.

1.5.2. Objetivos Específico

- Evaluar el aspecto geomecánico para evitar los riesgos de la caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. – Huancavelica.

- Controlar el aspecto geomecánico para evitar los riesgos de la caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. - Huancavelica.

1.6. Limitaciones del estudio

El presente trabajo de investigación será realizado en la Mina Heraldos Negros Compañía minera San Valentín S.A., ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes del Perú, en la región Huancavelica, provincia Huancavelica, distrito de Acobambilla, en la Comunidad de Acobambilla, en el paraje del Cerro Condoray, a una altitud de 4 700 a 5 250 m.s.n.m. ubicada a 117 km desde Huancayo y desde la ciudad de Lima por la ciudad de Cañete, se ubica a 411 km.

1.7. Viabilidad del estudio

El trabajo de investigación es viable por la financiación económica por parte de Mina Heraldos Negros Compañía minera San Valentín S.A., en la cual se desarrolló, contando así con el apoyo de materiales, equipos y personal tanto en campo como en oficinas para la realización del estudio, así mismo es viable porque la investigación será de conocimiento para el personal colaborador, y de esa forma podrán realizar sus trabajos operacionales de forma segura y confiable, lo cual será reflejado en la reducción de sus índices de accidentes y la rentabilidad de sus operaciones mineras.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes internacionales

A nivel internacional, se tienen las siguientes investigaciones:

Gatica Jiménez (2015). Tesis *“Implementación de un sistema de fortificación en obras de desarrollo y rodajes en minera Tizapa”* cuyos alcances deriva que la minera Tizapa considera como una mina de alto riesgo por la mala calidad de roca y por la gran incidencia de accidentes por caída de rocas, lo cual atrasa la continuidad operativa de la minera y a su vez incrementa el riesgo al personal, aunque en el pasado no se contaba con sistemas de fortificación establecidos de manera permanente y la mina no contaba con métodos de soporte establecidos para la prevención de caída de roca, en otras áreas no se respetaba las dimensiones de las obras por ejemplo los pilares en los rebajes eran de 4m × 4 m, con alturas de 5 m anchos de 8 m, y claros de 11.3 m, aunado a esto se realizaban el tumbé del mineral con barrenación semi vertical, lo que generaba un mayor daño a la roca dejando zonas de inestabilidad y con el tiempo con el apoyo e implementación de programas de mecánica de rocas se fueron tomando medidas para estabilizar las obras mineras y a que el lema de la minera Tizapa del Estado de México – Toluca es “seguridad antes que cualquier necesidad de producción”.

Camhi Andrade (2012). Tesis *“optimización de los procesos de desarrollo y constitución en minería de Bock Caving casa estudio mina El Teniente CODELCO – Chile”* en su consigna conductiva se asevera el crear valor en la ejecución de un proyecto de infraestructura minera genera la necesidad de establecer mejoras que deben ser evidentemente claras respecto a cómo se ejecutan las tareas programadas de desarrollo y construcción es necesario trabajar en los ámbitos de gestión y operación, debido a que la gestión y la seguridad en este tipo de proyectos representa una variable crítica incluso

más relevante que los aspectos propiamente técnicos aunque el diseño y la ejecución de las obras de desarrollo y explotación se presenta una evidente mejora en términos de seguridad basados en aspectos de geomecánica operacional.

Sari Chalco & Rodas Andrade (2013). Tesis *“Propuesta del sistema de fortificación que se debe emplear a lo largo de la beta F – 10 de la mina subterránea Liga de Oro de la empresa minera SOMILOR S.A.”* de la provincia Azuay – Ecuador la conclusión afirman que se obtuvo que la clasificación RMR (Bieniawski) que el macizo corresponde entre IIa y IIb , con la que se define como de clase buena y el tipo de fortificación que más se ajusta a las condiciones del macizo rocoso, es por la fortificación de hormigón lanzado con un espesor de 15 cm, con un tipo de cemento empleado de fraguado rápido $R_c = 3$ MPa de una relación agua cemento de 0.4 y que la humedad de los áridos que según norma no debe sobrepasar el 5%. El rock sistemas de clasificación de masas han constituido una parte integral del diseño de la mina empírica más de 100 años,

Ritter (1879). El uso de estos sistemas puede ser implícito o explícito. Se utilizan tradicionalmente para las áreas de grupos de características geotécnicas similares, para proporcionar directrices de funcionamiento de la estabilidad y para seleccionar el apoyo adecuado.

Universiteit Van Pretoria (2010). Artículo científico: *La evaluación de las técnicas de clasificación geotécnicas para el diseño de las minas de carbon: Techos de Minas. Colombia.* En años más recientes, los sistemas de clasificación han utilizado a menudo en conjunto con herramientas analíticas y numéricas. Ha habido un aumento de trabajo que une los índices de clasificación a las propiedades del material tales como el módulo de elasticidad, la metro y s parámetros aumento de trabajo que une los índices de clasificación a las propiedades del material tales como el módulo de elasticidad, la metro

y sus parámetros aumento de trabajo que une los índices de clasificación a las propiedades del material tales como el módulo de elasticidad, la metro y sus parámetros aumento de trabajo que une los índices de clasificación a las propiedades del material tales como el módulo de elasticidad, la metro y sus parámetros aumento de trabajo que une los índices de clasificación a las propiedades del material tales como el módulo de elasticidad, la metro y sus parámetros en el Hoek y criterio de fallo Brown (1988) , etc. Estos valores se utilizan entonces como parámetros de entrada para los modelos numéricos. En consecuencia, la importancia de la aplicación de los métodos de caracterización del macizo rocoso ha aumentado con el tiempo. El objetivo principal de todos los sistemas de clasificación es cuantificar las propiedades intrínsecas de la masa de roca sobre la base de la experiencia pasada. El segundo objetivo es investigar cómo las condiciones de carga externas que actúan sobre un macizo rocoso influyen en su comportamiento. La comprensión de estos procesos puede conducir al éxito en la predicción del comportamiento de las masas de roca para diferentes condiciones.

2.2. Antecedentes Nacionales

Según describe Torres Yupanqui “et al” (2009). artículo científico “*Geomecánica aplicado el control y labores mineras para la minimización de caída de rocas en la mina Madrugada Cia Minera Huinac SAC. – Ancash – 2009*”, arriba sus conclusiones determinó que las características geomecánicas del macizo rocoso obtenido de las labores y que los parámetros Geomecánicos del criterio de falla de Mohr y Coulomb, así como también en base al criterio de falla de Hoek – Brown, para los componentes del macizo rocoso de la mina Madrugada, determinándose un promedio de rocas de condición regular y mineral de calidad regular, además que los valores obtenidos por los índices de clasificación RMR y Q demuestran similitud entre ambos sistemas de clasificación,

dándole mayor confiabilidad a los resultados obtenidos por lo que se han evaluado para determinar la calidad del macizo rocoso encajonante y del mineral componente y finalmente indica que las consideraciones geológicas y geomecánicas aplicadas al análisis del método de explotación, determinan que los métodos a aplicarse de acuerdo a la prioridad son de cielo abierto (Open pit) corte y relleno (Cut and Fill) entibación con cuadros (Square set) y cámaras almacén (shirincage)

Bustamante M. (2008). Tesis *“Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por la caída de rocas mina Huanzala Cia. Minera Santa Luisa S.A.”* cuyas condiciones y recomendaciones considera:

Que el año 2017 Ministerio de Energía y Minas (MEM); registro accidentes fatales de los cuales 15 se ocasionaron bajo la responsabilidad de la compañía minera y 47 fueron empresas especializadas de contratistas mineros, donde el desprendimiento de rocas siguió siendo la principal causa de accidentes fatales, llegando a un 23% (14 fatales) de todos los accidentes ocurridos durante el mencionado año seguidos a otras causas.

El sistema de sostenimiento que más se utiliza en las labores de desarrollo preparación de explotación en la minera Huanzalá de Santa Luisa, son las pernos cementados, sin embargo el sistema de sostenimiento Shotcrete, cables bolting se utilizan en zona de acuerdo al tipo de terreno y la tabla geomecánica y finalmente se indica que el sistema de gestión de seguridad se encuentra en un proceso de implementación en esa situación el índice de accidentabilidad del empresa deberá mejorar a medida que el sistema integrado de seguridad de Huanzalá avance en forma progresiva y el apoyo de la alta gerencia y la gerencia de operaciones con la práctica y predica de liderazgo como cultura de la organización.

Chura Lope (2016). Tesis “*Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana María - La Rinconada*”; que en su condición aclara la clasificación geomecánica obtenida en ejecución del investigación determina el valor RMR 89 de Bieniawski; de cómo resultado roca tipo III, regular en pizarra y calidad buena tipo II en cuarcita el dominio estructural de la caracterización geomecánica en ambas calidades de roca se muestra en un mecanismo de fallas de tipo I, debido al comportamiento de discontinuidades de dos o tres familias presentes; además de los valores de Q de Barton, estrechamente relacionadas a la calidad de la roca siguiendo el tipo de sostenimiento utilizar de tipo refuerzo activo de perno de anclaje con longitudes de 1.8 m con espaciamiento de 1.5 a 3 m, empernados de forma puntual o sistemática sin refuerzo de concreto lanzado; y la recomendación explícita ya que para la obtención de los dominios geomecánicos se deberá apoyar con programas computacionales , con el objetivo de visualizar y de este modo tener una mejor identificación del dominio para diseñar el sostenimiento a utilizar.

Cueva Romero & Arana Cabrera (2019). Investigación: *Caracterización geomecánica en minería subterránea. Universidad Privada del Norte, Cajamarca*; donde en lo fundamental asevera que actualmente la minería es sin duda una de las actividades con mayor riesgo que las personas realizan, constantemente se reportan accidentes en el interior de las labores subterráneas por caída de rocas, es por eso que es necesario cuestionar ¿Qué se conoce sobre la caracterización geomecánica en minería subterránea durante los años 2013-2019?, para poder entender los fenómenos asociados a los esfuerzos del macizo rocoso, ya que según estudios estadísticos el 23% de los accidentes ocurridos en minería subterránea son accidentes fatales por inestabilidad de las rocas, ocasionando pérdidas, económicas, productivas y humanas (Valeriano, 2015).

Tacuri Gamboa (2017). Tesis: *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina Hercules-CIA. Minera Lincona S.A. Ayacucho.* Conforme a la aplicación de sistemas Geomecánicos el RMR 89 del macizo rocoso en el nivel 4300 está comprendido entre 21 a 75 y el Q entre 3 a 9. La clasificación geomecánica tiene dos aplicaciones, la primera es para seleccionar el tipo de sostenimiento que debe aplicarse a una determinada labor subterránea y la segunda es un parámetro para diseñar adecuadamente la malla de perforación – voladura. Los tipos de sostenimiento aplicados en la mina Hércules son: Shotcrete, pernos helicoidales, malla electrosoldada, pernos de fricción, pernos expansivos, cuadros de madera, pilares de madera y puntales.

García (2019). Tesis: *Evaluación geomecánica en el diseño de sostenimiento subterráneo en la UEA. Huachocolpa Uno-CIA. Minera Caudalosa S.A. Cerro de Pasco.* La masa rocosa que involucra el diseño para la explotación en la U.E.A. Es de importancia en el terreno precisar el comportamiento del macizo rocoso, en este caso la calidad geomecánica “Buena a Regular” según la clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski. Del análisis de estabilidad estructuralmente controlada y las condiciones de masa rocosa auscultadas en las labores mineras se tiene gran incidencia de la exposición de cuñas en las paredes y techo de las excavaciones por lo tanto se recomienda practicar el “IPERC CONTINUO” con la finalidad de auscultar cuñas expuestas para eliminarlas y/o colocar el sostenimiento. Es necesario precisar que los tipos de sostenimiento están en función a la calidad de masa rocosa y al carácter temporal y/o permanente de la excavación (galerías, tajos, subniveles, cámaras, etc.).

Loarte Trujillo (2018). Tesis: *Sostenimiento de las labores mineras en la Corporación Minera Toma la Mano-Cormitoma S.A. UNASAM, Huaraz.* Esto indica implementar otras alternativas de sostenimiento. De acuerdo al análisis de los datos de campo, laboratorio y gabinete, basados en el (International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering

(ISRM), 1981), se determinó que el RMR Básico y el corregido para la Mineral varía entre 59- 59 (Tipo III - A), en el caso de la Zona de Contacto varía entre 66 - 66 (Tipo II-B), en el caso de la Pizarra varía entre 58 - 58 (Tipo III-A), en el caso de la Cuarquita varía entre 71 - 71 (Tipo II-A) y en el caso de la granodiorita varía entre 87- 82 (Tipo II-B). De acuerdo al criterio científico de Palmstron la ecuación para el yacimiento Toma La Mano en lo relacionado al RMR y Q (Bieniawski – Barton), es $RMR = 8.988\ln(x)+44.046$, dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por esta teoría. En lo relacionado al tiempo de auto soporte sin sostenimiento, para el caso de la pizarra cuyo valor del RMR 89 está en el rango de 58 - 58, es de 1 mes y 2 días, para el caso de la cuarquita cuyo valor del RMR 89 está en el rango de 71 - 71, es de 1 año, en el caso de la granodiorita cuyo valor del RMR 89 está en el rango de 87 - 82, es de 3 años y 7 meses.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Cálculo de la constante K

Con el fin estimar el estado tensional del macizo, es necesario conocer a priori el campo de esfuerzos que actúa sobre el terreno, por lo que es necesario calcular el valor de las tensiones máximas vertical (σ_v) y horizontal (σ_h). El esfuerzo vertical al que está sometido un punto del macizo rocoso a una profundidad queda definido por la siguiente ecuación (González de Vallejo, 2002):

$$\sigma_v = p \cdot g \cdot z = \gamma \cdot z$$

Donde:

γ es el peso unitario de la roca;

z es la profundidad desde la superficie en metros;

p es la carga litostática de la columna de roca;

g es la aceleración de la gravedad.

Para conocer el esfuerzo horizontal por métodos empíricos, es necesario calcular el coeficiente de reparto de las tensiones naturales (coeficiente K_o); permite obtener el valor del esfuerzo horizontal (σ_h) mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_h = K_o \cdot \sigma_v$$

En 1952, Terzaghi y Richart consideraron el cálculo del valor del coeficiente K_o independiente de la profundidad a partir coeficiente de Poisson (ν):

$$\sigma_h/\sigma_v = \nu / 1-\nu = K_o$$

Esta igualdad, no se cumple en zonas superficiales de la corteza que hayan sufrido procesos de descarga por erosión (González de Vallejo, 2002). La erosión tiende a aumentar el valor del coeficiente K_o , provocando que los valores de los esfuerzos horizontales (σ_h) pasen a ser mayores que los verticales (σ_v) a profundidades someras. Por otro lado, el hecho de haberse considerado rocas sedimentarias no tectonizadas con estratificación horizontal, descarta el uso de esta ecuación a efectos de cálculo para ese trabajo.

Según Hoek y Brown (1980) a profundidades menores de 500 m, las tensiones horizontales son significativamente más grandes que las verticales, pudiendo oscilar entre valores de K menores de la unidad a incluso mayores de 3. A partir de profundidades superiores a 1000 m tienden a igualarse las tensiones; por lo tanto, si existieran tensiones horizontales importantes a estas profundidades, podrían inducirse procesos de fracturación (sobre excavaciones), plastificación intensa (squeezing), etc.

$$0.3 + 100 / Z < K_o < 0.5 + 1500 / Z$$

El modelo de Sheorey (1994), basado en las propiedades termo-elásticas del macizo, no considera los factores tectónicos que afectan el estado de esfuerzos del macizo rocoso. De todos modos, proporciona una ecuación simplificada que permite estimar el coeficiente de reparto (K_0) a partir del módulo de deformación elástica horizontal medio (Eh) y la profundidad del túnel (z):

$$K = 0.25 + 7Eh (0.001 + 1/z)$$

Los esfuerzos tectónicos, uno de los factores principales a considerar en el análisis de las tensiones naturales, se generan por dos mecanismos básicos: las fuerzas de borde y las fuerzas inducidas por cargas de compensación isostática. Dicho razonamiento se refuerza a partir de distintos estudios de entre los que cabe destacar la aportación realizada por el Dr. Evert Hoek. reunió información correspondiente a estados de tensiones obtenidos para túneles en roca de proyectos de distinta índole realizados a escala global, e intentó hallar una relación entre dichos estados y la profundidad a la que se encontraba la excavación. Los resultados que obtuvo fueron se resumen en la siguiente figura Hoek,

(1988):

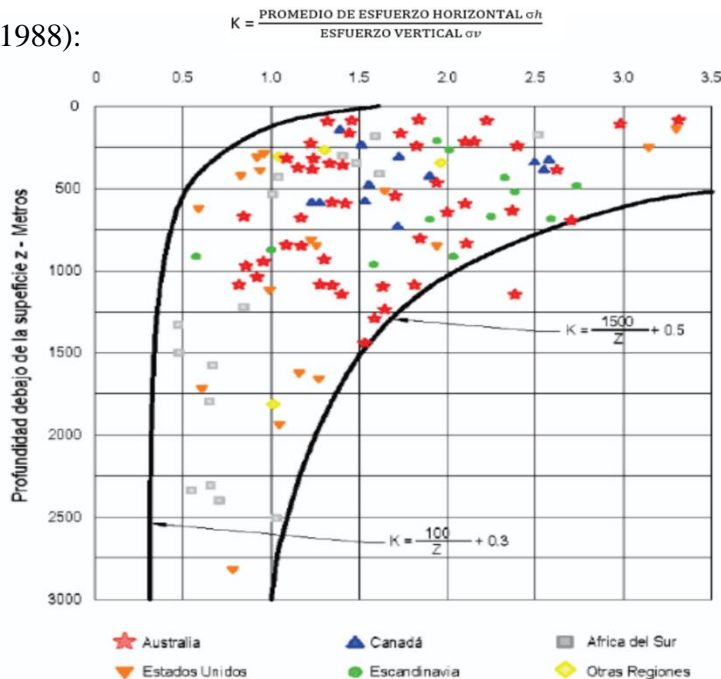


Figura 1: Variación de K con la profundidad (Hoek & Brown)
Fuente: Hoek, 1988.

Como se puede apreciar, la variación de la constante k obtenida es independiente de las constantes elásticas y del tamaño de la excavación. En otras palabras, es indiferente excavar el túnel en una litología o en otra y no importa si el diámetro de la cavidad es de pequeño o de gran diámetro. Evidentemente, este resultado es del todo inaceptable desde un punto de vista ingenieril, pues la experiencia nos ha demostrado que en realidad esto no es así. Pero, lo interesante de todo este razonamiento no es la solución en sí, sino lo que se desprende de ella. En primera aproximación, da una idea de que las tensiones no están controladas por las características del material sino por la geometría del túnel. Este hecho, que aparentemente es irrelevante, resulta de vital importancia y nos será muy útil a la hora de proyectar un sostenimiento.

2.3.2. Criterio de rotura de Hoek-Brown

El criterio de rotura de Hoek-Brown es válido para evaluar la resistencia de los macizos rocosos y la matriz rocosa, y tiene carácter lineal, donde representa la gráfica de rotura mediante una curva de tipo cóncava. Desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar su matriz rocosa resistente, sólo debe aplicarse a macizos rocosos donde la estructura analizada es grande y los bloques son pequeños en comparación y en los que hay un número suficiente de discontinuidades muy próximas entre sí, con características superficiales similares, para asumir al comportamiento de fractura como isotrópico. Se define por (Hoek et. al. 2002):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \times (mb \times \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)$$

Donde:

mb Es un valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$mb = m_i \cdot e^{(SI - 100 / 28 - 14D)}$$


s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = e^{(SI-100 / 9-3D)}$$

$$a = 1/2 + 1/6 (e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

D depende del factor de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por efectos de voladura o por la relajación de los esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1, para macizos rocosos muy alterados (Hoek et al. 2002).

Tabla 1. Parámetros de Hoek y Brown

	Rocas carbonatadas con división bien desarrollada - piedra Caliza, Mármol.	Rocas arcillosas Lodo, Limonita, Esquisto, Pizarra.	Roca arenisca Arenisca Cuarcita	Roca ígnea de grano fino cristalino Andesita, Basalto, Riolita.	Roca metamórfica e ígnea secundaria - Gabro, Gneis, Granito.
Martirial de roca intacto Muestras de laboratorio sin discontinuidades RMR = 500	m = 7.00 s = 1.00 mr. = 7.00 sr = 1.00	m = 10.00 s = 1.00 mr = 10.00 sr = 1.00	M = 15.00 S = 1.00 Mr = 15.00 S 1.00	M = 17.00 S = 1.00 Mr = 17.00 S = 1.00	M = 25.00 S = 1.00 Mr = 14.63 Sr = 0.189
Masa de roca de muy buena calidad Rocas sin bloque aislados con discontinuidades no agradadas RMR = 85 Q = 100	m = 2.40 s = 0.82 mr = 4.10 sr = 0.189	m = 3.43 s = 0.08 mr = 2.865 sr = 0.189	m = 5.14 s = 1.00 mr = 15.00 s = 1.00	m = 5.82 s = 0.082 mr = 9.95 sr = 0.189	m = 8.56 s = 0.082 mr = 14.63 sr = 0.189
Masa de roca de buena calidad Rocas ligeramente dañadas con discontinuidades no degradadas espacio desde 1 a 3 m RMR = 65 Q = 10	M = 0.821 S = 0.00293 Mr = 2.865 Sr = 0.0205	M = 1.231 S = 0.00293 Mr = 4.298 Sr = 0.0205	M = 1.395 S = 0.0029 Mr = 4.871 Sr = 0.0205	M = 1.395 S = 0.00293 Mr = 4.871 Sr = 0.0205	M = 2.052 S = 0.00293 Mr = 7.163 Sr = 0.0205
Masa de roca de baja calidad con discontinuidades parcialmente degradadas espacio desde 0.3 a 1 m RMR = 44 Q = 1	M = 0.128 S = 0.00009 Mr = 0.947 Sr = 0.00198	M = 0.183 S = 0.00009 Mr = 1.353 Sr = 0.00198	M = 0.275 S = 0.00009 Mr = 2.030 Sr = 0.00198	M = 0.311 S = 0.00009 Mr = 2.301 Sr = 0.00198	M = 0.458 S = 0.00009 Mr = 3.383 Sr = 0.00198
Masa de roca de pobre calidad Con discontinuidades degradadas espacio desde 30 a 500 m RMR = 23 Q = 0,1	M = 0.029 S = 0.000003 Mr = 0.447 Sr = 0.00019	M = 0.041 S = 0.000003 Mr = 0.639 Sr = 0.00019	M = 0.061 S = 0.000003 Mr = 0.959 Sr = 0.00019	M = 0.069 S = 0.000003 Mr = 0.087 Sr = 0.00019	M = 0.102 S = 0.000003 Mr = 1.598 Sr = 0.00019

Fuente: Rodríguez Dono.

2.3.3. Métodos empíricos de clasificación geomecánica

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo permitir el análisis del macizo rocoso a partir de métodos empíricos, y observaciones de campo, estas clasificaciones fueron establecidas y mejoradas subsecuentemente por diversos autores debido a la complejidad que presentan los macizos rocosos. Las tres clasificaciones utilizadas son: el RQD (Índice de calidad de roca), RMR89 (Valoración de la masa rocosa), Q (Índice de calidad Q), y GSI (Índice de resistencia geológica). A continuación, se describen estas cuatro clasificaciones.

El índice Rock Quality Designation (RQD), propuesto por Deere (1976), y adaptado por Clayton en 1995 dice: “El índice RQD representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigos mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado” citada por González de Vallejo (2004, p.326). Para el caso de la aplicación del RQD en taludes lo estimaremos aplicando la modificación de Priest & Hudson (1976), realizando la medición de las discontinuidades en una superficie con la consideración que exista una longitud mínima de 10 cm. Donde λ es el número promedio de discontinuidades por metro.

$$RQD=100* e^{-0.1\lambda} *(0.1 \lambda+1)$$

λ = Numero de discontinuidades/ Longitud

Tabla 2: Índice de calidad de la roca (RQD)

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: (Deere, 1976)

2.3.4. Valoración de la masa rocosa (RMR89)

La clasificación geomecánica o Sistema Rock Mass Rating (RMR), postulado en 1976 con actualizaciones hasta 1989, en el cual propone valores para los parámetros en función de calidad del macizo rocoso el cual permite estimar los parámetros de resistencia y deformación del macizo, constituyendo un sistema de clasificación de los macizos rocosos que permiten a su vez relacionar el índice de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo (González de Vallejo, 2002). Esta clasificación considera los siguientes parámetros:

Tabla 3: Parámetros de clasificación RMR-Bieniawski 89.

PARAMETRO		ESTIMACION Y ESCALA DE VALRES							
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MP Kg/cm ³ (aprox)	>10 100	4 - 10 40 - 100	2 - 4 20 - 40	1 - 2 10 - 20	Únicamente compresión simple		
		Compro. Simple MP Kg/cm ³ (aprox)	>250 >2500	100 - 250 1000 - 2500	50 - 100 500 - 1000	25 - 50 250 - 500	5-25	1-5	<1
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		>2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2m	<0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades ()		Muy rugoso discontinuo Sin separaciones Borde seco y dura	Ligeramente rugosa Abertura < 1 mm Bordes duros	Ligeramente rugosa Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejo de silla con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm Abiertas contin.	Relleno blando > 5 mm Una o abertura > 5 mm Directa continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de nivel	nulo	<10 L/min	10 - 25L/min	25-125L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		Estado general	seco	Ligeramente húmedo	húmedo	goleando	fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		
6	Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)								
	Dirección y basamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
	Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		
		cimentación	0	-2	-7	-15	-25		
taludes		0	-2	-25	-50	-60			

Fuente: (González de Vallejo, 2002)

El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso.

1. Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.
2. RQD.
3. Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.
4. Condición de las discontinuidades, que incluye:
 - Persistencia de la discontinuidad

- Abertura
- Rugosidad
- Relleno
- Alteración
- Presencia de agua subterránea
- A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR89 se obtiene como la suma de todos ellos.

$$\text{RMR} = 1+2+3+4+5$$

Hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR76, del año 1976 y el RMR89, del año 1989. La diferencia reside en los valores que se les asignan a los parámetros de: presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades, y RQD conjuntamente con el espaciado de las discontinuidades.

Se añadieron también a la clasificación recomendaciones para el sostenimiento de túneles según las cinco clases de roca. En la tabla se muestra las recomendaciones para excavación y sostenimiento de túneles (Bieniawski, 1989). Esta clasificación es muy conocida y se aplica sistemáticamente para muchos estudios de túneles, junto con la clasificación de Barton (1974).

2.3.5. Índice geológico de resistencia (GSI)

El índice de Resistencia Geológica (GSI, Geological Strenght Index), desarrollada por Hoek y Brown (1997) citada por González de Vallejo (2004). Se basa en estimaciones cualitativas, y en modelos simples, que rara vez coinciden con las condiciones reales. Ya que las observaciones debían ser realizadas por geólogos o Ingenieros geólogos cuantificadores, es por lo cual Hoek (2013), presenta. Una cuantificación de la tabla GSI

sobre la base de dos parámetros bien establecidos, las condiciones de las discontinuidades y el RQD.

Tabla 4: Índice de Resistencia Geológica (GSI)

Calidad del macizo	Clase	GSI
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy buena	I	81 - 100

Fuente: Hoek 1998; Marinos y Hoek, 2000.

2.3.6. Índice de calidad Q

El método de clasificación de Barton (1974) se desarrolló para estimar la fortificación de túneles en función del índice Q de calidad geotécnica, definido como:

Del manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea de la Sociedad Nacional de Minería y Petróleo (2004) se tiene que:

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

RQD: La designación de la calidad de la roca definida por Deere, que puede variar de 0 en macizos rocosos de muy mala calidad y a 100 en macizos rocosos de excelente calidad.

J_n: Un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso “Joint Set Number”. Este puede variar de 0.5 en macizo masivo o con pocas estructuras y a 20 en roca totalmente disgregada o triturada.

J_r: Coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso o “Joint Roughness Number”. Puede variar de 0.5 para estructuras planas y pulidas. A 5 en estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3 m.

Ja: “Joint Alteration Number”, este coeficiente está asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso que puede variar de 0.75 vetillas selladas en roca dura con rellenos resistentes y no degradables y a 20 estructuras con rellenos potentes de arcilla.

Jw: Es un coeficiente asociado a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso “Joint Water Reduction Factor”, que puede variar de 0.05 flujo notorio de aguas, permanente o que no decae en el tiempo y a 1, estructuras secas o con flujos mínimos de agua.

SRF: “Stress Reduction Factor” es un coeficiente asociado al posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso, que puede variar de 0.05 concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente y a 400 potencial ocurrencia de estallidos de roca.

Tabla 5: Índice de la calidad de la roca de acuerdo al factor Q

Calidad Excepcionalmente Buena:	$400 \leq Q < 1000$	→	$Q \approx \pm 100$
Calidad Extremadamente Buena:	$100 \leq Q < 400$	→	$Q \approx \pm 40$
Calidad Muy Buena:	$40 \leq Q < 100$	→	$Q \approx \pm 8$
Calidad Buena:	$10 \leq Q < 40$	→	$Q \approx \pm 3$
Calidad Regular:	$4 \leq Q < 10$	→	$Q \approx \pm 1.5$
Calidad Mala:	$1 \leq Q < 4$	→	$Q \approx \pm 0.3$
Calidad Muy Mala:	$0.1 \leq Q < 1$	→	$Q \approx \pm 0.01$
Calidad Extremadamente Mala	$0.01 \leq Q < 0.1$	→	$Q \approx \pm 0.001$
Calidad Excepcionalmente Mala	$0.001 \leq Q < 0.01$	→	$Q \approx 0.0005$

Fuente: (Barton, Lien y Lunde, 1974)

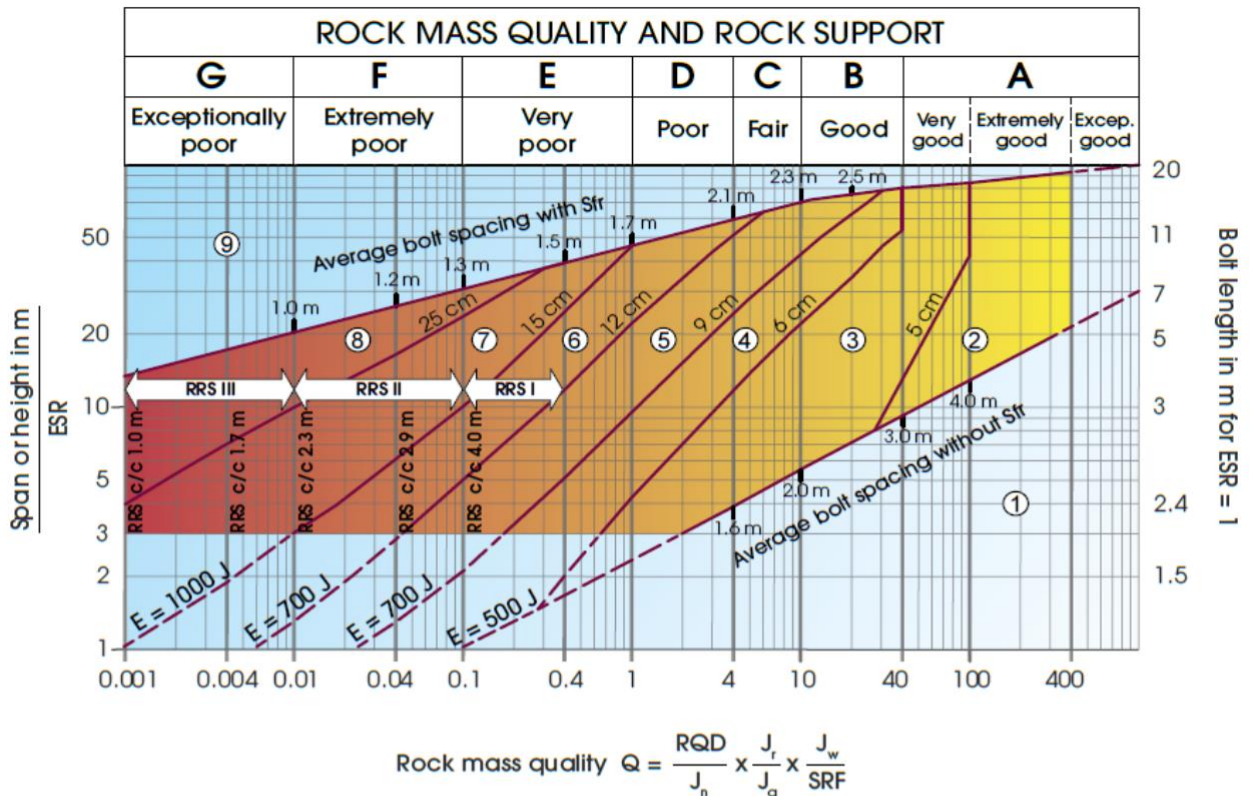
2.3.7. Dimensión equivalente (De)

La dimensión equivalente es la relación de la dimensión mayor de la excavación D a un diámetro “equivalente”, que se define como $De = D/ESR$: La expresión para la dimensión equivalente De esta dada por:

$$De = \frac{\text{Ancho, diámetro o altura de la excavación (m)}}{\text{Relación de soporte de la excavación}}$$

2.3.8. Relación de soporte de la excavación (ESR)

El grado de importancia de la excavación es definido mediante el índice ESR (Excavation Support Ratio) que viene a ser un factor de seguridad. Los valores de ESR aparecen en la tabla 2.9 la referencia (ESR=1.6) corresponde típicamente a “excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de aguas para hidroeléctricas, (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.



Support categories

1. Unsupported or spot bolting
2. Spot bolting, **SB**
3. Systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete, 5 - 6 cm, **B+Sfr**
4. Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 6 - 9 cm **Sfr (E500) + B**
5. Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 9 - 12 cm **Sfr (E700) + B**
6. Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 12 - 15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Sfr (E700) + RRS I + B**
7. Fibre reinforced sprayed concrete > 15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Sfr (E1000) + RRS II + B**
8. Cast concrete lining, **CCA or Sfr (E1000) + RRS III + B**
9. Special evaluation

Bolts spacing is mainly bases on $\phi 20$ mm

E = Energy absorption in fibre reinforced sprayed concrete

ESR = Excavation Support Ratio

Areas with dashed lines have no empirical data

RRS - spacing related to Q-value

- Si30/6 $\phi 16 - \phi 20$ (span 10 m)
D40/6 + 2 $\phi 16 - 20$ (span 20 m)
- Si35/6 $\phi 16 - 20$ (span 5 m)
D45/6+2 $\phi 16 - 20$ (span 10 m)
D55/6+4 $\phi 20$ (span 20 m)
- D40/6+4 $\phi 16 - 20$ (span 5 m)
D55/6+4 $\phi 20$ (span 10 m)
Special evaluation (span 20 m)

Si30/6 = Single layer 6 rebars,

30 cm thickness of sprayed concrete

D = Double layer of rebars

$\phi 16$ = Rebar diameter is 16 mm

c/c = RSS spacing, centre - centre

Figura 2: Categorías de sostenimiento estimadas, basadas en el índice de calidad tunelera Q.
Fuente: (Barton, 1993)

2.3.9. Clasificación geomecánica de bieniawski.

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- a) Resistencia compresiva de la roca.
- b) Índice de la calidad de la roca - RQD.
- c) Espaciamiento de juntas.
- d) Condición de juntas.
- e) Presencia de agua.
- f) Corrección por orientación.

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de calidad del RMR que varía entre 0 – 100.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.
- Se clasifican las rocas en 5 categorías. En cada categoría se estiman los valores de la cohesión y el ángulo de fricción interna del macizo rocoso. A continuación, se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación.

Tabla 6: Geomecanica de Bineawski 1989. Parámetros de clasificación

PARAMETRO		ESTIMACION Y ESCALA DE VALRES							
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MP	>10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente comprensión simple		
		Compro. Simple MP	>250 >2500	100 – 250 1000 - 2500	50 – 100 500 – 1000	25 – 50 250 – 500	5-25	1-5	<1
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 – 50	<25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		>2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2m	<0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades ()		Muy rugoso discontinuo Sin separaciones Borde seco y dura	Ligeramente rugosa Abertura < 1 mm Bordes duros	Ligeramente rugosa Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejo de silla con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm Abiertas contin.	Relleno blando > 5 Una o abertura > 5 mm Directa continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de nivel	nulo	<10 L/min	10 – 25L/min	25-125L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5		
		Estado general	seco	Ligeramente húmedo	húmedo	goleando	fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		
6	Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)								
	Dirección y basamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
	Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		
		cimentación	0	-2	-7	-15	-25		
taludes		0	-2	-25	-50	-60			

Fuente. Bineawski 1989

2.4. Definición de términos básicos

Argilización: Proceso de transformación de los feldspatos y otros silicatos aluminicos en arcilla. Las rocas argilizadas, generalmente son incompetentes (Ramirez, 2004)

Autosostenimiento: También llamado autosoporte, de una excavación subterránea en rocas masiva y estructural, según el contorno de la línea de corte; estabilidad de una excavación en un tiempo definido, sin elementos de soporte. Marinos (2000).

Deformación: Deformación referida a la sección de excavación, afectando la geometría de la abertura, como consecuencia de la aplicación de un campo de tensiones. Córdova (2004).

Discontinuidades: Son superficies de debilidad que imparten a las rocas una condición de anisotropía de resistencia, es decir, denotan una interrupción en la integridad mecánica de la roca. Para fines descriptivos se emplea el término genérico, discontinuidad, con el objeto de referirse indistintamente a diaclasas, fallas, foliaciones, estratificación y pseudoestratificación; teniendo en cuenta que la resistencia al cizallamiento en estas superficies, siempre es menor que la resistencia de la roca intacta que constituye el macizo (Sloss, 1963)

Estructural: Está estrechamente relacionado a aspectos de las ciencias del comportamiento de materiales, de la física en estado sólido, con los avances en el campo de la geología estructural. Estableciendo la historia de desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, velocidades de deformación, temperaturas y presiones sufridas por la corteza y la parte superior del manto terrestre asociado a ella. Desde luego son estas estructuras tales como: pliegues, fallas, foliaciones, lineaciones y diaclasas. (Bruce Edward, et al., 1981, p 339).

Factor de seguridad: Es un concepto que se origina del método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad. Este factor es un índice que expresa la relación entre: la resistencia la corte media del material del macizo a lo largo de una potencial superficie

de ruptura vs. La resistencia de corte estrictamente necesaria para mantener el terreno en equilibrio (Suárez, 2016).

Gauge: material Blando (panizo), a lo largo de las paredes de la roca encajonante, en depósito mineral o una falla. (Ordoñez, 2016)

Geomecánica: Es la ciencia que estudia la respuesta mecánica de los materiales geológicos, es decir la conducta de los suelos y rocas y esta es la unión de la Mecánica de Suelos más la Mecánica de Rocas (Mitchell, 2012)

Junta: Indica un plano de división, a lo largo del cual no existen desplazamientos sensibles. Una junta puede ser abierta o cerrada. (Romana, 2001)

Línea de corte: fractura de la roca, especificando la frontera delineada, que existe en la roca fija al macizo rocoso y la roca suelta. (Ortiz, 2009)

Tensiones: Es un sistema de fuerzas internas dentro de un cuerpo. Que se establece como reacción a una fuerza externa tendente a cambiar su forma o volumen. Cualquier sistema de esfuerzos se descompone en dos fuerzas que actúan en direcciones opuestas en cada uno de los lados del plano: el plano de máximo esfuerzo. Los geólogos tienden a utilizar el término esfuerzo para describir los efectos que surgen a partir de fuerzas externas. (Ruiz, 2001)

Sistemas de Discontinuidades: El número de sistemas de discontinuidades condiciona de forma importante el aspecto del macizo rocoso y su comportamiento mecánico. La orientación de las diferentes sistemas o familias con respecto a una obra o instalación sobre el terreno condiciona, además, la estabilidad o inestabilidad de la misma. (Brown, 1988)

Alteración de Paredes: El grado de alteración o meteorización debe ser estimado para el macizo rocoso en su conjunto. Se precisa de la observación directa de la roca, aunque en ocasiones será necesario fragmentar un trozo de roca para observar la alteración de la matriz rocosa.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica del Estudio

3.1.1. Ubicación

Mina Heraldos Negros, propiedad de la Compañía Minera San Valentín S.A., comprende las concesiones, Heraldos Negros, se desarrolla en el región de Huancavelica, provincia de Huancavelica, en el distrito de Acobambilla, en la Comunidad de Acobambilla, en el paraje del Cerro Condoray, a una altitud de 4 700 a 5 250 m.s.n.m. ubicada a 117 km desde Huancayo y desde la ciudad de Lima por la ciudad de Cañete, se ubica a 411 km.

Accesibilidad Para llegar a proyecto minero Heraldos Negros, se tiene dos vías de acceso. Vía de acceso desde la ciudad de Lima: (Ver Tabla 18, 19).

3.1.2. Concesiones Mineras

El Proyecto Minero Heraldos Negros, se encuentra enmarcado dentro de las concesiones mineras; Heraldos Negros, Heraldos Negros N° 2 Y Heraldos Negros N° 5; las actividades de explotación y exploración se desarrolla dentro de la concesión Heraldos Negros (200 hectáreas), la concesión Heraldos Negros N° 2 (12 hectáreas), haciendo un total de 212 hectáreas. Las coordenadas UTM de las concesiones son las siguientes. (Ver Tabla 20, 21,22).

Tabla 7: Acceso a la mina por ciudad de Lima

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (h)
Lima - Cañete (Asfaltada)	150	2
Cañete – Lunahuana (asfaltada)	40	0,40
Lunahuana – Llapay (afirmada)	140	3
Llapay – Laraos (afirmada)	12	0,40
Laraos – San Valentín (Trocha)	19	1,20
San Valentín – Heraldos Negros	50	3
Total	411	10,40

Fuente: Mina Heraldos Negros

Tabla 8: Acceso a la mina por ciudad de Huancayo

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (h)
Huancayo – Mina Cercapuquio Carrete: afirmada en buenas Condiciones	74	2
Mina Cercapuquio – Mina Heraldos Negro Trocha Carrozable en regular estado	44	3
Total	180	5

Fuente: Mina Heraldos Negros.

Tabla 9: Coordenadas de los vértices de concesión Heraldos Negros

	Norte	Este
Vértice 1	8 604 825,998	450 912,781
Vértice 2	8 603 832,096	450 813,657
Vértice 3	8 604 030,344	448 825,852
Vértice 4	8 605 024,246	448 924,976

Fuente: Mina Heraldos Negros.

3.1.3. Geografía

La zona en estudio de Heraldos Negros. Presenta características típicas de cordillera alta, con clima frígido y con una topografía agreste.

Se puede diferenciar dos estaciones bien marcadas; entre noviembre y abril, Las lluvias y nevadas son frecuentes con abundantes precipitaciones, Especialmente en los meses de febrero y marzo. Desde mayo a octubre, es la época de sequía y que acompañan constantemente las heladas.

3.1.4. Topografía

La topografía, del prospecto se caracteriza, por ser del tipo glaciar con perfiles agudos de erosión glaciar y valles colgados en forma de "U", lagunas escalonadas en el fondo de los valles y depósitos aluviales y glaciares. El área se extiende por un paisaje montañoso, por una cubierta discontinua de suelo escaso, alternando con afloramiento rocoso propio de la cordillera de los andes, donde predominan afloramientos de minerales dentro del área en estudio.

El área está caracterizada por cerros, montañas, lagunas y por valles abruptamente cortados y topografía accidentada con valles y planicie y valles de origen glaciar.

3.1.5. Reseña histórica

Compañía Minera San Valentín S.A., U.E.A. Heraldos Negros se constituyó en el año 1993, inscrita en el Registro Minero de la Oficina Registral de Lima y Callao, Asiento 01 – Ficha 24 395 del Libro de Sociedades Contractuales y Otras Personas Jurídica, con fecha 12 de noviembre del 2009.

El objeto de la Empresa es el ejercicio de la actividad minera en la explotación de minerales polimetálicos dentro de las facultades que concede la ley para el sector privado. Las actividades que se realizan son en interior mina (minería subterránea), se realizan: exploraciones, desarrollos y explotación dentro de la U.E.A. “Heraldos Negros” teniendo

las vetas Bomboncito y Heraldos Negros, en las propiedades correspondientes a las concesiones mineras: Heraldos Negros.

Al año 2012, la empresa ha cumplido tres años de exploraciones y un año en explotación de minerales polimetálicos; el yacimiento es filoneano en las vetas bomboncito y Heraldos Negros.

Las estructuras mineralizadas de la U.E.A. Heraldos Negros están ubicadas en las vetas:

3.1.6. Heraldos Negros

Todos ellas con contenidos metálicos promedio de: Leyes: Zn 5,8%; Pb 1.5%; Cu 0,06%; Oz Ag/Tc 0,42.

La infraestructura de la unidad minera, comprenden labores de exploración mediante perforación diamantina en superficie e interior mina. Labores de desarrollo y preparación mediante galerías (3.0 m x 3.0 m), chimeneas (1.5 m x 2.4 m) y rampas (4.0 m x 4.0 m). Las dimensiones de las labores mineras son para minería convencional y mecanizada que son de uso mixto actualmente.

Subniveles y en la veta Heraldos Negros es corte y relleno ascendente con relleno detrítico y Derribo por Subniveles. La limpieza se realiza con Scooptrams. Para la voladura en las labores de desarrollo, exploración y tajeo se utiliza dinamita, emulsión, guías ensambladas, mecha rápida y fulminantes no eléctricos con retardos, cordón detonante, fanel.

3.1.7. Geología

3.1.7.1. Geología regional

De la correlación de imágenes satelitales Landsat III y Landsat V(TM) planos geológicos regionales y planos de distribución, de los principales yacimientos o centros mineros en producción, hemos concluido que, en las altas cumbres de la Cordillera Occidental, de los Andes centrales del Perú, existe un gran número de yacimientos polimetálicos que están ubicados dentro de una zona de fallamiento longitudinal de alto ángulo. Esta zona de falla, es el rasgo estructural regional lineal más importante y continuo que controla no solamente la ubicación de diversos yacimientos o distritos mineros sino también la localización de stocks intrusivos, plúgms y centros volcánicos Neógenos.

Tomando como referencia al Prospecto Heraldos Negros. La zona de fallamiento incluye hacia el noreste a los yacimientos polimetálicos de Unidad Solitaria (antes Satanás), Yauricocha, San Cristóbal y Morococha y hacia el sureste a los distritos mineros de Castrovirreyna, Huachocolpa, Julcani y San Genaro, entre otros.

La zona de falla regional mencionada líneas arriba fue mapeada con el nombre de "Falla Chonta", de alto ángulo, en el área de San Genaro, habiéndose podido seguirla con imágenes satelitales hasta su extremo noreste.

La zona de "Falla Chonta" en Heraldos Negros, coincide con la traza de la Veta, falla Esperanza. En la Unidad Solitaria, por la zona de la falla, hay cuerpos de brecha y mineralización que se están explotando subterráneamente.

En la mina Yauricocha, con las fallas verticales y brechas longitudinales, que en conjunto forman la zona de falla Yauricocha Quillcasca, se alojan cuerpos mineralizados recientemente en explotación subterránea.

3.1.7.2. Geología local

En el área de Heraldos Negros, afloran calizas grises y gris claro del mesozoico con rumbo N° 24° W y 58° W .de buzamiento y rocas volcánicas andesíticas piritizadas, estas rocas han sido atravesadas por pequeños intrusitos de composición monzonítica, las mismas que han originado la peritación de las rocas adyacentes estando los depósitos minerales económicos relacionados a éstos intrusitos.

Las formaciones Jumasha y Pariatambo sobreyacen concordantemente a otras más antiguas formando un anticlinal, abierto con lineamiento andino.

El cerro Nevado Condoray, dentro de Heraldos Negros, el plano axial del anticlinal antedicho fue roto y fallado formando esencialmente una brecha que aloja a los cuerpos mineralizados entre dos fisuras que son la veta Heraldos Negros y la veta Bomboncito y un sistema conjugado de fracturas transversales que alojan vetillas de calcita con algunos sulfuros, . Existe también en este punto un lineamiento transversal coincidente con las vetillas de calcita, que hemos denominado lineamiento "Río Virgen".

En el flanco noreste del anticlinal, justamente en el lado noreste de la laguna Condoray, un Stock monzodiorítico intruye a las calizas de la Formación Jumasha formando una aureola de calcita marmolizada, de igual modo, un pórfido cuarcifero con intensa disseminación de pirita aflora al este de la laguna Condoray.

El mineral de Heraldos Negros, se encuentra constituida por bolsonadas distribuidas en dos estructuras principales: Heraldos Negros y Bomboncito, con contenido de zinc y plomo y algo de cobre, plata y además otros cuerpos mineralizados como stockwork.

Estratigrafía

La estratigrafía, es simple, la formación Jumasha (Ks) descansa en concordancia sobre la formación Pariatambo (Ki) en un anticlinal de lineamiento andino cuyo eje se inclina levemente al Noroeste.

La formación Jumasha, aflora en toda el área de Heraldos Negros, tiene una potencia aproximada de 400 m. y sobre el concordante a las calizas y lutitas de formación Pariatambo. Esta potencia consiste de intercalaciones de calizas de color gris a calizas dolomíticas de color gris amarillento a blanco. Formación Pariatambo, en la zona mineralizada, aflora en un área de 500 por 80 m. como un paquete de estratificación delgada negra sobre el flanco Noreste, de la quebrada Heraldos Negros. Es una formación fosilífera, bituminosa y con nódulos de chert consiste de una intercalación de 50 a 60 m. de potencia compuesta de estratos delgados de calizas con algunos horizontes de lutitas y limonitas calcáreas. Esta formación no continua en el flanco opuesto del anticlinal debido a su desplazamiento normal por la veta falla Esperanza (Regional).

3.1.7.3. Geología estructural

Estructuralmente La veta Heraldos Negros forma parte de la falla regional “Chonta”; el cual es una falla regional de alto ángulo, cuya traza de la falla Esperanza coincide, con dicha falla cuyo rumbo vario de N58°W, N60°W, N45°W y N50°W.

Estos tipos de fallas no solo controlan Yacimiento de minerales si también stock de intrusivos y centros volcánicos neógenos.

Las formaciones Jumasha y Pariatambo sobreyacen concordante y forman un anticlinal cuyo eje axial fue roto y fallado formando una zona de brecha a donde aloja cuerpos mineralizados entre dos fisuras, veta heraldos negros y Veta Esperanza, además existe un sistema transversal de fracturas con relleno de calcita.

3.1.7.4. Geología económica

El Yacimiento de Mina Heraldos, forma parte de la Metalogenia de la Franja Sedimentaria del Mesozoico, dentro de la estructura Andina que se han desarrollado a través de los ciclos de sedimentación y tectónicas hercínicas y sobre todo Andina, sobre basamento andino precámbrico y presenta un magmatismo calco-alcalino.

La deposición de los sulfuros fue favorecida por la presencia de la falla y zona de cizallada, que es uno de los controles principales de la mineralización.

Génesis; el yacimiento tiene una génesis netamente de Relleno de fracturas, por ser zona de alto fallamiento, presenta estructuras tipo rosario, grande bolsonadas de mineral en forma de brechas o como mineral de arrastre.

3.1.7.5. Minerales de mena

Esfalerita rubia (SZn), Galena, Argentífera (SPbAg), Calcopirita (CuFeS₂)

3.1.7.6. Minerales de ganga

Pirita (S₂Fe), Calcita (SOCa), Baritina (SOBa)

3.1.7.7. Zona de oxidación

La oxidación está representada por minerales hematina, goethita, limonita, Cerusita, Cincita; en los niveles de profundización van disminuyendo de intensidad.

3.1.7.8. Zoneamiento y paragénesis

El zoneamiento en los cuerpos es que los minerales de alta temperatura se formaron cercanos a las rocas ígneas, y los de baja temperatura alejados de la masa ígnea. En los niveles cerca de la superficie se tiene mayores leyes de plomo-plata, de los niveles inferiores, conforme se profundiza se espera mayores leyes de Zinc. Los depósitos minerales de afinidad magmática se forman según una secuencia ordenada, a esta disposición se llama paragénesis.

3.1.7.9. Estructuras mineralizadas

El yacimiento consiste de un relleno de fracturas en los espacios abiertos favorables a lo largo de las fallas “Esperanza” y “Heraldos Negros” en donde se forman cuerpos y/o lentes mineralizados de formas alongadas algo discontinuas.

3.1.7.10. Estructuras formadas

Veta Heraldos Negros: Está formado por una mineralización de sulfuros como Pirita, esfalerita, galena, galena-argentífera, calcopirita; formando estructuras tipo rosario. Con potencias variables desde el 3.50 metros hasta estrangularse; Además en algunas zonas presenta calizas fuertemente fracturadas rellenas con calcita y con sulfuros de zinc y plomo. Los hastiales son calizas bituminosas de la formación Pariatambo.

Stock Work: En la zona de superficie existe una zona de vetilleo entre las fallas Heraldos Negros y Esperanza un ancho de 60 metros, todo emplazado en la formación Jumasha, este vetilleo al pasar a la formación Pariatambo se comienzan a estrangular y empobrecer.

En superficie se observa fracturas con relleno de calcita estas además presenta venillas y diseminaciones de esfalerita y galena separados por brechas de calizas pobres.

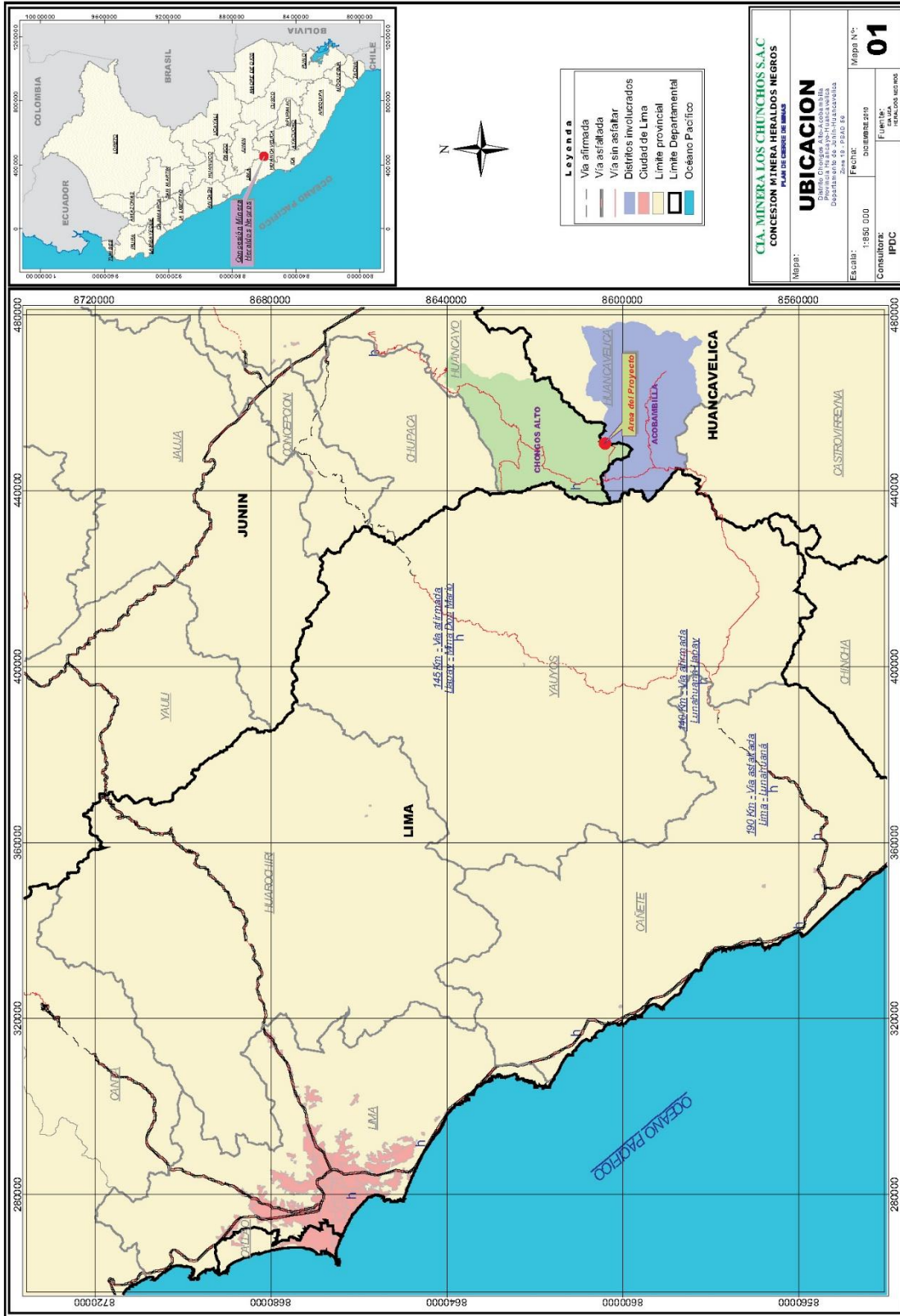


Figura 3 Mapa de Ubicación
 Fuente: propia

3.2. Estructuras mineralizadas

El yacimiento consiste de un relleno de fracturas en los espacios abiertos favorables a lo largo de las fallas “Esperanza” y “Heraldos Negros” en donde se forman cuerpos y/o lentes mineralizados de formas alongadas algo discontinuas.

3.3. Estructuras formadas:

Veta Heraldos Negros: Está formado por una mineralización de sulfuros como Pirita, esfalerita, galena, galena-argentífera, calcopirita; formando estructuras tipo rosario. Con potencias variables desde el 3.50 metros hasta estrangularse; Además en algunas zonas presenta calizas fuertemente fracturadas rellenas con calcita y con sulfuros de zinc y plomo. Los hastiales son calizas bituminosas de la formación Pariatambo.

Veta Bomboncito: Estructura mineralizada emplazada en la falla “Esperanza”, cuya longitud más representativa es en el nivel 940 con 300 metros de exposición, presentándose como bolsonadas y lazos cimoides con potencias que llegan a los 8 metros. Aparentemente con un plunge NW-SE. La mineralización se presenta con esfalerita rubia y galena en matriz abrechoza y panizada, a veces como mineral deleznable.

Stock Work: En la zona de superficie existe una zona de vetilleo entre las fallas Heraldos Negros y Esperanza un ancho de 60 metros, todo emplazado en la formación Jumasha, este vetilleo al pasar a la formación Pariatambo se comienzan a estrangular y empobrecer. En superficie se observa fracturas con relleno de calcita estas además presenta venillas y diseminaciones de esfalerita y galena separados por brechas de calizas pobres.

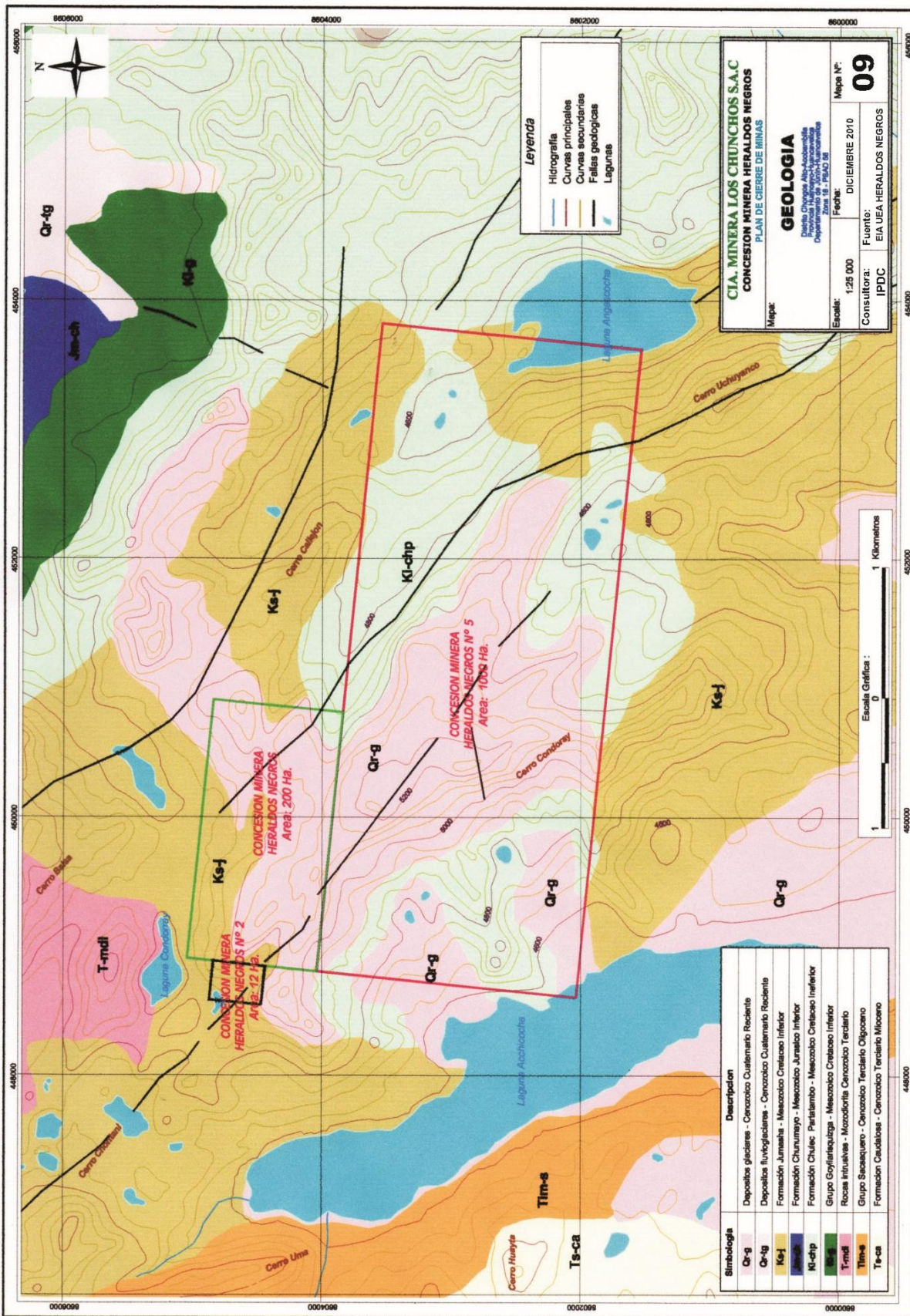


Figura 4: Mapa geológica
 Fuente: Minera los chunchos S.A.C.

3.4. Descripción del yacimiento

En el área de Heraldos Negros, afloran calizas grises y gris claro del mesozoico con rumbo N 24° W y 58° W de buzamiento y rocas volcánicas andesíticaspiritizadas, estas rocas han sido atravesadas por pequeños intrusitos de composición monzonítica, las mismas que han originado la piritación de las rocas adyacentes, estando los depósitos minerales económicos relacionados a éstos intrusivos.

Las formaciones Jumasha y Pariatambo, sobreyacen concordantemente a otras más antiguas formando un anticlinal, abierto con lineamiento andino.

El Nevado Condoray, dentro de Heraldos Negros, el plano axial del anticlinal antedicho fue roto y fallado, formando esencialmente una brecha que aloja a los cuerpos mineralizado entre dos fisuras que son la veta Heraldos Negros y la veta Bomboncito y un sistema conjugado de fracturas transversales que alojan vetillas de calcita con algunos sulfuros. Existe también en este punto un lineamiento transversal coincidente con las vetillas de calcita, que hemos denominado lineamiento “Río Virgen”.

En el flanco noroeste del anticlinal, justamente en el lado noroeste de la laguna Condoray, un Stock Monzoníticaintruye a las calizas de la Formación Jumasha formando una aureola de calcita marmolizadas, de igual modo, un pórfido cuarcífero con intensa disseminación de pirita aflora al este de la laguna Condoray.

El mineral de la UEA Heraldos Negros, se encuentra constituida por bolsonadas distribuidas en dos estructuras principales: Heraldos Negros y Bombocito, con contenido

de Zinc y plomo y algo de cobre, plata y además otros cuerpos mineralizados como stockwork.

3.5. Geología estructural

Estructuralmente La veta Heraldos Negros forma parte de la falla regional “CHONTA”; el cual es una falla regional de alto ángulo, cuya traza de la falla Esperanza coincide, con dicha falla cuyo rumbo vario de N58°W, N60°W, N45°W y N50°W.

Estos tipos de fallas no solo controlan Yacimiento de minerales si también stock de intrusivos y centros volcánicos neógenos.

Las formaciones Jumasha y Pariatambosobreyacen concordante y forman un anticlinal cuyo eje axial fue roto y fallado formando una zona de brecha a donde aloja cuerpos mineralizados entre dos fisuras, veta Heraldos Negros y Veta Esperanza, además existe un sistema transversal de fracturas con relleno de calcita.

3.6. Plan de Minado

La mina es del tipo Polimetálica. La explotación de la mina es subterránea, lo cual implica realizar diferentes actividades como perforación, voladura, acarreo, carguío y Transporte.

El plan de minado contempla disparos que se programan de acuerdo a las necesidades y se toman las medidas necesarias, que se incluyen en el plan de manejo, para minimizar las perturbaciones a las personas y al ambiente.

Durante las voladuras y tareas de carga, descarga y principalmente transporte de mineral y roca estéril, se genera emisiones de polvo. Como medidas de mitigación para

las emisiones de polvo se ha considerado el riego de carreteras y áreas de circulación de equipos y camiones de transporte.

Para la explotación se ha seleccionado el método de corte y relleno ascendente, lo que implica necesariamente, la realización de trabajos preliminares de desarrollo, preparación y la última fase de explotación propiamente dicha.

La perforación se hará específicamente con máquina tipo Jumbo, Jackleg y Stoper.

En la fecha de la presente evaluación se tiene los siguientes niveles de trabajo de exploración y explotación: Nv. 4890, Nv. 4920, Nv. 4930, Nv. 4940, Nv. 4965, Nv. 4980 y Nv. 5010.

Los accesos a la zona mineralizada tienen gradientes negativos inicialmente de 12%, de sección de 3.0 x 3.0 m y longitudes de acuerdo a las distancias de las zonas mineralizadas. Los equipos mineros que se emplean son: Perforadoras manuales y Jumbos, Scooptrams para la limpieza del mineral y acarreo; volquetes para el transporte de mineral hacia la superficie.

El avance de las labores de exploración y desarrollos es realizado con el Jumbo electrohidráulico, perforadoras manuales Jackleg, Scooptrams y Volquetes.

3.7. Ciclo de Minado

a. Perforación

La perforación empleada es mayormente de tipo convencional y mecanizado, para la cual se disponen de perforadoras jackleg, jumbo de un brazo, las mismas que son usadas en los avances de explotación de las diferentes labores.

b. Voladura

En los frentes de avance, se utiliza el arranque del tipo corte quemado con 39 taladros para una sección de 3.0 m x 3.0 m (Jackleg), y 31 taladros para una sección de 3.0 m x 3.0 m (Jumbo).

El carguío de los taladros se realiza mediante cartuchos de dinamita o emulsión como cebo, Carmex (mecha armada) y mecha rápida para el encendido de la malla de voladura y la columna explosiva es llenada con anfo o emulsión de acuerdo al tipo de roca.

c. Limpieza y acarreo

Para la limpieza de mineral en los tajos convencionales, se utiliza un Scooptram de 2.5 yd³ hacia los echaderos de mineral. Para la limpieza de mineral en los tajos mecanizados y para el acarreo de mineral hacia las cámaras de acumulación y echaderos se utiliza scooptram de 3.5 y 4.2 yd³.

d. Transporte

El transporte de mineral de interior mina a superficie para el sistema convencional y mecanizado es realizado por volquetes de 25 tm.

e. Sostenimiento

Básicamente según la clasificación Geomecánica, el macizo rocoso corresponde a una roca tipo RII, con resistencia a la compresión >250 MPa y con un RMR que varía entre 50 a 80.

La fortificación de las excavaciones se realiza con cuadros de madera, puntales de seguridad, también se utilizan cimbras y mallas con Split Set.

f. Relleno

Se utiliza relleno detrítico proveniente de la preparación de los tajos y este se utiliza para estabilizar las paredes del tajo y su vez como piso para la perforación.

3.8. Procedimiento geomecanico

El trabajo realizado es la por Compañía Minera San Valentín S.A. (CMSV), Unidad Minera Heraldos Negros es la “Evaluación y Caracterización Geomecánica de los Niveles 4890 y 4930 de la Mina Heraldos Negros”.

Profesionales de GCI realizaron la Evaluación y Caracterización Geomecánica de las labores en ejecución de los niveles 4890 y 4930 de la mina Heraldos Negros mediante trabajo de campo que consistió en realizar mapeo de la caracterización de la roca para la determinación de su calidad, el logueogeomecánico de algunos taladros de sondaje DDH para la zonificación geomecánica, el análisis estereográficos de los dominios estructurales para la determinación del tipo de cuñas en las labores y determinación de los factores influyentes de la mina. Con esta información se elaboró el diseño de la tabla GSI para ser aplicado en la mina.

El actual escenario de bajos precios de los minerales en el mercado internacional, obliga a que las mineras optimicen sus recursos para ayudar a la viabilidad operativa de la mina. En el caso del sostenimiento de mina, GCI tiene como principio el siguiente lema: “El mejor sostenimiento debe ser el Necesario, Suficiente y Oportuno”.

- El Necesario lo determina la calidad de roca.
- El Suficiente lo determina la vida útil de la labor.

- El oportuno lo determina el tiempo de auto soporte de acuerdo a la realidad operacional de cada mina como de sus factores influyentes.

Toda mina debe establecer el estándar de la vida útil de las labores según su realidad operacional para ajuste del sostenimiento.

Con la aplicación de este lema se busca no dimensionar en demasía el sostenimiento siendo un aporte importante en la optimización de la operación.

El Área de Geomecanica será responsable del monitoreo geotécnico; elaboración de planos y mapeos de frentes; evaluación de labores críticas; y de la optimización y diseño del sostenimiento de la mina, además de establecer el estándar de la vida útil de las labores según su realidad operacional para ajuste del sostenimiento.

Las rampas y accesos de la mina se encuentran emplazadas dentro de un ambiente geológico de rocas sedimentarias (calizas), siendo las calizas Jumasha (calizas marmolizadas) más competentes que las calizas Pariatambo (calizas carbonosas bituminosas).



Figura 5: Testigo con perforación diamantina
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

De un Stock monzodiorítico que por metamorfismo de contacto formó una aureola de calcita mármolizada. Este fenómeno ha originado que las calizas Jumasha tenga un buen entrapamiento de roca, por tal motivo es una fortaleza para la estabilidad de la labor.

Donde se observa un buen entrapamiento de la caliza Jumasha. Nótese la caña de perforación, los Factores Influyentes en la estabilidad de la mina Heraldos Negros son el agua en exceso y el grado intenso de fracturamiento de la roca en la región.

El agua es un agente erosivo por excelencia, además, las calizas de la mina tienen un relleno de calcita, esta calcita al ser higroscópica tiende a perder sus propiedades físicas con la saturación del agua, debilitando la roca, además de lavar los contactos de la estratificación, con un alto potencial de generar accidentes por caída de roca si estas no están debidamente sostenidas.



Figura 6: Observacion goteras en la labor

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Se observa goteras en la labor. Esto nos indica permeabilidad secundaria lo que evidencia el lavado del relleno de las fracturas.

El grado de fracturamiento intenso en las calizas se deben al tectonismo regional típico de los andes peruanos que ha originado los plegamientos y fallamientos de la región. Este intenso fracturamiento genera bloques ortogonales que son propensos a la caída de roca. Dependiendo de la formación del tipo de cuñas se debe definir su sostenimiento

La mineralización de la mina Heraldos Negros se localiza en el eje de un anticlinal que sufrió rotura y fallamiento formando una brecha que aloja a los cuerpos mineralizados entre dos fisuras que son la veta Heraldos y la veta Bomboncito (antes la veta Esperanza). Entre estos 2 cuerpos mineralizados existen fallas tensionales con mineralización que alojan vetillas de calcita con algunos sulfuros.

Los tipos de roca encontrados son calizas de la formación Jumasha y Pariatambo, brechas calcáreas, brecha de falla y fallas.



Figura 7: Perforación con perforación diamantina
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.



Figura 8: Perforación con perforación diamantina.
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

La roca mineral se encuentra emplazada dentro de la falla Esperanza, por lo tanto, se trata de una brecha mineralizada. La falla está dentro de la caliza bituminosa de la formación Pariatambo, tiene consistencia terrosa, de color negra, comportándose como una roca plástica, acentuándose aún más, con la presencia del agua, dándole propiedades expansivas. El promedio de su calidad es de valores < 30 RMR. Se caracteriza por no presentar estratificación, comportándose como un sólido sin orientación y rumbo. El mayor factor influyente del mineral es el exceso del agua que por sobresaturación lo convierte en un material bastante deleznable y suelto con peligro de flujo de mineral.

3.9. Método geomecánico

La geomecánica es una ciencia empírica que trata el tema de mecánica de rocas y el comportamiento de los materiales cohesivos en procesos de esfuerzos y deformaciones. Alternativamente, la geotecnia es una extensión de la mecánica de suelos y el comportamiento de los materiales no cohesivos, tradicionalmente llamado suelos.

En sus inicios (años 1930), los conceptos teóricos apuntaban a una formulación analítica simple como criterio de ruptura (Mohr-Coulomb), y una formulación elástica

para explicar la deformabilidad de ellas cuando se le aplican fuerzas repartidas sobre su superficie. Tales esfuerzos se suponían únicamente como resultado de la acción gravitacional.

Con el advenimiento de la minería subterránea en rocas duras, los conceptos teóricos de usos y costumbres de la minería europea se adoptaron sin cuestionamiento.

La importancia radica en la utilización de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos a fin de obtener estimaciones iniciales de la resistencia y deformación del macizo rocoso. Su aplicación está destinado a responder preguntas como:

¿Qué criterios utilizar para saber si las decisiones tomadas son lógicas?

¿Cómo saber si la Excavación a ejecutar es demasiado grande o si el sostenimiento aplicado es escaso o sobrante?

Las clasificaciones geomecánicas son un método de la Ingeniería Geológica que permite evaluar el comportamiento de los macizos rocosos, y de aquí, estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento que requiere una labor subterránea.

La utilización de las clasificaciones geomecánicas es de ayuda rápida y ágil para la determinación de calidades de macizos y se precisa de gente preparada para definir sus valores. Estos valores deben ser ajustados a ensayos de laboratorio posteriores, esfuerzos in situ y propiedades de la masa rocosa.

Existen muchas clasificaciones geomecánicas y se deberá aplicar la que mejor se ajusten a las condiciones naturales y realidad de la mina.

Para el caso de la Mina Heraldos Negros, las clasificaciones geomecánicas más útiles, considerando el entorno macro de la operatividad de la mina (mina superficial, tramos con problemas de expansión e influencia del agua), para la realización de la caracterización de la roca (mapeo de campo), tomadas por el personal de GCI fueron:

- RMR (CSIR) de Bieniaswky
- Q (NGI) de Barton
- GSI de Hooek

Unwedge se debe utilizar para analizar el fracaso de cuña alrededor de excavaciones construidos en roca dura, donde discontinuidades son persistentes, y donde no se produce fallo inducido por estrés. Se supone que los desplazamientos tienen lugar en las discontinuidades, y que las cuñas se mueven como cuerpos rígidos sin deformación interna o formación de grietas.

Unwedge se debe utilizar para analizar las cuñas alrededor de excavaciones construidos en roca dura, donde discontinuidades son persistentes, y donde no se produce fallo inducido por esfuerzo. Se supone que los desplazamientos tienen lugar en las discontinuidades, y que las cuñas se mueven como cuerpos rígidos sin deformación interna o formación de grietas.

Superficies de discontinuidad se supone que son persistentes y se extiende a través del volumen de interés, por lo tanto, las discontinuidades que definen la cuña no terminan dentro de la región donde se forman las cuñas. La implicación es que no se requiere nuevo agrietamiento en el análisis de movimiento de cuña.

El análisis por defecto se basa en la suposición de que las cuñas están sometidos a solamente carga gravitacional, debido al peso de cuña (es decir, el campo de esfuerzos en

la masa de roca que rodea la excavación no se tiene en cuenta). Si bien esta suposición conduce a alguna inexactitud en el análisis, el error es generalmente conservadora, lo que lleva a un factor inferior de seguridad. Sin embargo, puede incluir el efecto del esfuerzo in situ en las cuñas con el esfuerzo de campo.

Unwedge siempre calcula inicialmente las cuñas de tamaño máximo que pueden formar alrededor de la excavación. Para escalar hacia abajo el tamaño de las cuñas de acuerdo con las observaciones de campo reales (por ejemplo, observaron longitudes traza conjunta), utilizar la opción de escala en las cuñas.

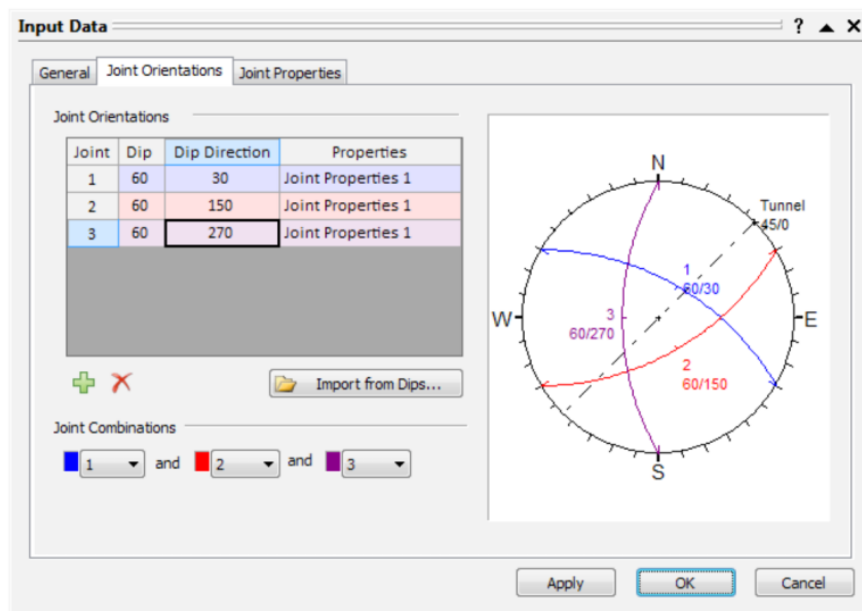


Figura 9: longitudes traza conjunta
Fuente. Compañía minera San Valentín S.A.

Note la estereonet a la derecha del cuadro de diálogo, que muestra los grandes círculos correspondientes a los datos de orientación conjunta actuales. También tenga en cuenta que el túnel del eje de orientación (línea punteada) se visualiza en la estereonet. El que también se puede ver desde el menú desplegable de la barra de herramientas.

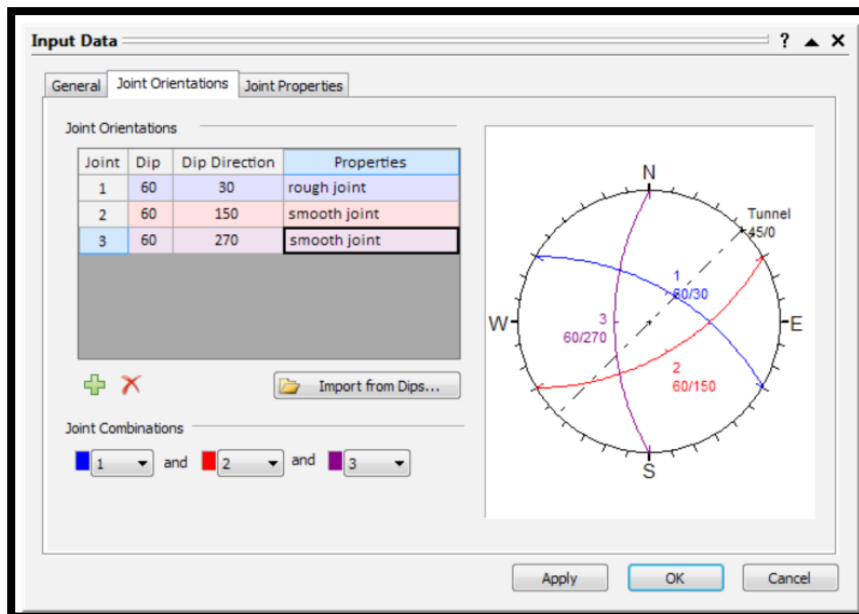


Figura 10: análisis de la estabilidad de cuña
Fuente. Elaboración propia

Cuando se utiliza el análisis determinista, calcula automáticamente el análisis de la estabilidad de cuña cuando se introduce o se modifica de datos, lo que en general, no es necesario seleccionar el calcular opción. Mientras la sección de apertura se ha definido, los resultados pueden ser vistos de inmediato en cualquier momento.

El 3D Wedge ver suele ser la primera pantalla que desee mirar. Para cambiar a la vista 3D de la cuña, seleccione la opción 3D Wedge Vista desde el menú desplegable de la barra de herramientas, o desde el menú ver:

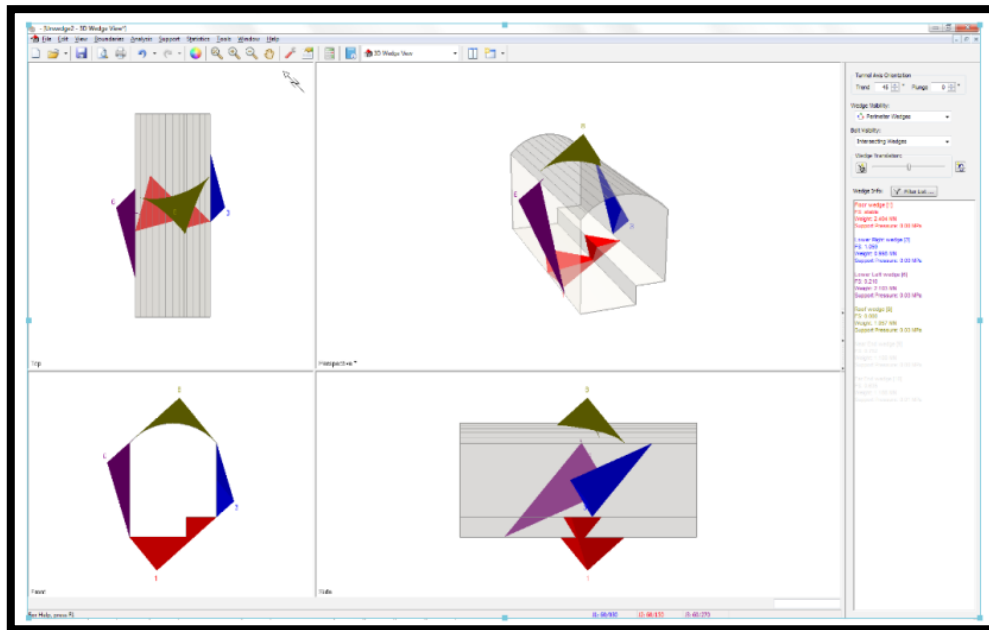


Figura 11: El 3D Wedge Ver 4 presenta vistas del modelo
Fuente. Elaboración propia

Como se puede ver, el 3D Wedge Ver 4 presenta vistas del modelo: Una vista en perspectiva de 3 dimensiones; tres vistas ortogonales, en este caso superiores, frontales y laterales de la excavación. Por defecto, toda la posible cuña perimetral va a abrir la cuña 3D View. Ahora vamos a discutir algunas de las opciones de visualización y los accesos directos de la cuña 3D View. Para obtener más información, consulte la Unwedge temas de ayuda.

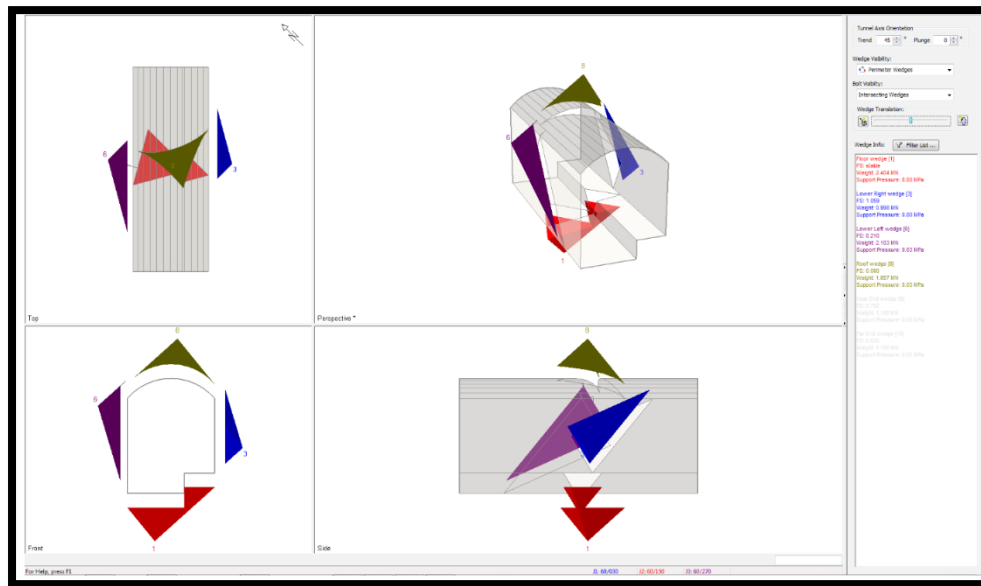


Figura 12: Cuñas se alejaron de la excavación
Fuente. Elaboración propia

En la excavación de túneles los problemas de inestabilidad frecuentemente son controlados por la presencia de discontinuidades tales como fallas, zonas de cizalla, planos de estratificación y grietas; la intersección de estas estructuras geológicas puede liberar bloques o cuñas que caerán o deslizarán por la superficie expuesta de la excavación. Debido a lo anterior es muy importante la correcta interpretación de las características geológico-estructurales en el macizo rocoso, seguido de un estudio de bloques y cuñas que pueden ser liberados al abrir la excavación; la identificación y visualización de ellos es la parte más importante de este tipo de análisis. Posteriormente se podrá evaluar la estabilidad de estos bloques y cuñas, así como el diseño del refuerzo para la estabilización de los mismos.

Los pasos a seguir para este tipo de análisis son los siguientes:

Determinación de las características geológico-estructurales de los sistemas importantes de discontinuidades (echado promedio y dirección del echado).

Identificación de cuñas o bloques potencialmente deslizables, y que pueden fallar por el techo, el frente o paredes de los túneles.

Cálculo del Factor de Seguridad (F.S.) de las cuñas o bloques potencialmente deslizables.

Determinación de la cantidad de refuerzo requerido para que el F.S. de las cuñas o bloques potencialmente deslizables alcance niveles aceptables de estabilidad.

El tamaño y forma de las cuñas potencialmente deslizables alrededor de un túnel dependen del tamaño, forma y orientación de la excavación; y también de la orientación de los sistemas principales de las discontinuidades.

En el análisis se determinan las cuñas máximas posibles que deberán tomarse en cuenta conservadoramente, ya que las cuñas formadas en el macizo rocoso estarán limitadas por la persistencia y espaciamiento de las discontinuidades.

Por otro lado, los tratamientos en el túnel deben ser suficientes para soportar todo el peso de las cuñas o bloques potencialmente inestables. Si se considera que la resistencia actuante es la residual; el F.S. debe ser mínimo 1,3 para túneles temporales y 1,5 para túneles permanentes.

Para analizar la estabilidad del trazo corregido del túnel de desvío (alternativa 2), por formación de cuñas a lo largo del túnel debido a la presencia de las estructuras geológicas, se utilizó como base la información contenida en todas las secciones geológicas geotécnicas, así como la información geológica obtenida en el socavón 1 perforado en la ladera de la margen izquierda.

Se revisó la posible formación de cuñas con los respectivos sistemas de discontinuidades en todas las secciones señaladas, pero por brevedad, para este estudio el análisis se divide en tres partes considerando el cambio de la orientación de la excavación. En la primera se presenta el análisis de una sección representativa del tramo del túnel cercano al portal de entrada, en la segunda se presenta el análisis de una sección representativa del tramo recto del túnel de desvío y en la tercera se presenta el análisis de una sección representativa del tramo del túnel cercano al portal de salida. Para el análisis por cuñas se utilizó el programa Unwedge (Rocscience Inc. 2004b).

3.10. Población y Muestra del Estudio

3.10.1. Población

La población estará constituida por las labores de desarrollo, preparación y de explotación de la minera Heraldos Negros para determinar la evaluación y control del macizo rocoso, que permitirá la caracterización y características de la roca en cuanto a su condición de estabilidad.

3.10.2. Muestra

la unidad de análisis estará constituida por los datos de campo obtenidos en las labores de las vetas Heraldos Negros y Vanessa, que son zonas brechadas entre los niveles 4980 al 4890, lugares en las cuales ejecutan labores mineras de desarrollo, preparación de explotación de la mina Heraldos Negros

3.10.3. Metodología

Se trata de una investigación aplicada de la geomecánica para solucionar el problema de la caída de las rocas baja y del mismo mineral en las labores de preparación, desarrollo y explotación describiendo en cada caso la evaluación y el control; y de aspecto transversal en razón a que se utilizará los conocimientos del adelanto tecnológico en materia de control de riesgos que evitará los accidentes por caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. – Huancavelica.

3.10.4. Materiales e instrumentos

Los instrumentos de investigación que fueron utilizados esclerómetro prueba de Franklin que permitió hacer la prueba de rebote en el macizo rocoso y del mineral y la determinación indirecta de la resistencia de la roca y del macizo rocoso en las labores mineras de la zona de muestreo y en el caso de rocas incompetentes se hizo un muestreo para ser ensayados en el laboratorio por compresión y determinación de las propiedades físicas de la roca y del mineral de la veta.

3.10.5. Técnicas de procesamiento y análisis

Para la tesis se procedió lo siguiente modo:

- levantamiento litológico estructural de las estadías de estudio mediante el método de “Detail line” determinando las características mecánicas del macizo rocoso y vetas.
- Procesamiento de los datos para obtener la información de la caracterización de las rocas y macizo rocoso como RMR, Q y GSI, para la caracterización del macizo rocoso.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Antecedentes

De la revisión de la información existente se encontró la existencia de estudios geomecánicos, del método de minado, previos: El primero data del año 2014, en donde la veta en explotación era Heraldos Negros, desde el nivel 4980 al 4890, la cual tenía las siguientes características: Buzamiento de la veta 72° , RMR caja Techo: 61, RMR Mineral: 53, RMR caja piso: 58. En este trabajo recomienda seleccionar el método de minado corte y relleno Ascendente como método favorable para las condiciones de la veta Heraldos Negros, para esto hizo uso del Método de D. E. NICHOLAS. Asimismo, determinó las máximas aberturas para las labores, según la calidad del macizo rocoso, siendo los resultados:

Niveles (ESR = 1.6)

Para: RMR = 75 (F/MB)

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((75-25)/22)} = 15.53$

Para: RMR = 70 (MF/MB)

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((70-25)/22)} = 12.37$

Para: RMR = 67 (MF/B)

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((67-25)/22)} = 10.80$

Para: RMR = 65 (F/B)

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((65-25)/22)} = 9.86$

Evaluación y Caracterización Geomecánica de labores subterráneas

Galerías (ESR = 1.6)

Para: RMR = 60, GSI = MF/B

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((60-25)/22)} = 7.85$

Para: RMR = 55, GSI = MF/B

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((55-25)/22)} = 6.26$

Para: RMR = 52, GSI = MF/R

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((52-25)/22)} = 5.46$

Para: RMR = 50, GSI = MF/R

Ancho máximo sin sostenimiento = $1.6 \times e^{((50-25)/22)} = 4.98$

Chimeneas (ESR = 2)

Para: RMR = 60, GSI = F/B

Ancho máximo sin sostenimiento = $2 \times e^{((60-25)/22)} = 9.82$

Para: RMR = 55, GSI = MF/B

Ancho máximo sin sostenimiento = $2 \times e^{((55-25)/22)} = 7.82$

Para: RMR = 52, GSI = MF/R

Ancho máximo sin sostenimiento = $2 \times e^{((52-25)/22)} = 6.82$

Para: RMR = 50, GSI = MF/R

Ancho máximo sin sostenimiento = $2 \times e^{((50-25)/22)} = 6.23$

En el segundo informe, elaborado en febrero del año 2016 por parte de la compañía minera, entre los niveles 4890 y 4930, en la veta Heraldos Negros, se concluyó, mediante el método cuántico de Nicholas, que es un acierto el uso del corte y relleno ascendente para esta veta.

De estos antecedentes se puede afirmar que el método de minado recomendable para la veta, cuasi vertical, Heraldos Negros es el corte y relleno ascendente, así también queda definido las aberturas máximas de las labores permanentes según calidad de roca. Sin embargo, queda por definir el método de minado para la brecha de la veta Heraldos cuyo buzamiento oscila entre 30°-40° y para la veta tensional Vanessa cuyo buzamiento oscila entre 20°-25°

4.2. Evaluación de la rampa (-) 300, nivel 4890

Para la evaluación de la Rampa (-) 300 se mapearon siete (07) estaciones los cuales nos permitieron caracterizar, calificar y su posterior clasificación del macizo en base al RMR, Q y GSI.

Con los resultados obtenidos se puede sustentar el sostenimiento y zonificación

ítem	Nº Pto.	Labor	RMR	Q	GSI
1	Punto 1	RC(-) 300	54	1.80	F/B - B
2	Punto 1.1	RC(-) 300	52	1.65	F/B
3	Punto 2	RC(-) 300	50	1.35	F/B
4	Punto 2.1	RC(-) 300	49	1.35	F/B
5	Punto 3	RC(-) 300	44	1.10	F/B
6	Punto 3.1	RC(-) 300	42	0.98	F/B
7	Punto 4	RC(-) 300	43	1.35	MF/B

Figura 13: Litoestructural de la Rp(-) 300.
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

El siguiente cuadro muestra los valores obtenidos del mapeo de campo realizados en la Rp (-) 300 del nivel 4890

La evaluación de cada punto se adjunta en el anexo II de Mapeo de campo. El resultado de la zonificación se aprecia en el plano N° 01.

Análisis del Punto 1:

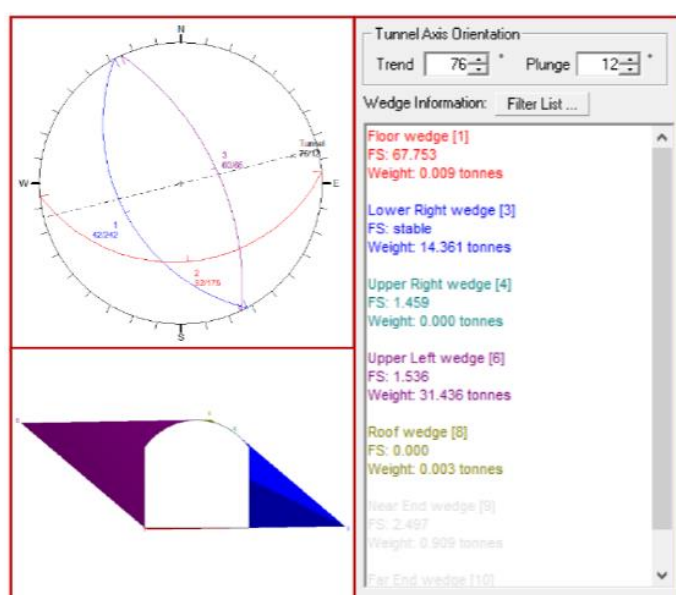


Figura 14: Cuña mordida

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña mordida, los hastiales tienen factor de seguridad de 1.5, en bóveda se forman trozos de roca. Labor auto estable, control de desate en bóveda para eliminar los trozos de roca.

Análisis del Punto 1.1:

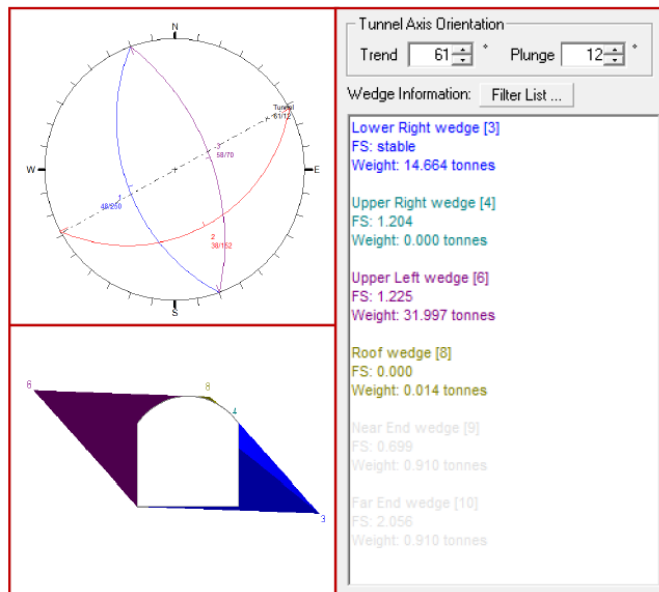


Figura 15: Cuña mordida
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña mordida, factor de seguridad de 1.2 y en bóveda se forman bloques de roca, labor requiere sostenimiento en bóveda y hastial izquierdo en forma puntual o donde requiera, control de desate.

Análisis del Punto 2:

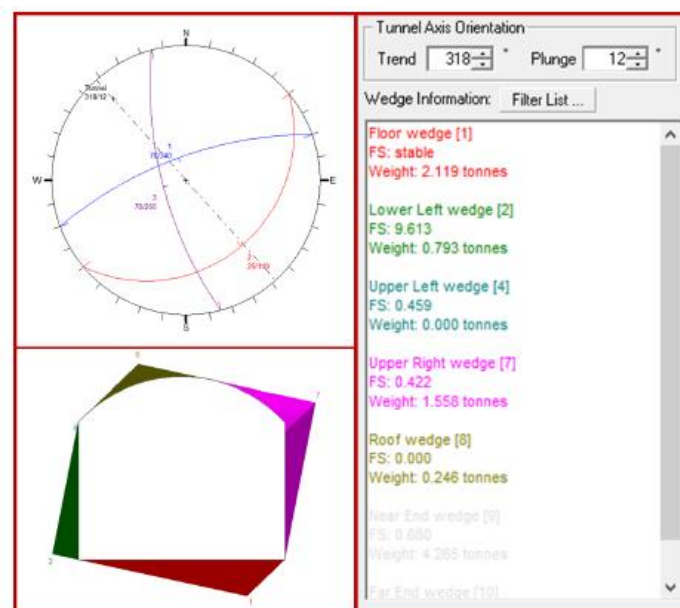


Figura 16: cuña echada
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña echada, hacia el hastial derecho con factor de seguridad de 0.4 y en bóveda se forman bloques de roca, labor requiere sostenimiento con pernos puntuales de Barra Helicoidal de 7 pies, instalados en bóveda y hastial derecho donde requiera. Control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis del Punto 2.1:

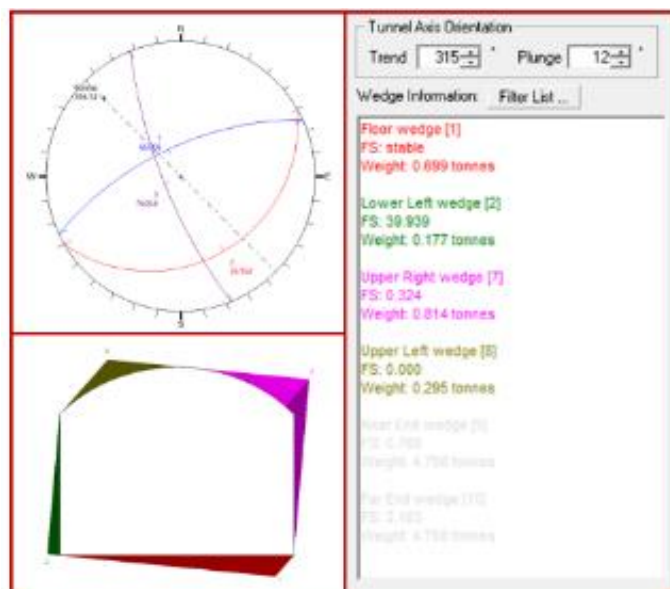


Figura 17: Cuña mordida

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña echada, factor de seguridad de 0.3 y hacia los extremos de la bóveda se forman bloques de roca. Labor requiere sostenimiento con pernos puntuales de barra helicoidal de 7 pies, instalados hacia los extremos de la bóveda y donde requiera. Control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis del Punto 3:

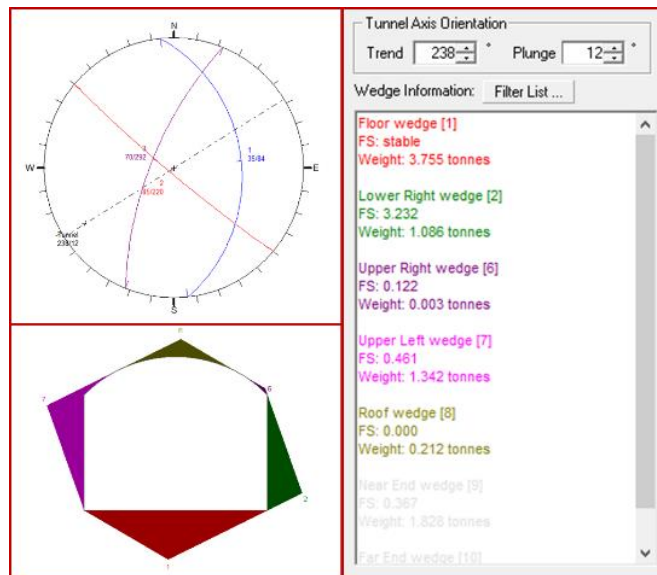


Figura 18: Cuña abierta
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña abierta, factor de seguridad de 0.4, en bóveda y hastiales se forman bloques de roca. Labor requiere sostenimiento con pernos sistemático de barra helicoidal de 7 pies, espaciados en filas a 1.5 m en rombos de 3 x 4. Desate de roca en forma periódica.

Análisis del Punto 3.1:

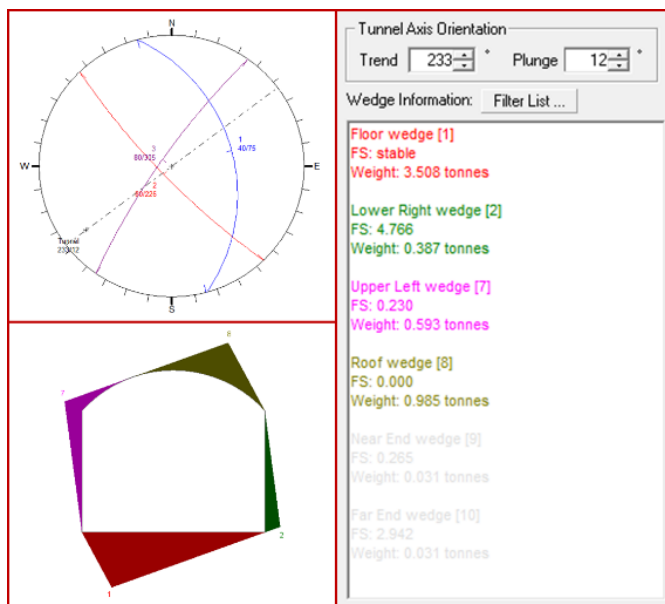


Figura 19: Factor de seguridad de 0.2.
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña abierta, factor de seguridad de 0.2, en bóveda y hastiales se forman bloques de roca. Labor requiere sostenimiento con pernos sistemático de barra helicoidal de 7 pies, espaciados en filas a 1.5 m en rombos de 3 x 4. desate de roca en forma periódica.

Análisis del Punto 4:

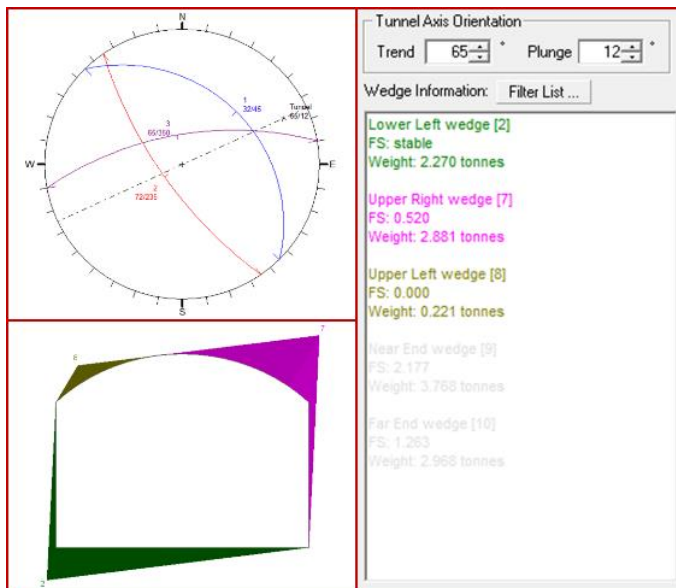


Figura 20: Factor de seguridad de 0.5
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que forman cuñas mordidas, factor de seguridad de 0.5 y hacia los extremos de la bóveda se forman bloques de roca. Labor requiere sostenimiento con pernos sistemático de barra helicoidal de 7 pies, espaciados en filas a 1.5 m en rombos de 3 x 4. control requerido: desate de roca en forma periódica.

4.3. Diseño y aplicación de la tabla GSI

La tabla GSI es un tipo de clasificación geomecánica de gran versatilidad y fácil de usar por el personal de mina, fue propuesto por Hoek y colaboradores en el año de 1996.

La implementación en las minas del Perú data de principios de la década del 2,000 siendo el Ing. Carlos Vallejo (Consultor Geomecánico) su principal difusor.

El problema de su aplicabilidad en el Perú radicaba en que no se tenía estandarizado los conceptos de Estructuras (grado de fracturamiento) y condición superficial de la roca.

El objetivo principal del taller fue el uniformizar los conceptos de estructura de roca (grado de fracturamiento) y condición superficial de la roca, de tal manera que sea de fácil comprensión para los trabajadores.

Como antecedentes se tenía que en las supervisiones realizadas a diferentes Unidades Mineras, se comprobaron que existían diferentes conceptos e interpretaciones en denominar el grado de fracturamiento y condición de roca; diferentes colores de criticidad, relacionado con el sostenimiento y ejemplos poco prácticos, no existiendo una normativa que pudiera uniformizar los criterios para su descripción.

4.4. Principio de aplicación

Para diseñar la tabla GSI adecuada para cada Unidad Minera es importante reconocer cuales son los factores influyentes a atenten contra la estabilidad de la mina y adaptar a la tabla. Una roca pobre como descripción es igual en cualquier mina como también su condición, lo que es diferente es el peso del sostenimiento y el tiempo de auto soporte que se le debe dar de acuerdo a los factores influyentes propios de cada mina.

Como ejemplo podemos mencionar que una roca calificada como MF/R en una mina profunda (> 1000 m de profundidad) se comporta diferente que otra mina superficial (< 500 m) en igual calidad de roca labor. Mientras que el factor influyente de la mina profunda es la sismicidad inducida, en la mina superficial no, por consiguiente, el peso del sostenimiento deberá ser diferente.

Para el caso de la mina Heraldos Negros la descripción se ajusta a lo siguiente:

4.5. Grado de fracturamiento

FRACTURADA (F): Bien trabada, poco disturbada. Bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. Espaciamiento entre diaclasas > 20 cm. RQD = 55 – 75 %. (6 a 10 fracturas / m²).

MUY FRACTURADA (MF): Moderadamente trabada y disturbada. Bloques angulosos formados por más de 3 sistemas de discontinuidades. Espaciamiento entre diaclasas de 6 a 20 cm. RQD = 25 – 50 %. (11 a 20 fracturas / m²).

INTENSAMENTE FRACTURADA (IF): Plegamiento y fallamiento. Muchas discontinuidades interceptadas formando trozos angulosos e irregulares. Espaciamiento entre diaclasas < 6 cm. RQD < 25 %. (más de 20 fracturas / m²).

TRITURADA (T): Macizo rocoso extremadamente roto y/ fragmentado, fácilmente disgregable, angulosos y redondeados en matriz arcillosa. (sin RQD).

4.6. Condición superficial

BUENA (B): Resistente, ligeramente alterada, discontinuidades rugosas, presenta superficies con oxidación, aberturas < 1 mm. Dureza R4 (50 – 100 MPa). Se rompe con varios golpes de picota.

REGULAR (R): Moderadamente resistente y alterada, discontinuidad ligeramente rugosa, moderadamente ondulada, abertura > 1 mm con relleno compacto. Dureza R3 (25 – 50 MPa). Se rompe con un golpe firme de picota.

POBRE (P): Poco resistente y muy alterada, discontinuidad lisas o planas o con estriaciones, aberturas de 1 a 5 mm., relleno blando o con fragmentos de roca. Dureza R2 (5 – 25 MPa). Se raya fácilmente con la navaja y/o se indenta.

MUY POBRE (MP): Blanda, descompuesta, superficie pulida y estriada, abertura > 5 mm, relleno de fragmentos en matriz blanda y panizada. Dureza R1 (< 5 MPa). Se disgrega con la fuerza del puño.

De los mapeos y logeos geomecánicos realizados en la mina no se han hallado roca con grado de fracturamiento Levemente Fracturada (LF) y condición de roca Muy Buena (MB), por lo que su descripción no ha sido considerada en la tabla.

Tabla GSI para la mina Heraldos Negros, esta versión debe ser mejorada y/o actualizada después de un tiempo de aplicación. El rango de aplicación de esta tabla es para labores permanentes de 3 a 4 m, y labores temporales de 2.5 hasta 4.5 m. Los valores RMR89 son referenciales y el tiempo de auto soporte (TAS) se calculó ajustando el ábaco de tiempo de Bieniaswky con la realidad operacional de la mina.


 <p style="text-align: center;">COMPAÑÍA MINERA SA VALENTIN S. A. U. E. A. HERALDOS NEGROS SOSTENIMIENTO DE LABORES SEGÚN CARTILLA GEOMECANICA GSI</p>					
<p>SOSTENIMIENTO LABORES PERMANENTES APERTURAS DE 3.0 A 4.0 m DE SECCION</p> <p>SOSTENIMIENTO DE LABORES TEMPORALES APERTURAS DE 2.5 a 4.5m DE SECCION</p> <p>A SIN SOSTENIMIENTO (control de sección)</p> <p>B PREVIO SISTEMATICO</p> <p>C PREVIOS – MALA ELECTRO SOLDADA</p> <p>D SHOCRETE REFORZADO</p> <p>C SIMBAS O CERCHAS MATERIALES</p>	CONDICION SUPERFICIAL	<p>BUENA (B) ROCA COMPETENTE LIGERAMENTE ALTERADA RUGOSA RELLENO CON CARDACION APERTURA = 1mm FGF DUREZA R4 (RCU 50 A 100MPa) <i>(SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)</i></p>	<p>REGULAR(R) ROCA MODERAMENTE RESISTENTE Y ALTERADA DUREZA LIGERAMENTE RUGOSA RELLENO COMPACTO ABERTURA > 1mm (RCU5 a 25MPa) <i>(SE ROMPE CON UN GOLPE FIRME DE PICOTA Y/O BARRETILLA)</i></p>	<p>POBRE (P) ROCA POCO COMPETENTE MUY ALTERADA RUGOSA LISA RELLENO SUAVE ABERTURA DE 1 – 5 mm, dureza (RCU 5 a 25PMa)</p>	<p>MUY POBRE (MP) ROCASIN COVERTURA DESCOMPUESTA ESPEJO DE FALLA RELLENO DE PANSO ABERTURA MAYOR >5mm (RCU < 5MPa) <i>(SE DESBROCA CON LA FUERZA DE PUÑO)</i></p>
CONDICION ESTRUCTURAL					
<p>FRACTURADO (F) BIEN TRATADA POCO DISCURBADA ESPACIAMIENTO > 20cm FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUALIDADES RQD 56 – 75% <i>(0 a 10 FRAT PORLIMETRO OJARADO)</i> <i>(ELOQUES ORTOGONALES)</i></p>		A FAB A	A FAB B	A FAB C	-
<p>MUY FRACTURADA (MF) MODERADAMENTE TRABADA Y DISTUR. BADA ESPACIAMIENTO DE 6 A 20cm FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUALIDADES RQD 25 – 50% <i>(11 A 20 FRACT POR METRO CUADRADO)</i> <i>(BLOQUES PEQUEÑOS ANGULOSOS)</i></p>		A FAB A	A FAB A	A FAB A	-
<p>INTENSAMENTE FRACTURADA (IF) PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO ESPACIAMIENTO < 5CM FORMADOS POR CUATRO SISTEMAS DE DISCONTINUALIDADES RQD >25% <i>(11 A 20 FRACT POR METRO CUADRADO)</i> <i>(TROZOS PEQUEÑOS ANGULOSOS DE IRREGULARES)</i></p>			A FAB A	A FAB A	A FAB A
<p>TRITURADA O BRECHADA (t) MACIZOROCOZO EXTREMADAMENTE ROTA Y/O FRAGMENTADA FASILMENTE DISGREGABLE ANGULOSOS Y REDONDEADOS EN MATRIZ ARCILLOSA RQD SIN RQD <i>(FRAGMENTOS FASILMENTE DISGREGABLES)</i></p>				A FAB	A FAB

Figura 21: Cartilla geomecanica Mina Heraldos Negros
Fuente. Compañía minera San Valentín S.A.

4.7. Evaluación de las labores en ejecución de los NV 4890 NV 4930

Para la evaluación de los niveles 4890 y 4930 se mapearon veinticinco (25) estaciones los cuales nos permitieron caracterizar, calificar y su posterior clasificación del macizo en base al RMR, Q y GSI.

4.8. Caracterización del macizo rocoso

Caracterización geomecánica Veta Brecha Heraldos Negros (Asociada a los Tajos 990, 830 y 742).

Se ha caracterizado el macizo rocoso de las cajas (Techo y Piso), así también el mineral encontrando los siguientes valores según las clasificaciones geomecánica más usadas.

Tabla 10: caracterizado el macizo rocoso de las cajas (Techo y Piso)

Zona	Cajas	Mineral
Caracterización Geomecánica	Zona antes y después de comunicación	Zona de comunicación
GSI =	F/R	F/R
RMR =	53	51
Q =	2.4	2.4

Fuente: Mapeo Geomecánico de labor

Características geométricas del yacimiento y determinación del método de minado.

Utilizando el método de Nicholas,Modificado, necesitamos conocer los siguientes parámetros, para la veta brecha Heraldo negros y la veta tensional Vanessa

- a) Geometría y grado de distribución
- b) RMR (Modificado)
- c) Rock SubstanceStrength o factor de Competencia (RSS)

4.9. Veta brecha Heraldos Negros

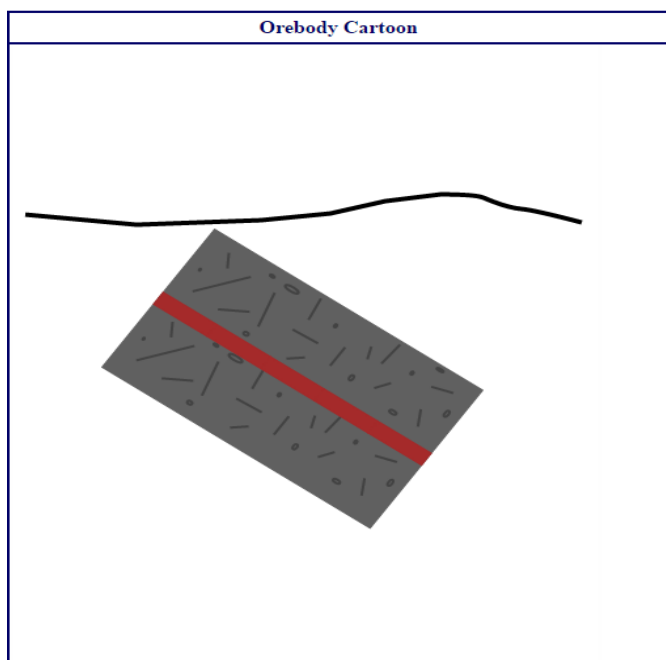


Figura 22: Veta brecha Heraldos Negros
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Orebody Characteristics	
Geometry and Grade Distribution	
General Shape:	Platy-Tabular ▼
Ore Thickness:	Very Narrow (less than 3m) ▼
Ore Plunge:	Intermediate (20-55deg) ▼
Grade Distribution:	Uniform ▼
Depth:	Shallow (0-100m) ▼
Rock Mass Rating (after Bieniawski 1973)	
Ore Zone:	Medium (40-60) ▼
Hanging Wall:	Medium (40-60) ▼
Footwall:	Medium (40-60) ▼
Rock Substance Strength (unconfined compressive strength / principal stress)	
Ore Zone:	Strong (more than 15) ▼
Hanging Wall:	Strong (more than 15) ▼
Footwall:	Strong (more than 15) ▼

Figura 23. Orebody Characteristics
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Figura 24. Minig Method Rankings

Mining Method Rankings
(best)
Open Pit (35)
Room and Pillar (33)
Shrinkage Stopping (32)
Cut and Fill Stopping (29)
Longwall Mining (25)
Sublevel Stopping (23)
Top Slicing (16)
Square Set Stopping (11)
Sublevel Caving (-24)
Block Caving (-31)
(worst)

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Por las condiciones topográficas de superficie, presencia del glaciar y acantilados, se considera como la mejor opción el método de cámaras y pilares.

4.10. Veta Vanessa

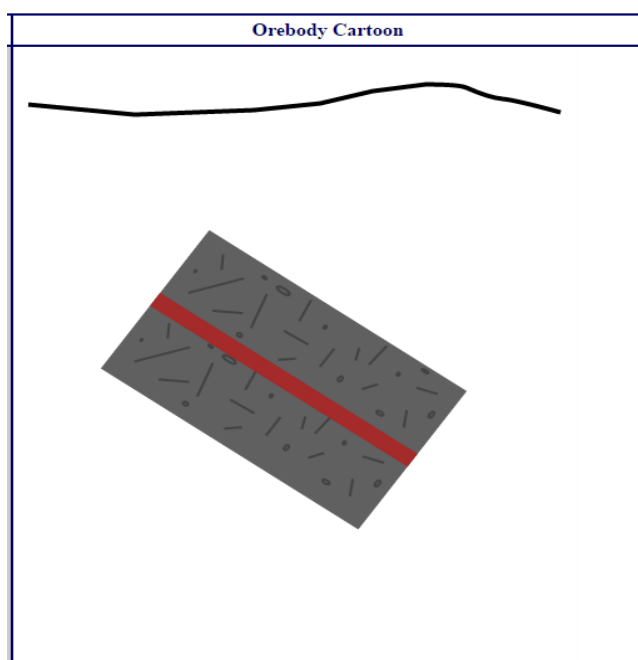


Figura 25: Veta Vanessa
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Mining Method Rankings
(best)
Room and Pillar (33)
Shrinkage Stopping (32)
Open Pit (31)
Cut and Fill Stopping (30)
Longwall Mining (25)
Sublevel Stopping (24)
Top Slicing (15)
Square Set Stopping (11)
Sublevel Caving (-25)
Block Caving (-30)
(worst)

Figura 26: Mining Method
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Se obtiene como mejor método de explotación el método de cámaras y pilares.

Tabla 11: sostenimiento y zonificación litoestructural de la niveles 4890 y 4930.

item	Nº Pto.	Labor	RMR	Q	GSI
1	Punto 5	Cx 123E	51	1.30	F/R
2	Punto 6	Cx 123E	54	1.10	F/R
3	Punto 7	Cx 123E	48	1.07	MF/B
4	Punto 8	GI 135N	39	0.75	MF/R
5	Punto 8.1	GI 135N	32	1.33	MF/R
6	Punto 9	GI 135N	36	0.68	MF/R
7	Punto 9.1	GI 135N	32	0.89	MF/R – B
8	Punto 10	GI 135N	30	0.89	MF/R
9	Punto 10.1	GI 135N	32	0.89	MF/R
10	Punto 11	GI 135N	26	0.80	MF/P
11	Punto 11.1	GI 135N	43	1.10	MF/B – B
12	Punto 12	GI 135N	47	0.90	MF/R
13	Punto 12.1	GI 135N	35	1.10	MF/R
14	Punto 13	GI 135N	42	1.00	MF/R – B
15	Punto 13.1	GI 135N	39	0.90	MF/R
16	Punto 14	GI 135N	37	0.83	MF/R – B
17	Punto 15	Rp(+) 130	45	1.10	MF/R
18	Punto 16	Rp(+) 130	46	1.47	MF/R
19	Punto 17	CX015/GI 020N	42	1.33	MF/R
20	Punto 18	CX015/GI 020N	44	1.33	MF/R
21	Punto 19	GI 020	39	0.90	MF/R
22	Punto 20	GI 020	49	1.00	MF/R
23	Punto 21	GI 020	38	0.80	MF/R
24	Punto 22	GI 020	33	0.62	MF/R
25	Punto 23	GI 020	33	0.80	MF/R

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Con los resultados obtenidos se puede sustentar el sostenimiento y zonificación lito estructural de la niveles 4890 y 4930.

Análisis del Cx 123E Nv 4890:

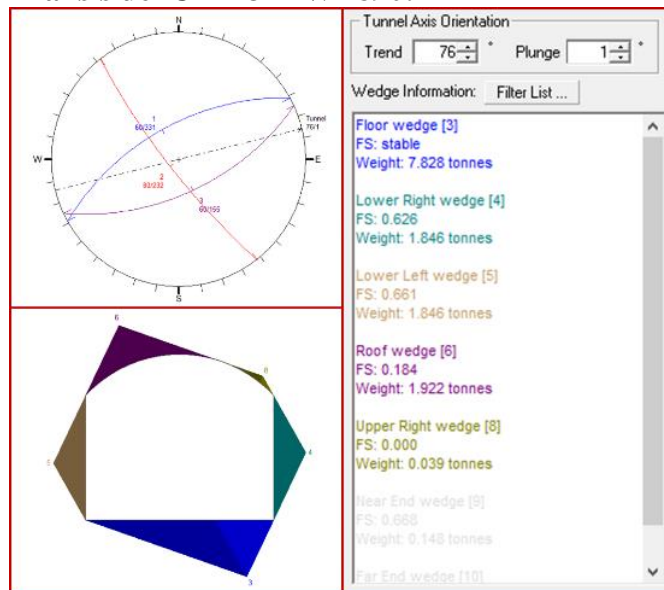


Figura 27: Factor de seguridad de 0.6.

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña echada, los hastiales tienen factor de seguridad de 0.6, en bóveda se forman bloques de roca. Pernos sistemáticos Barra helicoidal de 7 pies espaciados a 1.5 m. control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis de la Galería 135N Nivel 4890

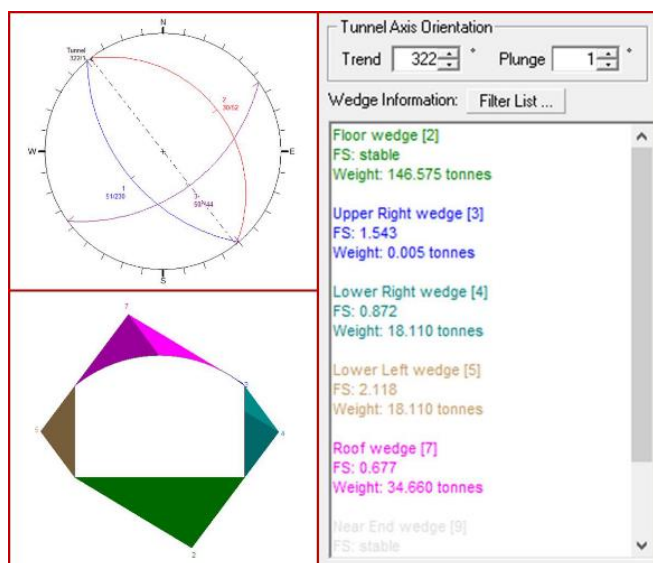


Figura 28: Factor de seguridad de 2.1

Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del análisis del estereograma se determina que presenta cuña echada, los hastiales tienen factor de seguridad de 2.1, en el hastial izquierdo. Pernos puntuales de Split Set de 7 pies en los hastiales y la corona donde requiera. control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis de la Galería 135S Nivel 4890:

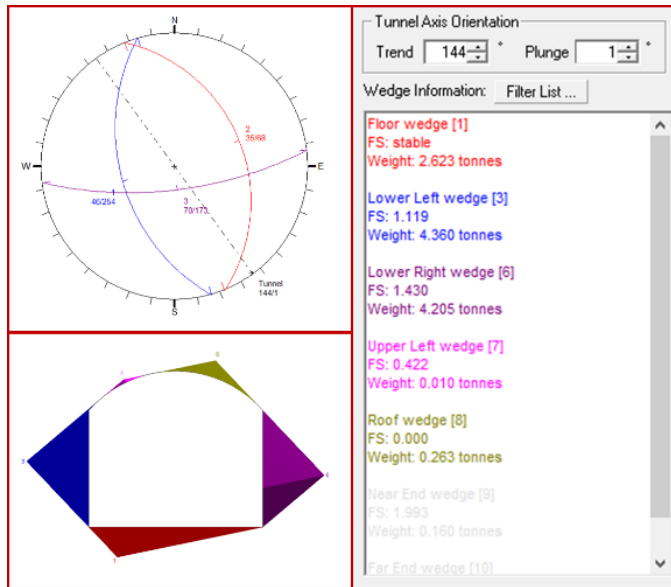


Figura 29: Cuña echada
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

La caja techo está representado por la cuña n° 6 con un factor de seguridad de 1.43. pernos sistemáticos Split Set de 7 pies. control requerido: desate de roca en forma periódica. Como control: desate de roca en forma periódica.

Análisis del Rp (+) 130E Nv 4890:

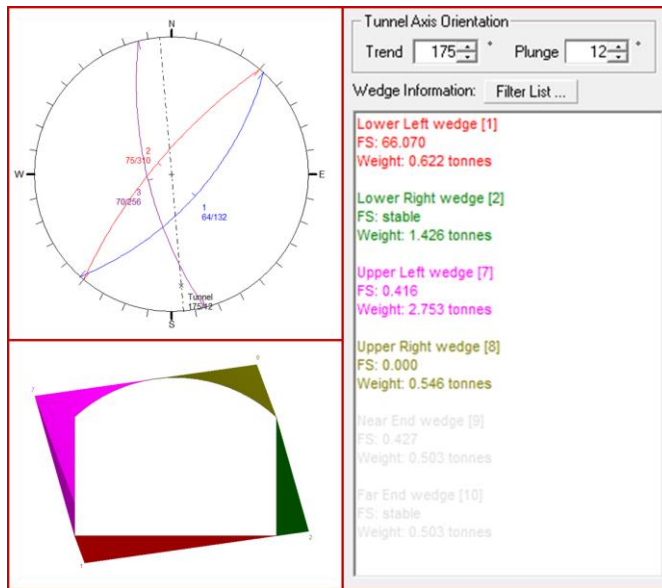


Figura 30: Factor de seguridad de 0.4
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña echada, los hastiales tienen factor de seguridad de 0.4, en bóveda se forman bloques de roca. pernos puntuales de barra helicoidal de 7 pies en los hastiales y la corona donde requiera. Control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis del Rp (+) 130E Nv 4890:

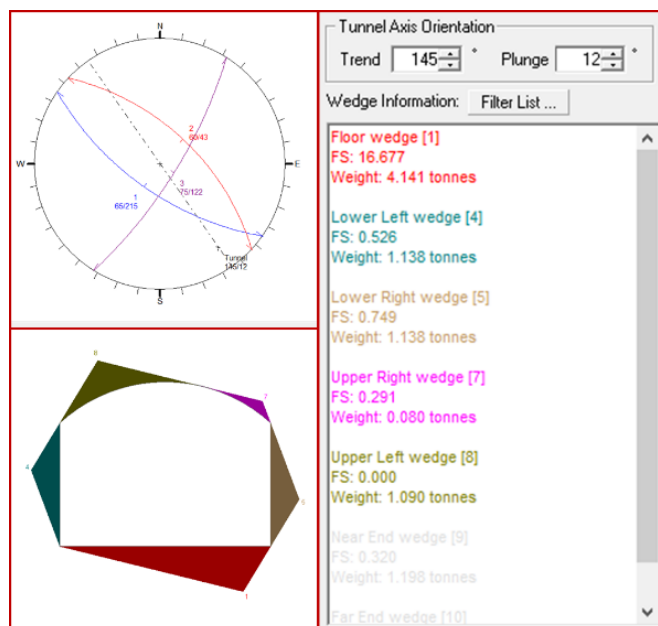


Figura 31: Factor de seguridad de 0.3
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del estereograma se determina que es una cuña echada, los hastiales tienen factor de seguridad de 0.3, en bóveda se forman bloques de roca. pernos de barra helicoidal de 7 pies en forma sistemático espaciado a 1.2m. control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis de la Galería 020N Nivel 4930:

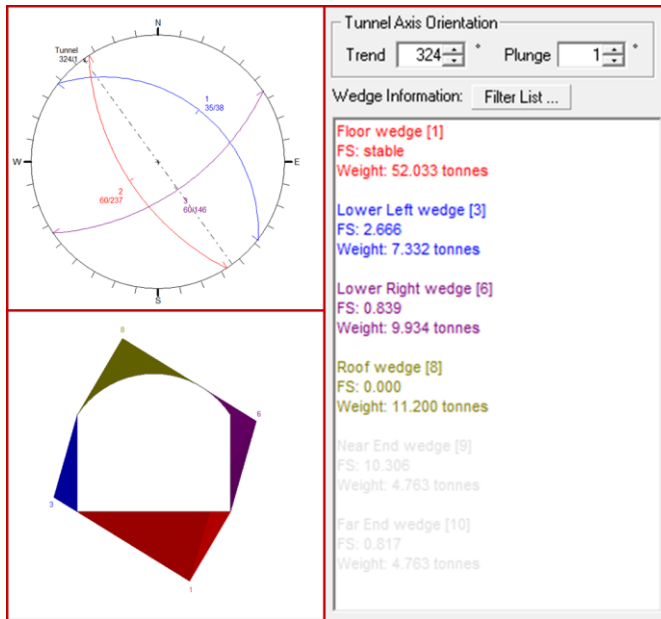


Figura 32: Cuña echada.
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del análisis del estereograma se determina que presenta cuña echada, los hastiales tienen factor de seguridad de 2.6 en el hastial izquierdo, y 0.8 en el hastial derecho.

ZONA DE INTERSECCION: Pernos Split Set de 7 pies en forma sistemática espaciado a 1.0m. Con malla electro soldada. Control requerido: desate de roca en forma periódica.

Análisis de la Galería 020N Nivel 4930:

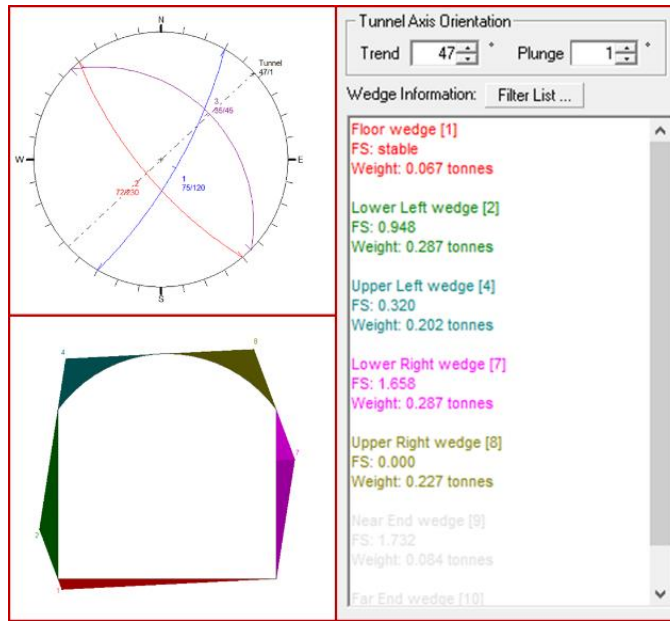


Figura 33: Cuña N° 8 abierta con un factor de seguridad de 0
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

La caja techo está representado por la cuña n° 8 abierta con un factor de seguridad de 0, hacia los hastiales las cuñas presentan factores de seguridad mayores a 1, pernos split set de 7 pies en forma sistemática espaciado a 1.2m, como control: desate de roca en forma periódica.

Análisis de la Galería 020N Nivel 4930:

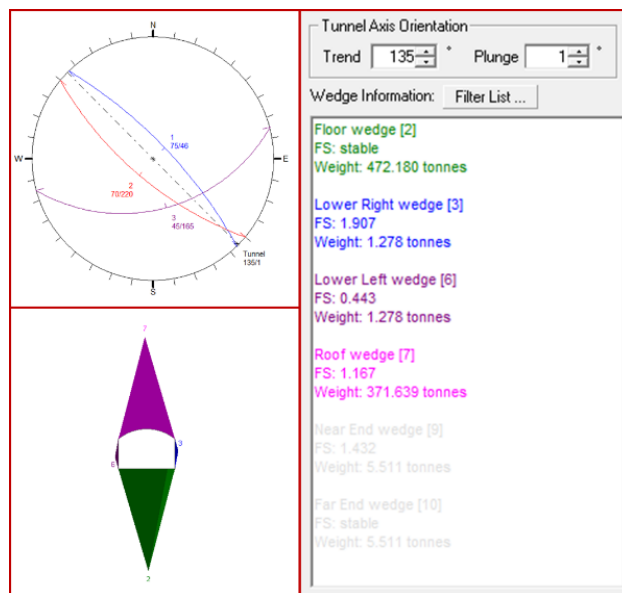


Figura 34: cuña mordida hacia la corona y los hastiales presentan factores de seguridad mayores a 1
Fuente: Compañía minera San Valentín S.A.

Del análisis del estereograma se determina que hay presencia de cuña mordida hacia la corona y los hastiales presentan factores de seguridad mayores a 1. pernos split set de 7 pies puntuales en la corona y hastiales donde requiera. Como control: desate de roca en forma periódica.

4.11. Determinación del método de minado

Para determinar el método de minado apropiado para la mina Heraldos Negros, se consideraron las características del yacimiento como las propiedades físicas del mineral y de su roca encajonante.

Características geomecánicas de la Mina Heraldos Negros, galerías 135 (Nv 4890) y 020 (Nv 4930) de la veta Heraldos:

4.11.1. Yacimiento:

- Forma: Irregular
- Potencia: Angosto (1 a 4 m)
- Orientación: Vertical (> 55° de inclinación)
- Distribución de las leyes: Gradacional

4.11.2. Mineral:

- Competencia de roca: Baja < 8 (Rc/Sv)
- Espaciamiento de fracturas: Muy cercanas (> 16 f/m)
- Resistencia de estructuras: Baja (relleno suave)

4.11.3. Caja techo:

- Competencia de roca: Mediana 8 a 15 (Rc/Sv)
- Espaciamiento de fracturas: Poco espaciadas (10 a 15 f/m)
- Resistencia de estructuras: Baja (relleno semiduro, rugoso)

4.11.4. Caja piso:

- Competencia de roca: Mediana 8 a 15 (Rc/Sv)
- Espaciamiento de fracturas: Poco espaciadas (10 a 15 f/m)
- Resistencia de estructuras: Mediana (relleno semiduro, rugoso)

La data obtenida nos da una idea del comportamiento geomecánico de la mina, al mismo tiempo que nos permite aplicar el Método Cuántico de Nicholas con las siguientes conclusiones.

4.12. Minimización de riesgos

Tabla 12: Minimización de accidentes por caída de rocas

	Años		
	2016	2017	2018
CANTIDAD	58 - 22	52-20	28 - 06
%	37.9%	38.4%	21.4%

Fuente: Compañía minera Heraldos Negros

La aplicación de método de evaluación y control geomecánico tuvo un buen resultado como muestra la tabla (22) que en el año 2018 de 28 a disminuido a 06 casos, mediante caída de rocas eso quiere decir 21.4 %. derivándose la reducción de los accidentes es un rol fundamental del profesional de ingeniería de minas.

V. CONCLUSIONES

la evaluación geomecánica de calidad de roca con RMR se encuentra en un promedio de 42-54; donde el estereograma determina que existe cuñas mordidas, echadas y abiertas; con un factor de seguridad F.S. de 1.5, 1.2, 0.4, 0.3 y 0.2 en la bóveda formando trozos, bloques de roca que tienen un buen entrapamiento de cuña de roca. La rampa es considerada una labor permanente. Del análisis lito estructural, se determinó que las cuñas se controlan con pernos de helicoidales, por el buen entrapamiento de roca, el sostenimiento necesario y suficiente es con sostenimiento Split Set de 7 pies en los hastiales y corona donde requiera control con desate de roca en forma periódica, para evitar caídas de rocas, lo cual disminuyo ostensiblemente la accidentabilidad del 37.9 % en el año 2016 a 21.4% en el año 2018.

Se ha estandarizado el control sobre la calidad de la instalación de los pernos helicoidales y split set a cada 100 unidades utilizando la prueba del pull test. (Perno helicoidal 15Tn y 7Tn en caso de Split set, lo cual garantiza 99% por el tiempo de labor.

VI. RECOMENDACIONES

Es necesario evaluar y controlar periódicamente cada 15 días por el área de Geomecánica la cual tiene responsabilidad del monitoreo geomecánico; con la elaboración de planos y mapeos de frentes; y establecer el estándar de la vida útil de las labores según su realidad operacional para ajuste del sostenimiento.

A futuro se debería evaluar y analizar las convergencias de labores previamente a la instalación de sostenimiento con pernos sistemáticos de Barra Helicoidal de 7 Pies espaciados en filas a 1,5m en rombos de 5x6 y se deberá establecer campaña de desate (cuña, bloques sueltos), periódicamente cada semanal a fin de evitar caída de rocas las que a su vez serán auditables.

VII. REFERENCIAS

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering clasifications of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6, 189–236.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. New York.
- Bustamante Murillo, A. (2008). *Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por la caída de rocas mina Huanzala Cia. Minera Santa Luisa S.A. Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Camhi Andrade, J. F. (2012). *Optimización de los procesos de desarrollo y construcción en minería del block caving caso estudio mina El Teniente CODELCO - Chile. Universidad de Chile*.
- Chura Lope, W. (2016). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana María - La Rinconada. Universidad Nacional del Altiplano-Puno*.
- Cordova Rojas, N. D. (2004). *Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Condestable. Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Cueva Romero, J. G., & Arana Cabrera, J. A. (2019). *Caracterización geomecánica en minería subterránea. Universidad Privada del Norte-Cajamarca*.
- Deere. (1976). *Rock Quality Designation. Engineering Rock Mass Classification*, 21–31.
- García Ramos, E. R. (2019). *Evaluación geomecánica en el diseño de sostenimiento subterráneo en la UEA. Huachocolpa Uno-CIA. Minera Caudalosa S.A. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión - Cerro de Pasco*.
- Gatica Jiménez, G. (2015). *Implementación de un sistema de fortificación en obras de*

desarrollo y rodajes en minera Tizapa. Universidad Nacional Autónoma de México.

González de Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica. (Isabel Capella, Ed.). Madrid.

Hoek, E., & Brown, C. (1980). El criterio de rotura de Hoek-Brown - Edición 2002 Hoek-Brown failure criterion - 2002 Edition.

Hoek, E., & Brown, C. (1988). El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002 Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition, (January 2001).

International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM). (1981). Metodo Sujerido para Determinar la Resistencia del Anclaje de un Perno de Rova (PULL TEST).

Loarte Trujillo, O. J. (2018). Sostenimiento de las labores mineras en la Corporación Minera Toma la Mano-Cormitoma S.A. - año 2018. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz.

Marinos, P., & Hoek, E. (2000). Sociedad nacional de Minería, Petróleo y Energía. Conferencia En Procedimientos de GeoEng2000, 1.

Priest, S. D., & Hudson, J. A. (1976). Discontinuity Spacings in Rock. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics, 13, 135–148.

Ramirez, C. (2004). Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.

Ritter, A. (1879). Evaluation of geotechnical classification techniques to design coal mine roofs.

- Sari Chalco, J. P., & Rodas Andrade, D. E. (2013). Propuesta del Sistema de fortificación que se debe ampliar a lo largo de la Empresa Minera SOMILOR S.A. Universidad de Cuenca.
- Sheorey, P. R. (1994). A theory of in-situ stress in isotropic and transversely isotropic rock. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics*, 31, 23–34.
- Sloss. (1963). Sequences in the cratonic interior of Northamerican Craton and the Russian Platform. *Proceedings 24th International Geological Congress*, 6, 24–36.
- Tacuri Gamboa, A. (2017). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina Hercules-CIA. Minera Lincona S.A. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Torres Yupanqui, L. A. (2009). Geomecánica aplicado el control y labores mineras para la minimización de caída de rocas en la mina Madrugada Cia Minera Huinac SAC. – Ancash – 2009.
- Universiteit Van Pretoria. (2010). La evaluación de las técnicas de clasificación geotecnicas para el diseño de las minas de carbon: Techos de Minas. Colombia.

ANEXOS

		FORMULARIO OPERACIONAL		CODIGO	
				REVISION	
		REPORTE GEOMECANICO		APROBADO	
				PAGINA	
REPORTE GEOMECANICO					
Progresiva:		Densidad	2.70	Ton/m3	
Mina	Heraldos Negros	Profundidad	40	m.	
Nivel	5010	Estructura	Caja Techo (CT)		
Labor	Tj 990 E	Litología	Caliza		
Fecha	21-Nov-16	Azimut Labor	305		
Realizado:	Ing. J. Carhuamaca	Rc / Sv	55.56		
SISTEMA RMR					
PARÁMETROS		RANGO		VALOR	
Resistencia a la compresión uniaxial		60.00	MPa	4	
RQD		80	%	15	
Espaciamiento de discontinuidades		0.2-0.6	mm	10	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES					
Familia	Buz./D. Buz	f/m	Persistencia	3-10m	m
1	85/330	7	Abertura	<0.1mm	mm
2			Rugosidad	Lig.rugosa	
3			Relleno	Duro < 5mm	mm
4			Alteración	Lig. Intempe.	
Agua subterránea				Humedo	10
Orientación				Media	-5
				RMR ₈₉ =	53
Condiciones secas				RMR' ₈₉ =	48
SISTEMA Q					
PARAMEROS		RANGO		VALOR	
RQD %	RQD	80	%	80	
Número de discontinuidades	Jn	1F+1A		3	
Número de rugosidad	Jr	I.P.	Irregular Planar	1.5	
Número de alteración	Ja	Granular		2	
Número de agua subterránea	Jw	Humedo		0.9	
Factor de reducción de esfuerzos	SRF	Con Bajas Presiones		7.5	
		Q =		2.40	
		Q' =		20.00	
RMR = 9 Ln Q + 44 =		F/R			
RMR = 9 Ln Q' + 44 =		71			
GSI = RMR'₈₉ - 5		=		43	
TABLA GEOMECANICA		GSI =		F/R	
		RMR =		53	
		Q =		2.40 2.72	
OBSEVACIONES:					
MAXIMA ABERTURA AUTOESTABLE					
ESR =		3		Temporal	
MAA =		8.00		m	
RS =		0.4			
RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO					
σMR =		1.34 MPa			
DETERMINACION DEL SOPORTE: Pernos split set sistemáticos de 7' espaciados a 1.30m					
Tipo de labor		Temporal			
Relación soporte excavación		ESR =		3	
Altura		H =		3.0 m	
Ancho		A =		6.0 m	
Dimensión equivalente		De =		2.00	
		Q =		2.40	
Soporte recomendado:		Sostener Con pernos Split Set de 7', espaciados a 1.20 m, orientarlos perpendicular a los planos de discontinuidad.			

Figura 35: Mapeo caja techo y piso Vanesa
Fuente: Compañía minera Heraldos Negros

		FORMULARIO OPERACIONAL		CODIGO	
		REPORTE GEOMECANICO		REVISION	
				APROBADO	
				PAGINA	
REPORTE GEOMECANICO					
Progresiva:		Densidad	2.70	Ton/m3	
Mina	Heraldos Negros	Profundidad	40	m.	
Nivel	5010	Estructura	Mineral		
Labor	Tj 990 E	Litología	Caliza		
Fecha	21-Nov-16	Azimut Labor	305		
Realizado:	Ing. J. Carhuamaca	Rc / Sv	55.56		
SISTEMA RMR					
PARÁMETROS		RANGO		VALOR	
Resistencia a la compresión uniaxial		60.00		MPa	
RQD		75		%	
Espaciamiento de discontinuidades		0.2-0.6		mm	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES					
Familia	Buz./D. Buz	f/m	Persistencia		
1	85/330	7	Abertura	3-10m	m
2				<0.1mm	mm
3			Rugosidad	Lig.rugosa	
4			Relleno	Duro < 5mm	mm
			Alteración	Lig. Intempe.	
Agua subterránea				Humedo	
Orientación				Media	
				RMR ₈₉ =	
				51	
Condiciones secas				RMR' ₈₉ =	
				46	
SISTEMA Q					
PARAMEROS		RANGO		VALOR	
RQD %		RQD	75	%	75
Número de discontinuidades		Jn	1F+1A		3
Número de rugosidad		Jr	I.P.	Irregular Planar	1.5
Número de alteración		Ja	Granular		2
Número de agua subterránea		Jw	Humedo		0.9
Factor de reducción de esfuerzos		SRF	Con Bajas Presiones		7.5
		Q =		2.25	
		Q' =		18.75	
RMR = 9 Ln Q + 44 =		F/R			
RMR = 9 Ln Q' + 44 =		70			
GSI = RMR'₈₉ - 5				41	
TABLA GEOMECANICA					
		GSI =		F/R	
		RMR =		51	
		Q =		2.25	
				2.18	
OBSEVACIONES:					
MAXIMA ABERTURA AUTOESTABLE					
ESR =		3		Temporal	
MAA =		8.00		m	
RS =		0.4			
RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO					
σMR =				1.17 MPa	
DETERMINACION DEL SOPORTE: Pernos split set sistemáticos de 7' espaciados a 1.30m					
Tipo de labor		Temporal			
Relación soporte excavación		ESR =		3	
Altura		H =		3.0 m	
Ancho		A =		6.0 m	
Dimensión equivalente		De =		2.00	
		Q =		2.25	
SopORTE recomendado: Sostener Con pernos Split Set de 7', espaciados a 1.20 m, orientarlos perpendicular a los planos de discontinuidad.					

Figura 36: Mapeo de la veta Heraldos Negros
Fuente: Compañía minera Heraldos Negro



Figura 37: Equipo de trabajo destacado para la consultoría “Heraldos Negros”:
Fuente: imagen tomada en año 2018.



Figura 38: Levantamiento geológico
Fuente: fotografía tomada en el año 2018.



Figura 39: Inspección geomorfológica
Fuente: fotografía tomada en el año 2018.



Figura 40: Instalaciones mineras
Fuente: fotografía tomada en el año 2018.



Figura 41: Llanura perteneciente a la concesión minera

Fuente: fotografía tomada en el año 2018.



Figura 42: Entrada a la unidad minera “Heraldos Negros”

Fuente: fotografía tomada en el año 2018.



Figura 43: vista de frente
Fuente: fotografía tomada en el año 2018.



Figura 44: Vista en frente
Fuente: fotografía tomada en el año 2018.