

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería
nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

Presentado por:

Roger Alfredo Gonzales Pumacayo

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

Presentado por **Roger Alfredo Gonzales Pumacayo**, para optar el título de Ingeniero de Minas.

Sustentado y aprobado 06 de febrero de 2025 ante el jurado evaluador:

Presidente:

Dr. Pablo Ruben Zuloaga Candia

Primer miembro:

Mg. Juan Leonardo Dávila Huacoto

Segundo miembro:

Mg. Percy Leonidas Cortez Miranda

Asesor:

Mtro. José Adolfo Cárdenas Catalán

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 035-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023**, presentado por el Bach: **Roger Alfredo Gonzales Pumacayo**, Para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (14%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 29 de enero del 2025

 UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC

Dr. Lintol Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.
Archivo
REG. N°101

Dedicatoria

Esta investigación la dedico con cariño a mis padres Roger y Mariluz y a mi hermana Diana, por su apoyo moral que tanto me sumaba para lograr esta investigación.



Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

línea de investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.1.1 Generalidades de la mina	5
1.1.1.1 Historia de la mina	5
1.1.1.2 Fuerza laboral y campamento minero	6
1.1.1.3 Métodos de explotación	6
1.1.1.4 Comercialización	6
1.1.1.5 Cierre de mina	6
1.1.2 Problema general	7
1.1.3 Problemas específicos	7
1.1.4 Justificación de la investigación	7
1.1.5 Delimitación de la investigación	8
CAPÍTULO II	15
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	15
2.1 Objetivos de la investigación	15
2.2.1 Objetivo general	15
2.2.2 Objetivos específicos	15
2.2 Hipótesis de la investigación	15
2.2.3 Hipótesis general	15
2.2.4 Hipótesis específicas	15
2.3 Operacionalización de variables	16
CAPÍTULO III	17
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	17
3.1 Antecedentes	17
3.1.1 A nivel internacional	17
3.1.2 A nivel nacional	20
3.2 Marco teórico	24
3.2.1 Clasificaciones geomecánicas	24
3.2.2 El RMR de Bieniawski (1989)	24



3.2.3	Clasificación geomecánica de Barton	27
3.2.4	Clasificación según el índice de GSI (HOEK BROWN)	33
3.2.4.1.1	Resistencia a compresión simple	34
3.2.5	Diseño de sostenimiento	35
3.2.5.1	Sostenimiento	35
3.2.5.2	Tipos de sostenimiento	36
3.2.5.3	Descripción de los tipos de sostenimiento	36
3.3	Marco conceptual	48
CAPÍTULO IV		50
METODOLOGÍA		50
4.1	Tipo y nivel de investigación	50
4.2	Diseño de la investigación	50
4.3	Descripción ética de la investigación	50
4.4	Población y muestra	51
4.5	Procedimiento	51
4.6	Técnica e instrumentos	51
4.7	Análisis estadístico	52
CAPÍTULO V		53
RESULTADOS Y DISCUSIONES		53
5.1	Determinación las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023	53
5.1.1	Clasificaciones geomecánicas	53
5.1.2	Diseño de sostenimiento	61
5.2	Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023	66
	Cálculo del RQD de la galería nivel 3690, de los mapeos geomecánicos	66
5.3	Diseñar el sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023	71
	Cálculo del GSI de la galería nivel 3690	73
DISCUSIONES		78
CAPÍTULO VI		81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		81
6.1	Conclusiones	81
6.2	Recomendaciones	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		84
ANEXOS		87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Coordenadas geográficas de la minera Esperanza	8
Tabla 2 — Coordenadas UTM de la minera Esperanza	8
Tabla 3 — Accesibilidad hacia la mina esperanza	8
Tabla 4 — Operacionalización de variables	16
Tabla 5 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR	25
Tabla 6 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (Mpa)	26
Tabla 7 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca	26
Tabla 8 — Valoración del Índice de calidad de R.Q.D.	28
Tabla 9 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades	29
Tabla 10 — Valoración del número de discontinuidades	29
Tabla 11 — Valoración del número de discontinuidades	30
Tabla 12 — Valoración de coeficiente reductor por la presencia de agua	31
Tabla 13 — Valoración de factor de reducción por tensiones	31
Tabla 14 — Resultados de ensayo analizados en laboratorio de la (UNAMBA)	53
Tabla 15 — Resultados de toma de datos en el mapeo geomecánico	54
Tabla 16 — Espaciado de discontinuidades	55
Tabla 17 — Apertura de discontinuidades	55
Tabla 18 — Rugosidad de discontinuidades	56
Tabla 19 — Relleno de discontinuidades	57
Tabla 20 — Meteorización de discontinuidades	57
Tabla 21 — Aguas subterráneas en las discontinuidades	58
Tabla 22 — Resultados del cálculo de diseño de sostenimiento según Bieniawski	59
Tabla 23 — Sistema de valoración de la masa rocosa-RMR (según Bieniawski 1989)	60
Tabla 24 — Valores para clasificaciones geomecánicas según Barton	63
Tabla 25 — Resultado de sondeo para el cálculo de RQD	67
Tabla 26 — Resultado de sondeo en la zona 2 para el cálculo de RQD	67
Tabla 27 — Resultado de sondeo de la zona 3 para el cálculo de RQD	68
Tabla 28 — Clasificaciones geomecánicas según Bieniawski	71
Tabla 29 — Clasificaciones geomecánicas de la litología andesita según Hoek Brown (GSI)	73

Tabla 30 — Clasificaciones geomecánicas de la litología caliza según Hoek Brown (GSI)	74
Tabla 31 — Clasificaciones geomecánicas de la litología arenisca según Hoek Brown (GSI)	74
Tabla 32 — Matriz de consistencia	88
Tabla 33 — Resultados de ensayo a la compresión uniaxial	92



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Labor en investigación nivel 3690	5
Figura 2 — Mapa de ubicación de la minera esperanza	9
Figura 3 — Geología regional	10
Figura 4 — Geología Local	12
Figura 5 — Geología Estructural	13
Figura 6 — Grafico para determinar el índice RMR, para el parámetro R.Q.D.	28
Figura 7 — Cartilla de Sostenimiento según GSI	33
Figura 8 — Cartilla de Sostenimiento GSI (HOEK BROWN)	34
Figura 9 — Partes de un cuadro de madera	37
Figura 10 — Elementos de un cuadro de madera	38
Figura 11 — Puntales colocados para resistir presiones elevadas.	38
Figura 12 — Instalación del Jackpot	39
Figura 13 — Sostenimiento con relleno hidráulico	40
Figura 14 — Pernos de anclaje mecánico	41
Figura 15 — Pernos de varillas cementadas con resina	42
Figura 16 — Pernos Split sets	42
Figura 17 — Pernos swellex.	43
Figura 18 — Malla esbalonada	44
Figura 19 — Malla esbalonada en excavación	45
Figura 20 — Malla electrosoldada	45
Figura 21 — Correcto uso del shotcrete	46
Figura 22 — Cimbras metálicas	47
Figura 23 — Diseño de sostenimiento en el software phase2 (según Bieniawski 1989)	61
Figura 24 — Diseño de sostenimiento con pernos (según Bieniawski 1989)	62
Figura 25 — Diseño de sostenimiento con pernos Split Seth (según Bieniawski 1989)	62
Figura 26 — Sistema de valoración de la masa rocosa según Barton	63
Figura 27 — Sistema de categorías de refuerzo para el sostenimiento según Barton	64
Figura 28 — Sistema de valoración de la masa rocosa para el sostenimiento según GSI Hoek y Brown	65

Figura 29 — Mapeo geomecánico de trozos de sondeo para el cálculo de RQD	66
Figura 30 — Diseño de sostenimiento de la galería 3690 de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Barton	70
Figura 31 — Diseño de enmallado del interior de la mina según a las clasificaciones geomecánicas de Barton	70
Figura 32 — Diseño de sostenimiento con shocrete según Bieniawski	72
Figura 33 — Resultado del tipo de sostenimiento adecuado según GSI - Hoek Brown	75
Figura 34 — Resultado del tipo de sostenimiento adecuado según GSI - Hoek Brown	76
Figura 35 — Resultado del diseño del tipo de sostenimiento adecuado según GSI - Hoek Brown	77
Figura 36 — Diseño de sostenimiento según las clasificaciones geomecánicas de GSI - Hoek Brown	77
Figura 37 — Identificación del sostenimiento actual de la galería	89
Figura 38 — Bocamina principal de la galería nivel 3690	89
Figura 39 — Plataforma de descarga	90
Figura 40 — Preparación de muestras en el laboratorio	90
Figura 41 — Realización de ensayo en el laboratorio de la UNAMBA	91
Figura 42 — Reconocimiento de roca para realizar el ensayo correspondiente en una labor subterránea	91
Figura 43 — Mapeo geomecánico de RMR, Q y GSI	93
Figura 44 — Valores de los parámetros característicos del sistema Q de Barton	94
Figura 45 — Mapeo geomecánico de Barton	95
Figura 46 — Mapa de ubicación de la mina Esperanza	96
Figura 47 — Mapa topográfico de la mina Esperanza	97



INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería minera, la evaluación geomecánica se ha convertido en un componente crítico para el diseño de estructuras de sostenimiento en galerías y túneles. La integridad y seguridad de estas obras dependen en gran medida de la correcta identificación y clasificación de las características del macizo rocoso, lo que a su vez influye en la selección de los métodos de sostenimiento adecuados. Este estudio se centra en la evaluación de diversas clasificaciones geomecánicas, tales como el sistema RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski, el índice Q de Barton y el GSI (Geological Strength Index) de Hoek, con el fin de determinar su aplicabilidad y efectividad en el diseño de sostenimientos en galerías.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de minimizar los riesgos asociados en el interior subterráneas, que pueden resultar en pérdidas humanas y económicas significativas. A través de un enfoque sistemático, se busca analizar cómo las diferentes clasificaciones geomecánicas impactan en la seguridad y viabilidad de los sistemas de sostenimiento. El sostenimiento inadecuado puede llevar a fallas estructurales con consecuencias graves, tanto en términos de seguridad, la correcta aplicación de estas clasificaciones contribuye al desarrollo de las actividades mineras más seguras y eficientes (ROJAS, 2023)

El objetivo principal de esta tesis es evaluar la aplicabilidad y efectividad de diferentes clasificaciones geomecánicas en el diseño del sostenimiento para una galería adecuada y con buena seguridad.

En el presente trabajo de investigación se propuso determinar las clasificaciones geomecánicas, para estimar el sostenimiento de la galería nivel 3690 en la mina Esperanza. Para ello el siguiente estudio, se encuentra estructurado de los siguientes principales capítulos, I planteamiento del problema, II objetivos e hipótesis; III corresponde a los antecedentes, marco teórico y marco conceptual; IV corresponde al diseño de la metodología; V se muestran los resultados y discusiones, finalmente VI se culmina con las conclusiones y recomendaciones.



RESUMEN

La presente investigación cuyo **objetivo** es determinar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes 2023. se aplicó el **método** deductivo, tipo: aplicada, nivel: descriptivo – explicativo de diseño no experimental, siendo la población la mina Esperanza y la muestra galería nivel 3690. En **Los resultados** de las clasificaciones geomecánicas se obtuvo, que la calidad de la roca es regular a mala IV B y su estado podría estar entre aceptable y algo deteriorado con una resistencia de compresión simple de 130 MPa con un RQD de 40% con una abertura de 1-5mm, rugosidad aceptable, relleno duro de 5mm y su alteración de goteo alterada, con unas discontinuidades rugosas levemente alterada, se rompe con dos o más golpes de picotas. El diseño de sostenimiento determinado en el software phase2 corresponde a sistemáticos de 5m reforzados con mallas y shotcrete de 5 a 10cm, esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta, seguida de una deformación gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura. Como conclusión, se determina el diseño de sostenimiento con pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50m cinta ocasional, tiene que ser resistente también lo recomendable es usar malla cimentadas con Split set sistemáticos. Es fundamental implementar un sistema de sostenimiento robusto que incluya pernos, mallas, así como realizar un monitoreo continuo para garantizar la seguridad y estabilidad de las excavaciones, que según la litología de la mina la roca predominante es la andesita, arenisca y caliza.

Palabras clave: sostenimiento, clasificaciones geomecánicas, geomecánica, litología, roca.



ABSTRACT

The present investigation whose title: Evaluation of geomechanical classifications for the design of the support in the gallery level 3690, Esperanza mine, Aymaraes, Apurímac 2023 had the objective of determining the geomechanical classifications for the design of the support in the gallery level 3690, Esperanza mine, Aymaraes 2023. The deductive method was applied, type: applied, level: descriptive - explanatory of non-experimental design being the population the Esperanza mine and the sample gallery level 3690. The results of the geomechanical classifications were obtained, it was obtained that the quality of the rock is regular to poor IV B and its condition could be between acceptable and somewhat deteriorated with a simple compressive strength of 130 MPa with a RQD of 40% with an opening of 1-5mm, acceptable roughness, hard filling of 5mm and its altered drip problem, with slightly altered rough discontinuities, it breaks with two or more pickaxe blows. The support design determined in the phase 2 software corresponds to 5m systematic bolts reinforced with mesh and 5 to 10cm shotcrete. This is because the parameters indicate a high initial resistance followed by a gradual deformation and a possible decrease in resistance after rupture. The investigation concludes with the determination of support design with 1.50 x 1.50m systematic bolts occasional tape, it has to be resistant also it is advisable to use mesh cemented with systematic Split set. It is essential to implement a robust support system that includes bolts, mesh, as well as carry out continuous monitoring to guarantee the safety and stability of the excavations, which according to the lithology of the mine the predominant rock is andesite, sandstone and limestone.

Keywords: *sustenance, geomechanical classifications, geomechanics, lithology, rock.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La mina Esperanza, una de las unidades operativas en producción de la asociación de minero de Koritica de Unchiña, no cuenta con un departamento de geotecnia. Este departamento será responsable de aplicar los procedimientos del sistema de gestión de seguridad para controlar, muestrear e identificar las características del macizo rocoso en todos los trabajos de producción y desarrollo. Sin embargo, surgen problemas cuando se realizan excavaciones con una sección de 2 metros de ancho por 1.80 metros de alto. Estas excavaciones tienen una longitud promedio de 50 metros, son parte del sistema de explotación mecanizado, que utiliza equipos motorizados para la perforación, transporte y otras actividades mineras. Las secciones de trabajo en estas condiciones presentan riesgos, especialmente en lo que respecta al tiempo de autoaporte (la estabilidad de la excavación sin refuerzos) que se mantiene hasta que se completan las actividades.

La evaluación del macizo rocoso es gestionada a través de herramientas y modelos matemáticos por el departamento de geotecnia de la empresa. En este contexto, resulta fundamental analizar y estimar el tiempo de autoaporte tanto del techo como de los hastiales de la excavación en curso. Asimismo, es crucial considerar la presencia de aguas subterráneas, ya que estas aumentan la carga sobre la estructura, elevando el riesgo de estallidos y/o colapsos en las labores. Por lo tanto, la caracterización del macizo rocoso representa un aporte significativo para abordar la problemática expuesta.



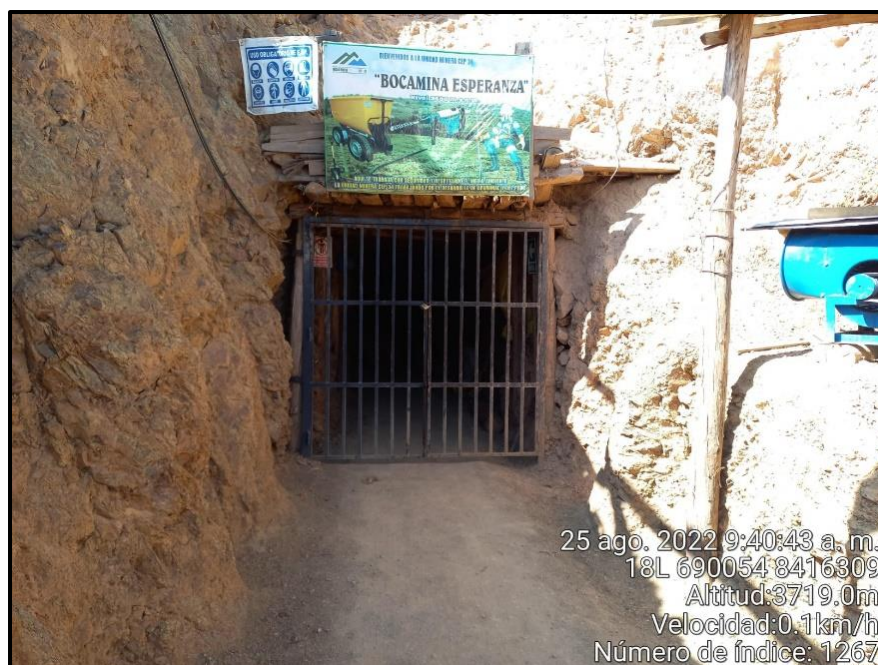


Figura 1 — Labor en investigación nivel 3690

1.1.1 Generalidades de la mina

1.1.1.1 Historia de la mina

Los trabajos históricos de suscitan desde épocas de la colonia, en lo que se han encontrado vestigios y evidencias de la explotación de minería en la zona de Apacsa y Pampaucsa, a la parte posterior se ubican los labradores de Huayllaripa y Sañayca.

- En el año 2012, con el fin de impulsar la minería en el estado peruano, se incluyó en una declaración de compromiso la identificación de posibles áreas para la explotación de minería artesanal en la zona de Apacsa.
- En 2014, luego de la constitución legal de la asociación, se llevó a cabo la elaboración de la declaración de impacto ambiental (DIA) para el proyecto de minería artesanal de la Asociación de Mineros Artesanales de Kori Tika de Unchiña. Asimismo, la consultora Geominco SRL aprobó el CIRA.
- En 2017, con la promulgación de la minería como interés nacional en el estado peruano, se facilitó el acceso al REINFO. Desde entonces, los miembros de la asociación han llevado a cabo exploraciones y explotaciones en varios lugares del cerro Apacsa. Algunos encontraron vetas, mientras que otros no tuvieron éxito.

- En el 2022 la asociación de mineros artesanales, proyecta la ejecución de una cortada o galería nominada esperanza, esta con la finalidad de explotar desde la parte inferior y tener mejor acceso a la explotación de las vetas en el cerro Apacsa.

1.1.1.2 Fuerza laboral y campamento minero

La mina Esperanza, la fuerza laboral contempla un total de 20 personas en categorías siendo de primer orden maestros veteranos, maestros en madera, peones y personal de almacén y cocina. Las personas como los maestros son de las zonas de Puno, está por la experiencia que hayan obtenido.

1.1.1.3 Métodos de explotación

La mina Esperanza es una operación de pequeño productor minero. La explotación del mineral se lleva a cabo utilizando el método de circado, junto con corte y relleno ascendente. Para el sostenimiento, se emplean estructuras de madera y refuerzos con rollizos o puntales de madera.

1.1.1.4 Comercialización

En el país, la mayor parte de la producción minera corresponde a minerales metálicos, los cuales se comercializan principalmente como materia prima en forma de mineral y con un cierto valor agregado. En la mina Esperanza, el mineral es transportado en camiones de las marcas HINO e ISUZU, cada uno con una capacidad promedio de 25 toneladas, los cuales son cargados por una retroexcavadora. El destino final del transporte es la planta concentradora ubicada en la ciudad de Arequipa-Chala.

1.1.1.5 Cierre de mina

La mina Esperanza a la fecha se encuentra en vía de formalización, y según el reporte de la dirección de energía y minas de Apurímac cuenta con la herramienta de gestión ambiental siendo está el igafom correctivo y preventivo elaborado por la consultora Commapro S.R.L. en la que registran plan de manejo ambiental, compromisos y técnica de cierra según el avance.



1.1.2 Problema general

¿Cómo son las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023?

1.1.3 Problemas específicos

- ¿Cómo es el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023?
- ¿Cuál es el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023?
- ¿Cuál es el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023?

1.1.4 Justificación de la investigación

Esta investigación en la mina Esperanza tiene una justificación sólida y multidimensional. Socialmente, contribuye a la seguridad de los trabajadores, ya que el diseño de sostenimiento propuesto reduce el riesgo de colapso en la galería nivel 3690, protegiendo la vida de quienes laboran en la mina. En cuanto a su relevancia práctica, los resultados optimizarán las operaciones mineras, disminuyendo costos operativos y evitando intervenciones correctivas. La investigación aporta al conocimiento geomecánico, especialmente en la aplicación de las clasificaciones de Barton, Bieniawski y Hoek-Brown, ofreciendo nuevas referencias para su uso en minas subterráneas. Metodológicamente, el estudio aplica métodos científicos rigurosos que garantizan la fiabilidad y replicabilidad de los resultados en otras minas con condiciones geológicas similares. Además, desde el punto de vista legal, el diseño de sostenimiento cumple con las normativas de seguridad minera vigentes, asegurando la conformidad con las leyes que buscan prevenir accidentes y crear un entorno de trabajo seguro en la industria minera.



1.1.5 Delimitación de la investigación

1.1.5.1 Delimitación espacial

La minera Esperanza está localizado al Sur del Perú, en la Región de Apurímac, Provincia de Aymaraes, Distrito de Chualhuanca, comunidad Unchiña, paraje de Apaca

La elevación del área del proyecto está a 3719.0 m.s.n.m.

Ubicación de la mina

El viaje de Lima a la unidad minera es de 13:30 horas y de la ciudad de Abancay a la unidad 3:30 horas en vehiculo.

Tabla 1 — Coordenadas geográficas de la minera Esperanza

Sur	14° 23' 00"
Longitud Oeste	73° 19' 87"
Altitud	3719 m.s.n.m.

Tabla 2— Coordenadas UTM de la minera Esperanza

Norte	8421289.60
Este	694315.55

Accesibilidad

Se puede acceder a la mina Esperanza de las siguientes maneras.

Tabla 3 — Accesibilidad hacia la mina esperanza

Tramo 1	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Descripción
Lima - Nazca	443 km	7 h 00 min	Carretera asfaltada
Nazca – Puquio	155 km	2 h 47 min	Carretera asfaltada
Puquio – Chalhuanca -Mina Esperanza	154 km	3:00 horas	Carretera asfaltada y la otra trocha

Tramo 2	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Descripción
Abancay – Chalhuanca	130 km	2:30 min	Carretera asfaltada
Chalhuanca – Mina Esperanza	32 km	1 hora	trocha



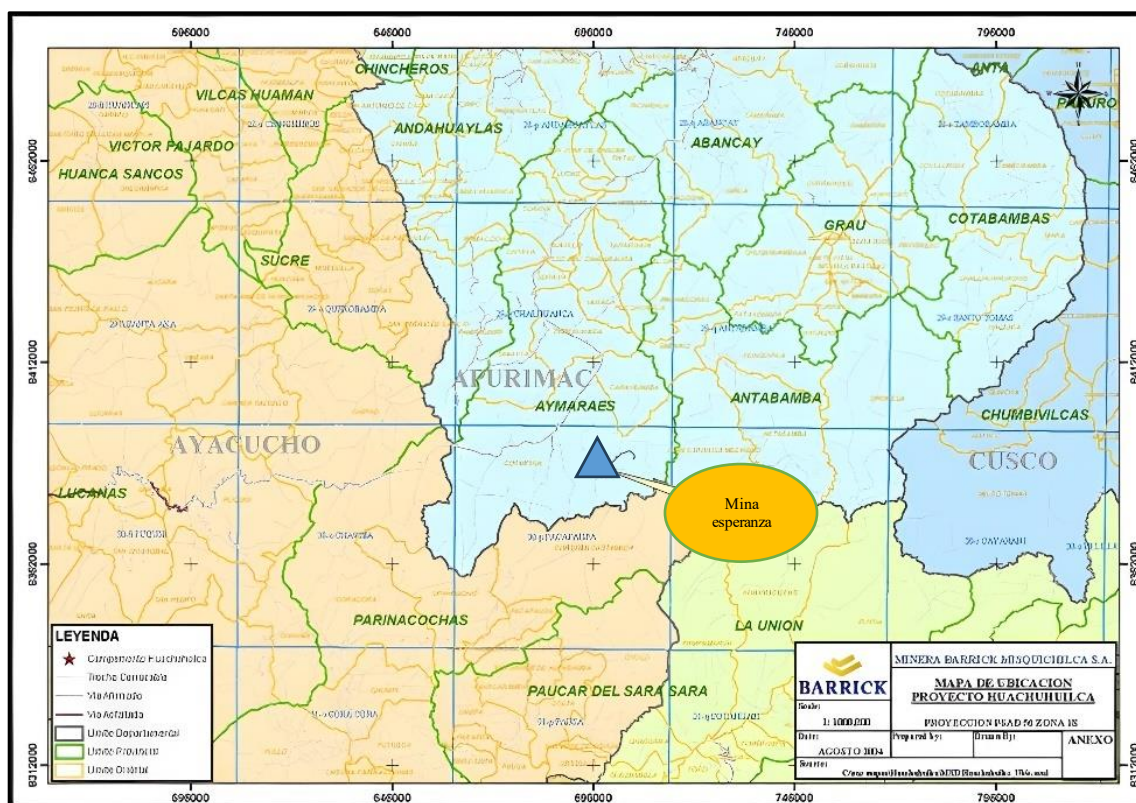


Figura 2— Mapa de ubicación de la mina esperanza

Fuente : Empresa minera Barrick

1.1.5.2 Delimitación social

La investigación involucra a los colaboradores del área de geología, operación, seguridad, planeamiento, costos y áreas auxiliares y en la que se ejecuta oportunidad laboral a todos los comuneros, a través de ello el comercio aumentara en la población, generando un movimiento económico entre las poblaciones aledañas de la mina esperanza.

1.1.5.3 Delimitación temporal

La indagación se estimó su desarrollo en un aproximado de 1 año 3 meses.

1.1.5.4 Delimitación conceptual

Esta investigación se enfoca en el propósito de caracterizar el macizo rocoso a través de diversas clasificaciones geomecánicas (Barton, Bieniawski y Hoek-Brown). Este análisis permitirá desarrollar un diseño de sostenimiento adecuado para la galería nivel 3690, mejorando la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras.



1.1.5.5.2 Geología local

En la conformación geológica de la zona tenemos rocas ígneas e hipabisales cuyas edades varían desde el cretáceo superior hasta el terciario más moderno, los depósitos más jóvenes (pleistoceno reciente) tenemos a material aluvial, coluvial, y eluvial distribuido a manera de relleno de las quebradas principales.

La roca que predomina en la zona es la granodiorita, Andesita a la vez esta roca se encuentra instruida por cuerpos hipabisales de textura porfirítica, diques hipabisales andesíticos y diques graníticos. Los cuales tienen secuencias estratigráficas (INGEMET, 2018)

Formación Soraya.

son afloramientos pequeños, aislados y levemente removido de areniscas que sobreyacen a stocks de andesitas. Las 10 de 137 areniscas son de cuarzos de grano medio a grueso con intersticios tapizados por arcillas. Arenisca moderadamente estratificada y con débil alteración en contacto con el stock andesítico. Este pequeño cuerpo de areniscas no ha sido cartografiado a escala distrital por ser escaso.

Formación Aniso (Flujo Piroclástico de Toba Lítica y Ceniza)

Está conformado por niveles intercalados con tobas líticas y tobas de ceniza andesítica. Los piroclásticos se presentan en bancos delgados y estratificados de color gris blanquecino y tobas líticas de textura eutaxítica gris a gris parduzco. La potencia de esta unidad es variada y supera los 300 metros y aflora hacia el este del proyecto.

Toba lítica andesítica y toba de cristal lítico andesita basáltica.

son de colores oscuros, se presentan en bancos gruesos y compactos dando la apariencia de flujos lávicos. Para el caso de las tobas líticas se han diferenciado dos niveles, estando el nivel superior (toba andecítica) sobreyaciendo niveles de lava andesítica.

Autobrecha de domo de flujo andesítico

Es muy característico en la parte central del domo el bandeamiento es subvertical mientras que los flancos es subhorizontal. Las autobrechas se localizan en el borde o en la parte superior de los domos.



Pórfido riolítico de cuarzo-feldespato

Con el emplazamiento de este cuerpo intrusivo al parecer se selló la actividad magmática en la zona. Corta a todas las secuencias descritas anteriormente. Se caracteriza por presentar ojos de cuarzo y cristales de biotita.

Brecha hidrotermal

Son afloramientos discontinuos alineados en dirección N-S, de 100m de ancho por 400m de largo, está cortando a la secuencia piroclástica y al stock andesítico. Se caracteriza por tener fragmentos silicificados heterolíticos (cuarcitas y tufos), polifásica (variedades de sílice gris, pardo y crema) y en el tope del afloramiento predomina sílice calcedónica y cortada por fracturas E-W rellena con cristales de baritina y óxido de hierro.

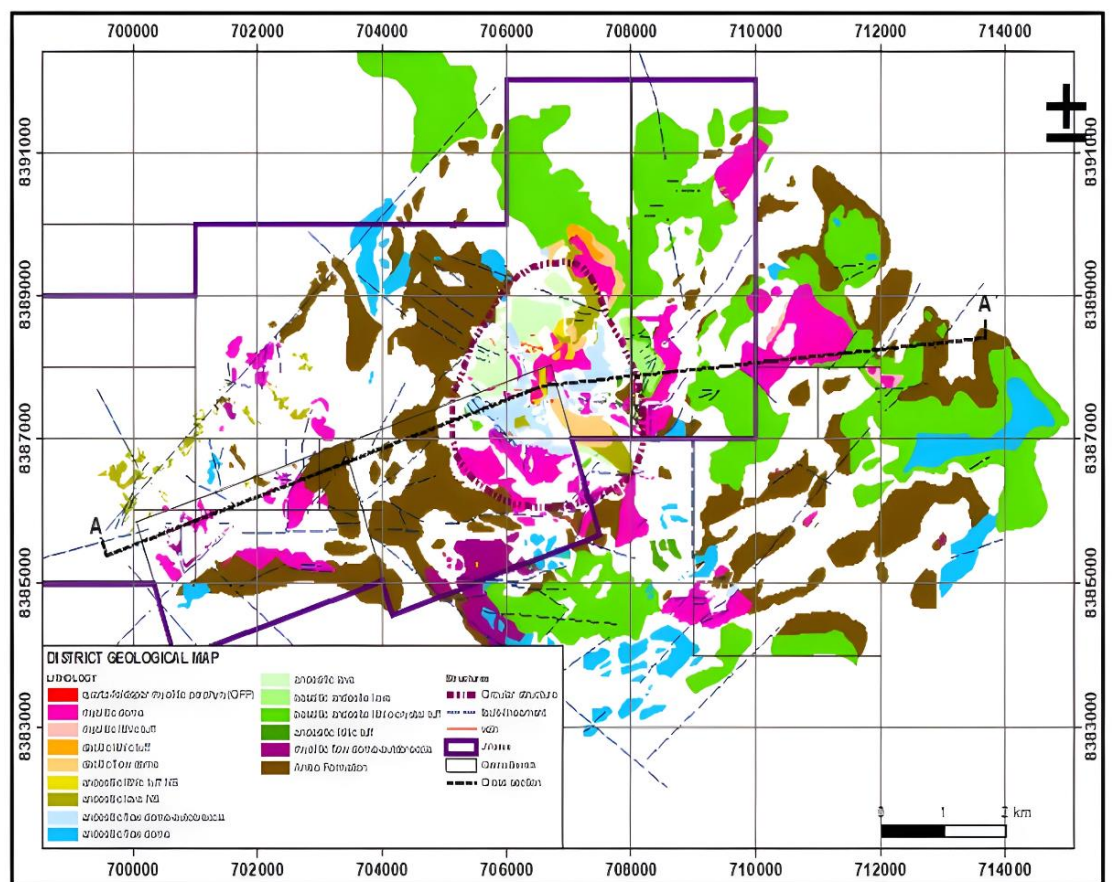


Figura 4— Geología Local

Fuente: Empresa minera Barrick



1.1.5.5.3 Geología estructural

Localmente las estructuras predominantes son: NE-SW, los cuerpos de brecha hidrotermal silicificados del sector Inshuña siguen el lineamiento N-S. Hacia el sur está intersectada por una estructura regional NE-SW que separa el target Colcabamba con la mina Selene. La brecha hidrotermal posteriormente ha sido fracturada por fallas escalonadas normales NE-SW el cual lo ha intersectado la parte norte. Las fallas NW-SE siguen el patrón andino y han sido enmascaradas por las fallas más recientes.

a) Alteración

La brecha hidrotermal polifásica silicificada (fragmento y matriz silicificada), en el tope con matriz calcedónica y con fracturas tapizadas con baritina, en algunos intervalos se comporta como un clavo mineralizado de $Au > Ag$. Borneado a la brecha hidrotermal con alteración silícea se observa alteración local de argílica avanzada de kaolinita, dickita, alunita, diapora (en fracturas y espacios abiertos), topacio (escaso a ausente) y pirofilita (escaso) y con una extensa alteración argílica illita, smectita y clorita en los bordes. La alteración argílica avanzada está restringida por la roca caja adyacente de composición andesítica.

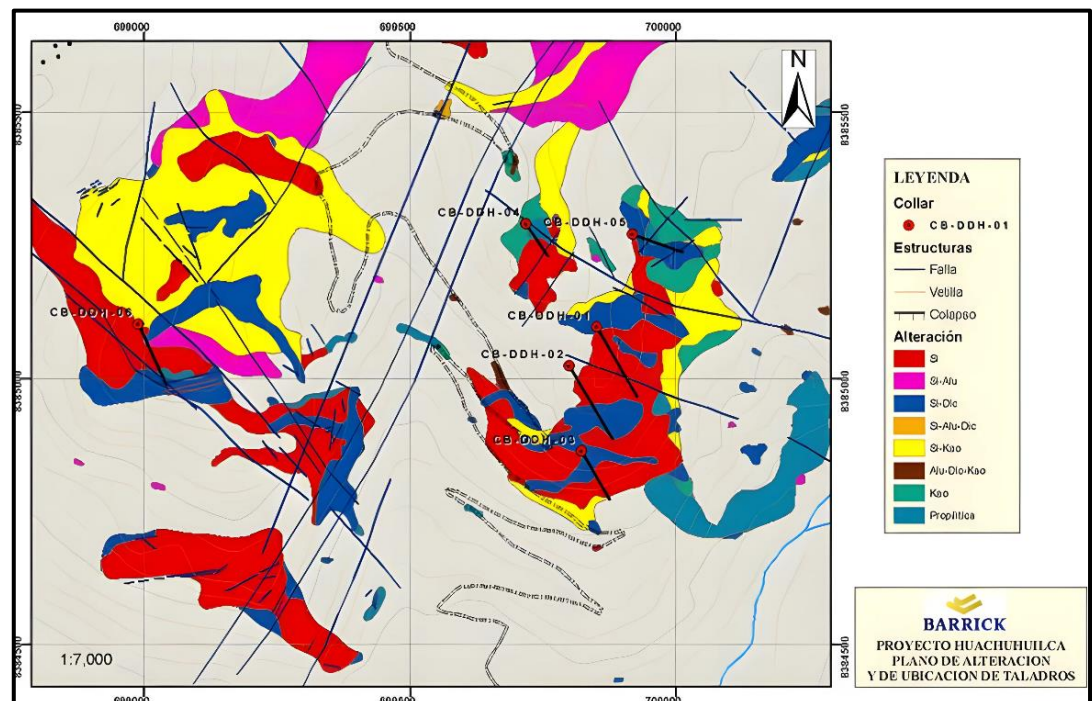


Figura 5— Geología Estructural

Fuente: Empresa minera Barrick



b) Mineralización

Con la finalidad de entender mejor la asociación de minerales se ha efectuado estudios minera gráficos en secciones pulidas con los cuales se ha identificado los siguientes minerales en el yacimiento de Unchiña Pirita (Fe_2S). Se halla en forma masiva y reemplazando casi totalmente a la roca original.

Calcopirita (CuFeS_2). Se observa en diminutos cristales subhedrales y en forma masiva, la calcopirita está asociada a la enargita Calcita (CaCO_3). Se encuentran formando venillas y como parte de la matriz de tobas y brechas.

Arsenopirita (FeAsS). Se presenta como relleno de fracturas junto a la hematita, Se presenta en pequeños cristales tabulares en algunas vetillas asociados a la pirita. Las anomalías de Au tienen promedio de 1.4 g/t Au, con valores de hasta 25.3 g/t Au, no se observa sulfuros. La alta ley está asociada a fracturas tapizados con baritina.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Determinar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes 2023.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.
- Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.
- Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

Las clasificaciones geomecánicas son adecuados para el diseño de sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023.

2.2.4 Hipótesis específicas

- Es adecuado el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.
- Es favorable el diseño de sostenimiento a partir de las clasificación geomecánicas de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.
- Es adecuado el diseño sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.



2.3 Operacionalización de variables

Variable independiente: Clasificaciones geomecánicas

Variable dependiente: Diseño de sostenimiento

Tabla 4 — Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente: Clasificaciones geomecánicas	Las clasificaciones geomecánicas, consiste en que permiten obtener, mediante las correlaciones establecidas, los principales parámetros mecánicos y evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad (RAMIREZ OYANGUREN, y otros, 2004)	Esta variable consistió en realizar los trabajos de campo en cuantificar y analizar las propiedades mecánicas y físicas del macizo rocoso	D1: Barton	I1: Espaciamiento I2: Condición de juntas I3: presencia de agua subterránea I4: corrección por orientación
			D2: Bieniawski	I1: Resistencia a la compresión simple I2: R.Q.D I3: Espacio de las discontinuidades I4: condición de discontinuidades I5.- presencia de agua I6.- orientación de discontinuidades
Variable dependiente: Diseño de sostenimiento	Las labores mineras que permanezcan abiertas, se podrán usar como elemento de sostenimiento el hormigón manteniendo las características técnicas de resistencia a la compresión simple, a la tracción, la flexotracción y a la adhesión (DS 023-2017-EM)	Esta variable consistió en realizar la estimación del tiempo de autosoporte a partir de las características mecánicas y físicas de la labor	D3: Hooke y Brown (GSI)	I1. Estructura del macizo rocoso I2. Condición de las discontinuidades: I3. orientación de discontinuidades
			D1: Condiciones del terreno	I1: Roca muy buena I2: Roca buena I3: Roca regular I4: Roca mala I5: Roca muy mala
			D2: Tipo de sostenimiento	I1: Shotcrete I2: Cerchas Metálicas I3: Anclajes I4: Mallas Metálicas:
			D3: Diseño adecuado	I1: Muy malo I2: Malo I3: Medio I4: Bueno I5: Excelente



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

- a) (CHURATAS, 2021) En su artículo de investigación titulada “Estudio del comportamiento geomecánico del macizo rocoso” su objetivo fue determinar la influencia del estudio del comportamiento geomecánico de taludes en el diseño de bancos, para de ello se debe determinar el RQD, RMR y GSI. Para que el estudio geomecánico de taludes influye en la elaboración del diseño de bancos de la cantera de arena fina “Awchi” y la cantera “Agocucho” La comparación desarrollada es experimental con diseño correlacional, la variable dependiente es el estudio geomecánico y la independiente es el diseño de bancos ya que cuentan con diferentes formas de explotación, estos yacimientos pertenecen a la formación geológica Chimu. La presente comparación involucra trabajo de campo, de laboratorio y análisis en gabinete: se realizó la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, mediante la descripción a detalle de la matriz rocosa y las discontinuidades; de las investigaciones, el análisis de estas comparaciones nos da para optar el método más adecuado, completo y de bajo costo para así determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en canteras. a partir de la información de campo recopilada y su posterior procesamiento se pudo obtener diversas formas de comportamiento geomecánico del macizo rocoso; también se determina la variación y diferencia de los yacimientos a pesar que son de la misma formación.

- b) Según (VALDES, 2019) en la tesis de postgrado “Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR)” fijo como objetivo, generar un modelo predictivo de la clasificación geomecánica de Bieniawski (Rock Mass Rating, RMR) presente en el yacimiento y cuantificar la incertidumbre en este parámetro mediante simulación geoestadística aplico una metodología un procedimiento sintetizado a seguir para llevar a cabo el ejercicio propuesto para un caso de estudio de acuerdo con los objetivos planteados siendo

la investigación de enfoque cuantitativo obtuvo los resultados las realizaciones permiten determinar el comportamiento esperado del yacimiento, con un escenario promedio de RMR que varía de 50 a 63 en el primer enfoque y de 53 a 64 en el segundo enfoque, clasificándose el dominio simulado en calidad de roca regular o buena. En cada enfoque la probabilidad de visualizar una roca con mala calidad es baja, indicando una zonificación de bajo riesgo para futuras operaciones siguientes finalmente fija como conclusión que genere un modelo predictivo de la clasificación geomecánica de Bieniawski (Rock Mass Rating, RMR 1989) en un macizo rocoso y cuantifico la incertidumbre de esta clasificación mediante simulación geoestadística. Para esto se realizaron mapas con dos enfoques con una mayor continuidad a corta escala con respecto a la simulación resultantes. Sin embargo, considerando el rango (de 0 a 100) y la dispersión de la variable RMR a modelar, las estadísticas de los errores de validación cruzada son muy similares no permitiendo establecer la superioridad de uno u otro enfoque en términos de la capacidad de predecir el RMR en sitios no muestreados.

- c) Según (THOMAS, 2014) en la tesis de pregrado “Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definitivos según métodos empíricos de clasificación geomecánica versus métodos analíticos y numéricos” fijo como objetivo, evaluar los requerimientos de soporte en túneles obtenidos mediante el uso de metodologías empíricas y comparando sus resultados entre sí y con el resultado de escenarios análogos obtenidos a partir de modelos analíticos y numéricos (software) aplico una metodología esta fue una investigación cuantitativa de nivel descriptivo experimental obtuvo los resultados siguientes en el contexto descrito y considerando la validez del programa para los casos investigados, se muestran en esta sección los resultados obtenidos en Phase2 los diagramas muestran los desplazamientos totales del macizo rocoso además las zonas de plastificación del macizo, de las diaclasas, del shotcrete y de los pernos instalados según sea el caso finalmente fija como conclusión respecto al uso de este programa en esta investigación dice relación con el rango de aplicación donde es posible analizar los modelos usados para la investigación ante la capacidad física (hardware) disponible para este trabajo de título. Dentro de los alcances y objetivos de este trabajo están la búsqueda o estudio del comportamiento de macizos ante la presencia de discontinuidades



que lo definan como un material fracturado, esta situación pierde validez cuando los tamaños de bloque analizados tienen espaciamientos demasiado pequeños para las familias de diaclasas, generando modelos de elementos finitos que se acercan más a un comportamiento continuo y de material homogéneo, que a uno con un comportamiento controlado por la interacción de los bloques existentes. Esta situación se verá afectada ante el análisis de una sección de túnel más pequeña, que conduzca a un análisis para un espectro menor de CF ($CF=Dt/Db$) y que evitaría un refinamiento excesivo del modelo, aun manteniendo las características geométricas del macizo rocoso (volumen de bloque).

- d) Según (CACERES, 2020) En su tesis titulada “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa - 2021” tuvo como objetivo general definir por el método de Q Barton, cuál será el diseño de sostenimiento más adecuado, de acuerdo al dominio geomecánico en mina Chaparra - Caravelí, Arequipa – 2021. La metodología fue de nivel explicativa, diseño no experimental transeccional y bajo enfoque cuantitativo, se aplicó a muestras no probabilísticas representadas por once tramos o progresivas a lo largo de la profundidad o excavación de la mina en sondeos de afloraciones rocosas. Se aplicaron como técnicas y métodos para la recolección de información, la observación directa, utilización de la picota y el método Q de Barton. Con ello, se determinó la calidad del macizo rocoso, se evaluó el nivel de riesgo geomecánico que incide en la seguridad del personal, se definió el diseño de sostenimiento más adecuado y, por último, se realizó una evaluación técnica y económica de la propuesta determinada. Los resultados mostraron a lo largo del dominio de la mina, un 50% de roca con calidad buena, un 20% con calidad muy buena, un 20% con calidad muy baja y un 10% con calidad regular, resultando en promedio una calidad buena para un Q de 29. Se encontró un 29% de riesgo muy alto (por el tipo de desate de roca y método de explotación), 29% de riesgo bajo, 14% de riesgo alto (tipo de voladura de la excavación), 14% riesgo muy bajo y un 14% de representación de riesgo medio atribuido (tipo de perforación y sostenimiento de mina). Por otro lado, se determinó un sistema de sostenimiento de empernado puntual para dominios con calidad muy mala, para v calidad regular sistema de empernado sistemático con espaciado 1.5 - 2 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr.; en tanto para dominio con calidad buena, en su mayoría, corresponde

empernado sistemático con espaciado entre 2 - 3 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr. Por último, para dominio con calidad muy buena, resultó sostenimiento puntual con espaciado entre 3 – 3.8 m, SB. Finalmente, se presenta un diseño de sostenimiento activo, constituido por pernos de anclaje por adhesión del tipo helicoidal, cuyo costo de implementación corresponde S/ 3,125.97 por metro lineal.

3.1.2 A nivel nacional

- a) Según (FLORES, 2021) Autor en la tesis de pregrado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis” fijo como objetivo, realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito de San Luis aplico una metodología obtuvo los resultados se realizó el mapeo del macizo rocoso para determinar un tipo de sostenimiento adecuado y de acuerdo a los datos obtenidos de la caracterización del macizo rocoso es mala debido al afloramiento que alteraron el macizo rocoso siendo esta inestable para su extracción del mineral se evaluó los parámetros geo mecánicos de RMR De Bieniawski y se determinó que el tipo de sostenimiento depende de la calidad del macizo rocoso y su competencia para determinar mediante estudios geomecánicos el tipo de sostenimiento y el tipo el cual va a durar para las labores mineras, finalmente fija como conclusión, en relación al objetivo de la selección de la metodología se encontró que el estudio más completo es de realizar mediante uso de simulación de programas de sostenimientos y esfuerzo atencional del macizo rocoso para evaluar y determinar con mejor aceptación la determinación de un tipo de sostenimiento más adecuado para la extracción de mineral en las labores subterráneas.

- b) Según (TACURI, 2017) en la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina hércules – cia minera Lincuna S.A” fijo como objetivo, determinar el estado geomecánico del macizo rocoso de la mina hércules aplico una metodología Aplicando una metodología: siendo de método científico, La investigación es aplicada, con nivel de investigación explicativo obtuvo los resultados se determinó cuatro tipos de roca: II-A, II-B, III-A, III-B, IV-A, IV-B y con esto a su vez seleccionar el sistema



de sostenimiento más conveniente finalmente fijo conclusiones, que las clasificaciones geomecánicas 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 y también fija que de acuerdo a la clasificación geomecánica GSI, las rocas existentes en el nivel 4300 de la mina Hércules, tienen calidad: buena ($RMR > 51$ a 70), calidad mala ($RMR = 21 - 40$)

siguientes finalmente fija como conclusión conforme a la aplicación de sistemas geomecánicos el RMR 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 y voladura.

La clasificación geomecánica practicada en el nivel 4300 de la mina Hércules al conocimiento de 3 tipos de rocas que a su vez han determinado el sostenimiento a utilizarse para su estabilidad como también la formulación de los costos unitarios excavación, teniendo en cuenta el proceso constructivo y el RMR hallado, las rocas a su vez se clasifican en roca tipo I, II, III y IV respectivamente.

- c) según (SALAZAR, 2020) la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica para determinar en tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente unidad minera yauri cocha Sociedad Minera Corona S.A.” fijo como objetivo determinar cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente, tajeo 0337, RP basculante, piso 0 nivel 1170, zona V cuerpo mascota - unidad minera Yauricocha, 2018, aplico una metodología de enfoque cuantitativo de nivel descriptivo-explicativo de tipo cuasi experimental obtuvo los resultados realizo la descripción petrográfica del macizo estableciendo roca predominante andesita compuesta por plagioclasas, cuarzo y hornblenda, determino las propiedades físicas siendo estas: contenido de humedad de 0.50777%, porosidad de 1.46408% , absorción de 0.52542%, densidad masiva de 2563,3 kg/m³, densidad seca de 2588,244 kg/m³ y gravedad específica $G_s = 2,80065$ y en los cálculos de las propiedades mecánicas resulto un $RQD = 97.343\%$, la resistencia a la compresión mediante el martillo de Schmidt obtuvo un 150 Mpa y un RMR de 74 finalmente fija como conclusión se estableció



que la evaluación geomecánica de tajeo 0337, conforme a la clasificación de Bieniawski, dieron como resultado que el tipo de sostenimiento aconsejado para la roca que se tomó como muestra es de valorización 74 puntos lo cual lo clasifica como macizo rocoso bueno clase II. Este resultado nos permite utilizar pernos Split set localmente de 3m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla electrosoldada y shotcrete ocasionalmente.

- d) Según (NINA, 2021) en la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica para la selección del tipo de sostenimiento en la construcción en la rampa-440, en la minera aurífera cuatro de enero s.a. (Macdesa)-Arequipa” fijo como objetivo, determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la selección del tipo de sostenimiento para cada tipo de roca mediante la clasificación geomecánica en la construcción de la rampa 440 se aplicó una metodología de enfoque descriptivo no experimental obtuvo los resultados que garantizan una mejor selección del tipo de sostenimiento para cada tipo de roca mediante la clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989 y Q de Barton los cuales reducen los tiempos y costos de sostenimiento finalmente fija como conclusión principal que la evaluación geomecánica del macizo rocoso en la construcción de la rampa 440 de la minera aurífera cuatro de enero S.A. Para efectos de selección de sostenimiento de acuerdo a la clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989 y Q de Barton, permitió determinar que la selección del tipo de sostenimiento adecuado para cada tipo de roca está en función de una evaluación geomecánica constante y eficiente.
- e) Según (ARANA, y otros, 2019) en la tesis de pregrado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su influencia en el tipo de sostenimiento en el nivel 05 de la mina subterránea paredones, san pablo, Cajamarca, 2019” fijo como objetivo, determinar de qué manera la caracterización geomecánica del macizo rocoso contribuye en la definición del tipo de sostenimiento para el nivel 05 de la mina subterránea Paredones, San Pablo, Cajamarca. aplico una metodología de esta investigación fue descriptiva, explicativa y cuantitativa obtuvo los resultados La caracterización geomecánica el macizo rocoso basado en el RMR de Bieniawski-1989 en promedio de las tres estaciones, es de $RMR = 56$, siendo una roca de calidad Regular, con una resistencia entre 1 y 2 MPa, con $RQD=78\%$, el espaciado promedio es de 29.7 cm, la persistencia está entre 3 y 10 metros, la abertura entre 1 y 5 mm, las discontinuidades son ligeramente rugosas, con relleno



de cuarzo mayor a 5 mm moderadamente alteradas, finalmente las discontinuidades se encontraron húmedas. Según la Q de Barton la roca es mala, por lo cual necesita sostenimiento. El tipo de sostenimiento según Merrit 1972, es el de Bulonado Sistemático de 3-4 m con separaciones de 1,5-2 m en clave y hastiales con mallazo en clave. La excavación será con avance de 1,5 a 3 metros. finalmente, fija como conclusión que la caracterización geomecánica el macizo rocoso basado en el RMR de Bieniawski-1989, es de $RMR = 56$, siendo una roca de calidad Regular, con una resistencia entre 1 y 2 MPa, con $RQD=78\%$, el espaciado promedio es de 29,7 cm, la persistencia está entre 3 y 10 metros, la abertura entre 1 y 5 mm, las discontinuidades son ligeramente rugosas, con relleno de cuarzo mayor a 5 mm moderadamente alteradas, finalmente las discontinuidades se encontraron húmedas. Y la Q de Barton es 1,9 siendo una roca mala.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas según (RODRIGUEZ, 2007 pág. 12), el macizo rocoso es un medio discontinuo, complejo, con un comportamiento geomecánico, que puede ser estudiado y clasificado en función de su aptitud para distintas aplicaciones.

Las clasificaciones geomecánicas aportan índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo, sostenimiento de túneles, excavabilidad.

La descripción y medida de las características y propiedades de la matriz rocosa, de las discontinuidades y de los parámetros globales del macizo rocoso, proporcionan los parámetros requeridos por las clasificaciones.

3.2.2 El RMR de Bieniawski (1989)

Esta clasificación geomecánica RMR o Rock Mass Rating fue desarrollado por Bieniawski durante los años 1972-73, y modificado posteriormente en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. (Bieniawski, 1989).

La teoría de Bieniawski constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles.

El RMR se obtiene estimando seis parámetros y el valor que define la clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, ensayo PLT, ensayo de compresión simple: ensayo RQD
- R.Q.D. Grado de fracturamiento del macizo rocoso: separación entre diaclasas (m)
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas



- Orientación de las discontinuidades

La estimación de RMR resulta de la sumatoria de los valores de los parámetros se hace uso de la siguiente tabla.

Tabla 5 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORACIONES									
Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de roca intacta	Índice de carga puntual	>10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
Valoración			15	12	7	4	2	1	0
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valoración			20	17	13	8	3	
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200 mm	<60mm		
	Valoración			20	15	10	8	5	
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes ligeramente intemperie.	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes altamente intemperie	Espejo de falla o panizo <5mm de espesor Apertura de 1- 5mm juntas continuas	Pánico suave >5mm de espesor o apertura >5mm Juntas continuas		
	Valoración			30	25	20	10	0	
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel (l/m) presión de agua / principal máxima condición general	Ninguno 0 Completamente seco	< 10 <0,1 Húmedo	10-25 <0,1 Mojado	25-125 0,1-0,2 Goteo	>125 >0,5 Flujo		
		Valoración			15	10	7	4	0

Fuente: Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos de Bieniawski

Tabla 6 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (Mpa)

Descripción	Resistencia a compresión simple (UDS)	Ensayo de carga puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	<1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

Fuente: Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos de Bieniawski

Tabla 7 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca

Tipos de rocas	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298

Extraído de: Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos de Bieniawski.

a) índice de calidad de la Roca (RQD)

Fue desarrollado por Deere, el RQD:

$$RQD = \frac{\sum \text{ripios} > 10 \text{ cm}}{\text{Total de la Perforación}}$$

Para el segundo caso se utiliza la siguiente formula:

$$RDQ = 115 - 3,3 (J_v)$$

Para el tercer caso se utiliza la siguiente formula:

$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1)$$

3.2.3 Clasificación geomecánica de Barton

Basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, el Norgerian Geotechnical Institute (N.G.I), propuso un índice para determinar la calidad del macizo rocoso en túneles y taludes.

Esta clasificación utiliza seis parámetros para definir la clase de macizo:

- R.Q. D
- Índice de fracturamiento (J_n)
- Índice de la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades (J_r)
- Índice de la alteración de las discontinuidades (J_a)
- Coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w)
- El coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso (SRF)

SRF: índice del estado de tensión del macizo.

SRF toma el valor de: (1) la carga que se disipa en el caso de una excavación dentro de una zona de fallas y de roca empacada en arcillas; (2) los esfuerzos en una roca competente; (3) las cargas compresivas en rocas plásticas incompetentes

El valor numérico de este índice Q se define por:

El primer cociente (RQD / J_n), representa la estructura del macizo, es una medida rudimentaria del tamaño de los bloques o de las partículas con dos valores extremos (100/0,5 y 10/20) con un factor de diferencia de 400.

El segundo cociente (J_r / J_a), representa la rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las fisuras o de los materiales de relleno.

El tercer cociente (J_w / SRF), representa la influencia del estado tensorial

La calidad de la roca R.Q.D. de haberse obtenido de las ecuaciones de correlación.



Parámetros para definir la clase de macizo según las tablas siguientes:

Tabla 8 — Valoración del Índice de calidad de R.Q.D.

Índice de calidad R.Q.D. (%)	calidad	Valoración
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Excelente	20

Extraído de: Clasificaciones geomecánicas de Barton

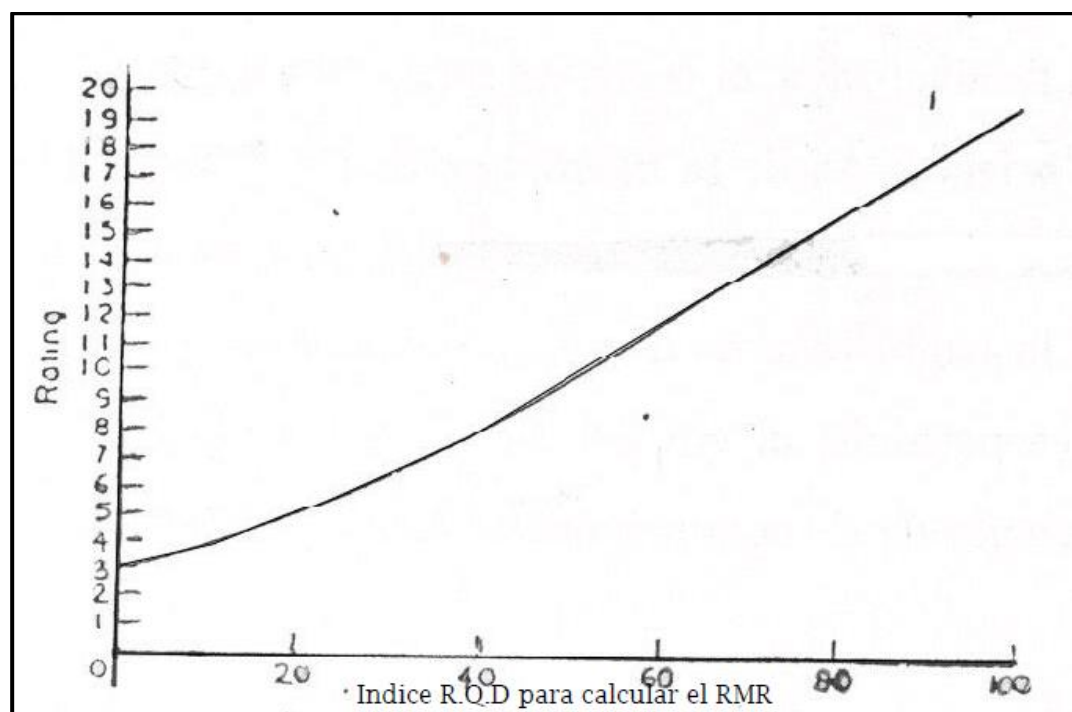


Figura 6— Grafico para determinar el índice RMR, para el parámetro R.Q.D.

Tabla 9 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades

FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		
	DESCRIPCION	Jr.
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Rugosas e irregulares, onduladas	3
C	Lisas, Onduladas	2
D	Lustrosas Ondulantes	1,5
E	Rugosas o irregulares, planares	1,5
F	Lisas, Planares	1
G	Lustrosas, Planares	0,5
H	Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J	Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
NOTAS.		
En grupos A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm. Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.		
En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla * Agregar 1,0 cuando el espaciamiento medio de las diaclasas fuera superior a 3 cm. * Jr. = 0,5 puede ser usado para juntas planares lustrosas que tienen alineaciones, siempre que las alineaciones están orientadas para la resistencia mínima		

Extraído de: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas (Madecsa)

Tabla 10 — Valoración del número de discontinuidades

NUMERO DE DISCONTINUIDADES	
descripción	J n
Masiva o con muy poca discontinuidad	0,5 – 1,0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas principales y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20
Nota:	
i) Para intersecciones de túneles, usar $(3,0 * J_n)$	
ii) Para portales usar $(2,0 * J_n)$	



Tabla 11 — Valoración del número de discontinuidades

FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES		
DESCRIPCION		Ja
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos)		
A	Ajustadas, rellenas con material compacto	0,75
B	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1
C	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2
D	Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva.	3
E	Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor	4
b) Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10cm de (relleno de mineral fino)		
F	Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	4
G	Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto.	6
H, I	Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcillosos compacto con bajo grado de consolidación	8
J	Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita) el valor de Ja dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc.	8 - 12
c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla (relleno de mineral grueso)		
K, L, M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	6 - 8 ó 8 - 12
N	Zona de arcilla limosa o arenosa	5
O, P, Q	Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G,H,J para la descripción de los tipos de arcilla)	10 - 13 ó 13 - 20

Extraído de: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas (Madcasa)

Tabla 12 — Valoración de coeficiente reductor por la presencia de agua

FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS		
DESCRIPCION		Jw
A	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1
B	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0,66
C	Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	0,5
D	Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0,33
E	Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	0,2 – 0,1
F	Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0,1 – 0,05
<p>NOTAS.</p> <p>i) Factores C a F son estimaciones básicas. Aumentar Jw si se han instalado medidas de drenaje.</p> <p>ii) Especiales problemas causados por la formación de hielo no son considerados.</p> <p>iii) Para la caracterización general de las masas de roca distantes de las influencias de excavación, el uso de Jw = 1,0, 0,66, 0,5, 0,33, etc. aumenta con la profundidad como por ejemplo 0-5m, 5-25m, 25-250m a > 250m se recomienda, si se asume que RQD / Jn es lo suficientemente bajo (ejemplo 0,5-25) para una buena conectividad hidráulica. Esto le ayudará a ajustar Q para algunos de las tensiones efectivas y los efectos de ablandamiento de agua, en combinación con los valores apropiados de caracterización SRF. Correlaciones con módulo de deformación estática y la profundidad dependen de la velocidad sísmica. En la práctica usar estos valores cuando se desarrollan.</p>		

Extraído de: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas (Madecsa)

Tabla 13 — Valoración de factor de reducción por tensiones

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES		SRF
DESCRIPCION		
A) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando.		
A	Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química	10
	roca circundante muy suelta cualquier profundidad	
B	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente	5
	(profundidad menor 50m)	

C	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m.			2.5
D	Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad)			7.5
E	Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m.			5
F	Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.			2.5
G	Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier Prof.			5
Nota: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen, pero no intersectan la excavación.				
B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		sc/s1	sq/sc	SRF
H	Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	> 200	< 0.01	2.5
J	Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas	3 - 2	0.65 - 1	50 - 200
N	Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200 - 400
Nota: ii) Para campos insitu fuertemente anisotrópico (si se ha medido): cuando $5 \leq s1/s3 \leq 10$, reducir sc en $0.75sc$, cuando $s1/s3 > 10$, reducir sc a $0.5sc$, donde sc=esfuerzo compresivo sin confirmar, s1 y s3 son los esfuerzos principales mayores y menores y sq=esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad) iii) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para este caso se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H).				
C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones litostaticas			sq/sc	SRF
O	Presión de deformación suave		1 - 5	5 a 10
P	Presión de deformación intensa		> 5	10 a 20
Nota: iv) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades $H > 350 * Q^{(1/3)}$. La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7 * g * Q^{(1/3)}$, donde g=densidad de la roca(gm/cc)				
D) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua				
R	Presión de expansión suave			5 - 10
S	presión de expansión intensa			10 - 15

Extraído de: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas (Madecsa)



3.2.4 Clasificación según el índice de GSI (HOEK BROWN)

Es un sistema de caracterización de macizos rocosos que ha sido desarrollado en la ingeniería de mecánica de rocas para satisfacer la necesidad de datos de entrada confiables relacionados con las propiedades del macizo rocoso requeridos para el análisis numérico o soluciones de diseño para el diseño de túneles, taludes o cimentaciones en rocas

El carácter geológico del material rocoso, junto con la valoración visual del mismo, son usados directamente como datos de entrada para la selección de los parámetros para predecir la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso. Esto también provee un método en campo para caracterizar macizos rocosos difíciles de describir (Marinos & Hoek, 2000).



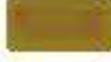
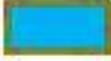

SOSTENIMIENTO SEGÚN GSI		CONDICIÓN	Buena (muy resistente fresca)	Regular (resistente levemente alterada)	Pobre (moderadamente resistente)	Muy pobre (blanda muy alterada)
	sin soporte o perno ocasional					
	perno sistemático	N				
	perno y malla	D				
	cuadro de madera	I				
	cuadro de madera a 1.2 -1.5	C				
		O				
		N				
		E				
		S				
ESTRUCTURA						

Figura 7— Cartilla de Sostenimiento según GSI

Fuente: Clasificaciones geomecánicas GSI (HOEK BROWN)







Levemente fracturada 	LF/B	LF/R	LF/P	
Moderadamente fracturada 	F/B	F/R	(A) F/P	(A) F/MP
Muy fracturada 	MF/B	(A) MF/R	(A) MF/P	(A) MF/MP
Intensamente fracturada 		(A) IF/R	(A) IF/P	(A) IF/MP

Figura 8— Cartilla de Sostenimiento GSI (HOEK BROWN)

3.2.4.1.1 Resistencia a compresión simple

Según (IÑIGUEZ TORAL, 2020) Se denomina resistencia a la compresión simple de una roca al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. Esta valoración o parámetro se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de macizos rocosos. Estas son conocidas como clasificaciones geomecánicas y derivan de la diferencia existente entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo, que presenta diferentes grados de fracturación y meteorización.

Las clasificaciones geomecánicas son sistemas de valoración del comportamiento del terreno rocoso. Se basan en calificar numéricamente las propiedades y características específicas de la roca en un emplazamiento determinado y posteriormente, obtener una calificación final como la suma de las valoraciones parciales. En la actualidad las clasificaciones geomecánicas se han generalizado y son ampliamente utilizadas, tanto en las fases de diseño como en las etapas de ejecución, en todo tipo de obras en macizos rocosos. Es importante, Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la resistencia a la compresión uniaxial o simple de la roca.



La resistencia a la compresión simple, es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse. Este ensayo sirve para determinar la resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro. Normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de perforación. También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que estas pueden generar nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos.

3.2.5 Diseño de sostenimiento

3.2.5.1 Sostenimiento

Para determinar los requerimientos de fortificación mediante el índice Q, se tiene que conocer la dimensión equivalente (De), este parámetro va a depender de la relación de dos elementos que son: la luz, diámetro o altura de la excavación y el índice ESR (Excavación Support Ratio).

$De = H_{tunnel} / ESR$. A través determinados ambos parámetros tanto el índice Q como diámetro equivalente (De) se emplea el ábaco establecido por Barton que permitirá determinar las características de sostenimiento. A través del Q de Barton se pueden determinar parámetros adicionales relacionados con el sostenimiento:

a) Máximo vano sin sostener

Es la longitud máxima de perforación y voladura que se puede realizar en un solo ciclo sin fortificación. Estas limitaciones en la longitud del avance están definidas por las características geotécnicas de la masa rocosa que se esté excavando. Se puede obtener mediante la siguiente fórmula empírica:

$$M_v = 2ESRQ^{0.4}(\text{mt}).$$



b) Carga de roca sobre la clave (Pr)

Escriba se refiere a la presión permanente que soporta el techo de la excavación, puede determinarse mediante la siguiente expresión según el número de familias de discontinuidades:

Para macizos con menos de tres familias de discontinuidades

$$P(kp/cm2) = (2\sqrt{Jn}) / (3Jr 3\sqrt{Q})$$

Para macizos rocosos con más de tres familias de discontinuidades

$$P(kp/cm2) = 2 / (3Jr 3\sqrt{Q}).$$

3.2.5.2 Tipos de sostenimiento

a) Sistema de soporte pasivo

Son sistemas diseñados para dar estabilidad al macizo rocoso conforme este se va formando debido a la excavación. Entre los sistemas de este tipo soporte son: entibación con madera, shotcrete, cerchas de acero o cimbras.

b) Sistema de refuerzo activo

Estos sistemas estabilizan la roca aumentando la resistencia a la fricción entre los bloques que conforman a la masa rocosa, entre los sistemas de refuerzo se tiene: pernos de roca.

3.2.5.3 Descripción de los tipos de sostenimiento

a) Cuadro de madera

Los cuadros son armazones de madera cuyos elementos están unidos entre sí por destajes, espigas o por elementos auxiliares de unión (topes, cuñas) formando una sólida estructura resistente principalmente a esfuerzo de compresión o peso de la roca.

Partes de un cuadro de madera:

- Sombrero.
- Postes
- Tirantes.
- Solera.



Elementos auxiliares

- Bloques.
- Cuñas.
- Embribado o emparrillado (techo).
- Enrejado o entablado (paredes).
- Longarinas

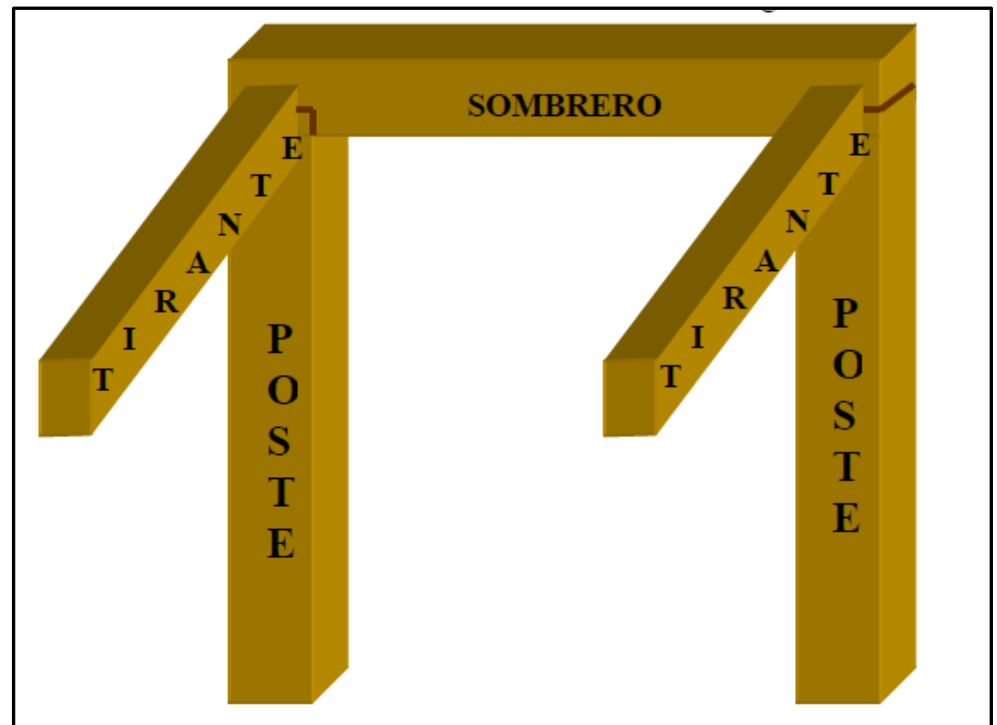


Figura 9— Partes de un cuadro de madera

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

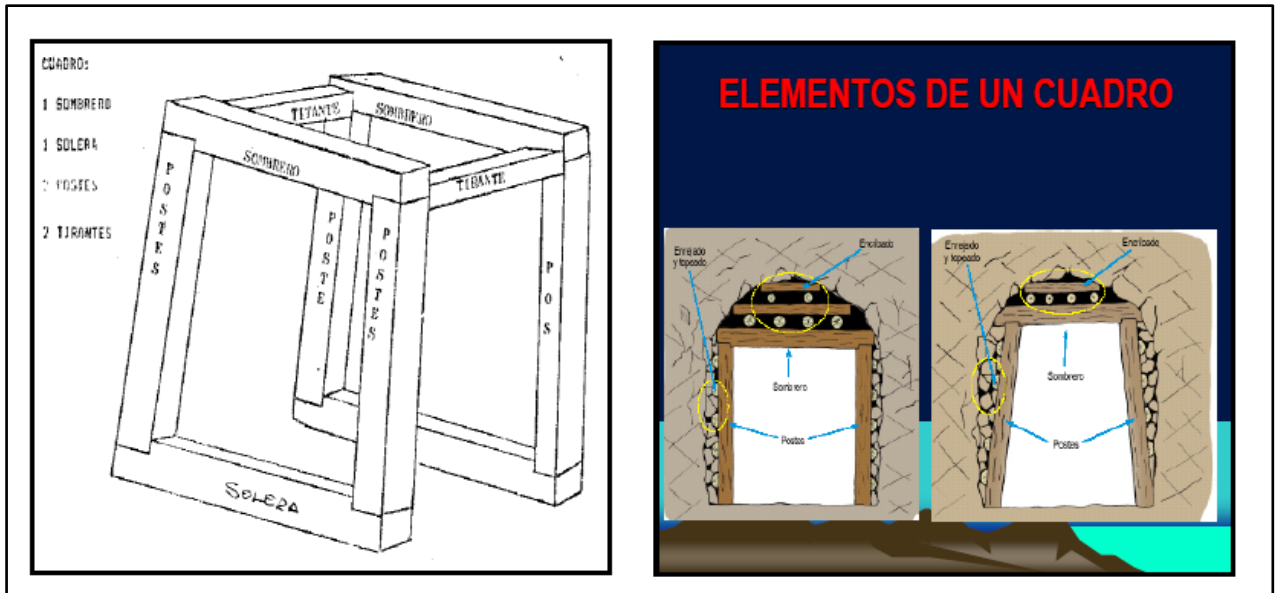


Figura 10— Elementos de un cuadro de madera

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

b) Puntales de madera

Son los elementos más simples en el sostenimiento de labores mineras, generalmente se usan puntales de madera de 6" y 8" de diámetro en tajeos; y en chimenea se usa de 4" a 5".

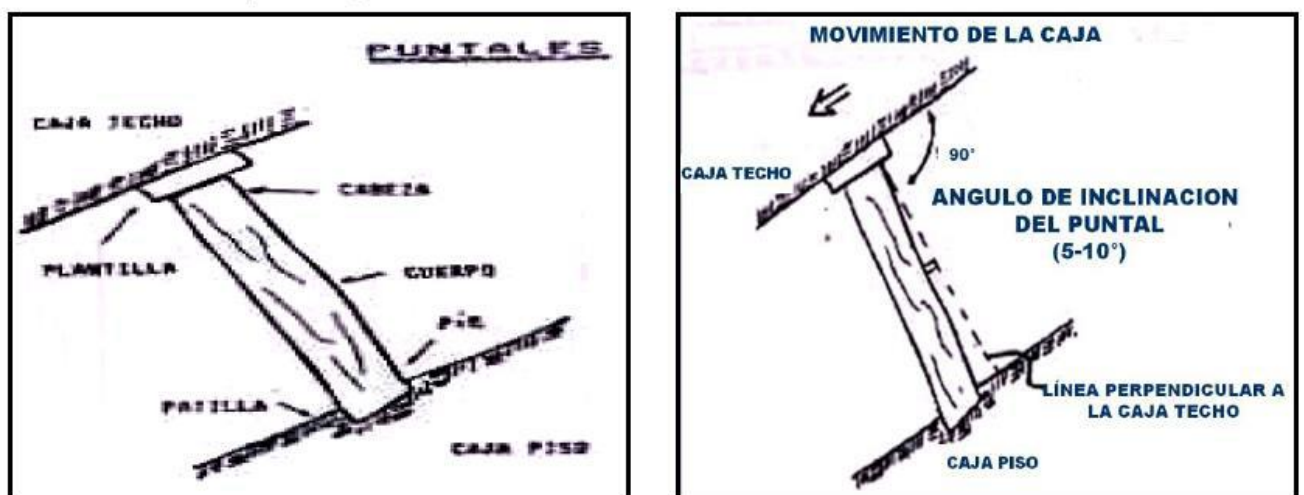


Figura 11— Puntales colocados para resistir presiones elevadas.

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

c) Sostenimiento con jackpot

Este tipo de sostenimiento es similar al puntal de madera, pero en lugar de utilizar una plantilla de madera en la parte superior del puntal se utiliza un dispositivo metálico que tiene la forma de un plato, con una válvula en la parte posterior por donde se hace ingresar agua a presión y conforme se expande fija el puntal.

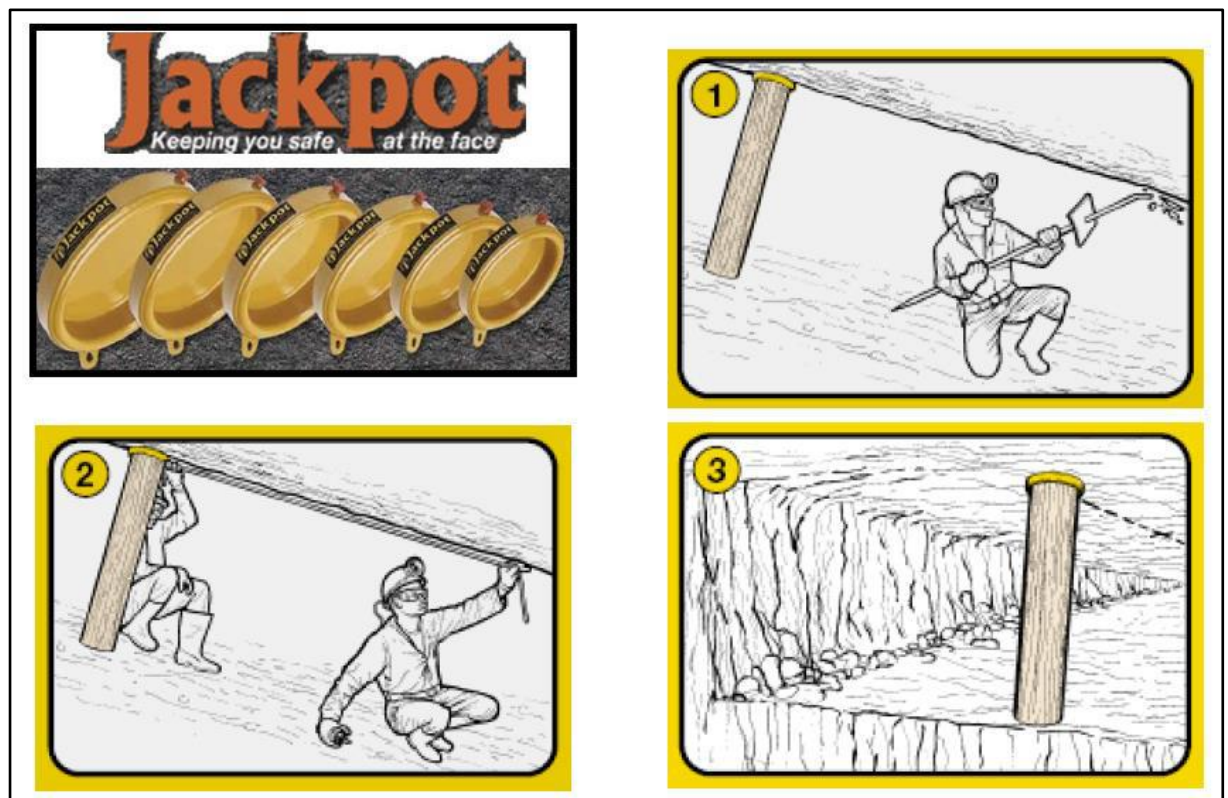


Figura 12 — Instalación del Jackpot

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

d) Sostenimiento con relleno hidráulico

El relleno Hidráulico es un tipo de sostenimiento mecanizado que consiste en preparación de pulpa a base de material dendrítico o desmonte, el cual es mezclado con cemento, acelerantes de fraguado y otros componentes. Estos son bombeados a interior mina mediante tuberías como relleno de labores de explotación.

Para que el sostenimiento con relleno sea efectivo la labor a rellenar tiene que ser debidamente acondicionado mediante barreras y procesos de embolsamiento.

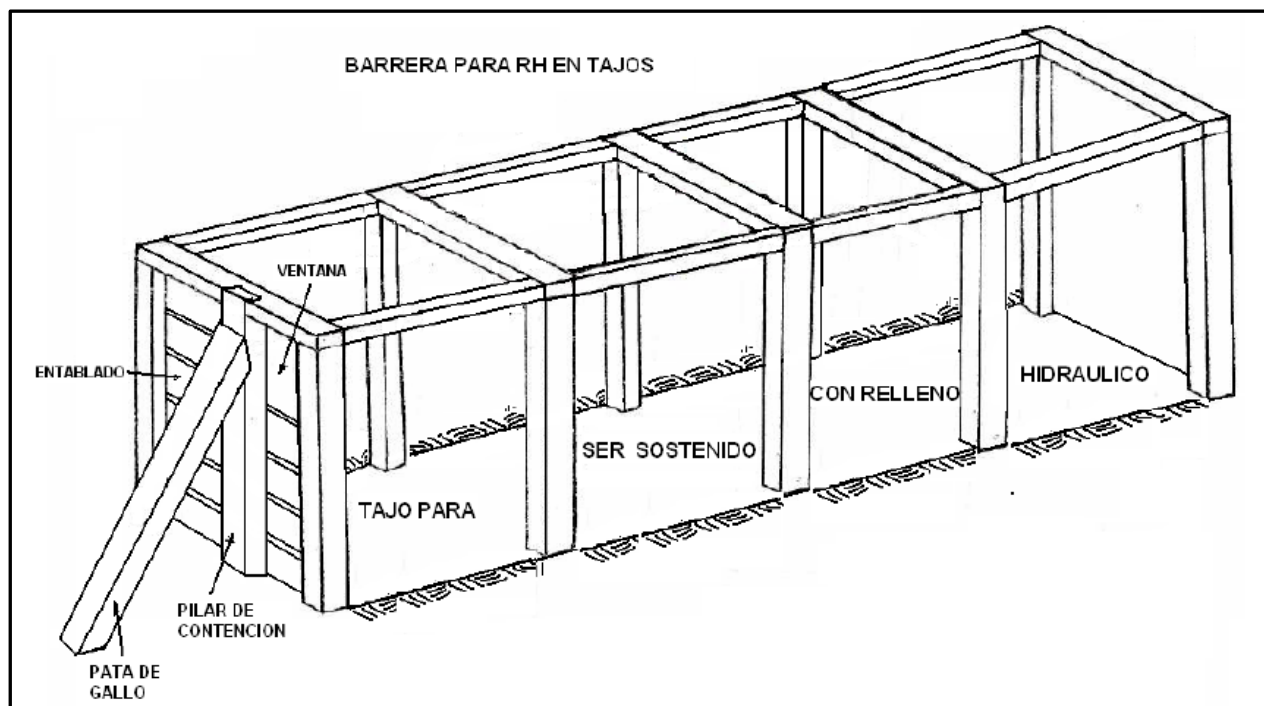


Figura 13— Sostenimiento con relleno hidráulico

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

e) Pernos en roca

Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. El papel principal de los pernos de roca es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas, potencialmente inestables. Esto es lo que se llama también el “efecto cuña”. Existe sostenimiento esporádico o puntual y sostenimiento sistemático en todo el techo y/o paredes de la excavación, según sea requerido. Los pernos de roca se pueden aplicar en cruceros, galerías, rampas, subniveles, también en tajos de explotación de los minerales. Los tipos de pernos Actualmente hay disponibles diferentes tipos de pernos de roca como los siguientes:

- Pernos anclados mecánicamente



- Pernos de varillas cementados o con resina
- Pernos anclados por fricción

Pernos de anclaje mecánico

Un perno de anclaje mecánico, consiste en una varilla de acero usualmente de 16 mm de diámetro, dotado en su extremo de un anclaje mecánico de expansión que va al fondo del taladro. Su extremo opuesto puede ser de cabeza forjada o con rosca, en donde va una placa de base que es plana o cóncava y una tuerca, para presionar la roca. Siempre y cuando la varilla no tenga cabeza forjada, se pueden usar varios tipos de placas de acuerdo a las necesidades de instalación requeridas. Este tipo de pernos es relativamente barato. Su acción de reforzamiento de la roca es inmediata después de su instalación. mediante rotación.



Figura 14— Pernos de anclaje mecánico

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

Pernos de varillas cementadas o con resina

Para el caso de los pernos cementados o con resina consideramos a las varillas de fierro corrugadas y las barras helicoidales

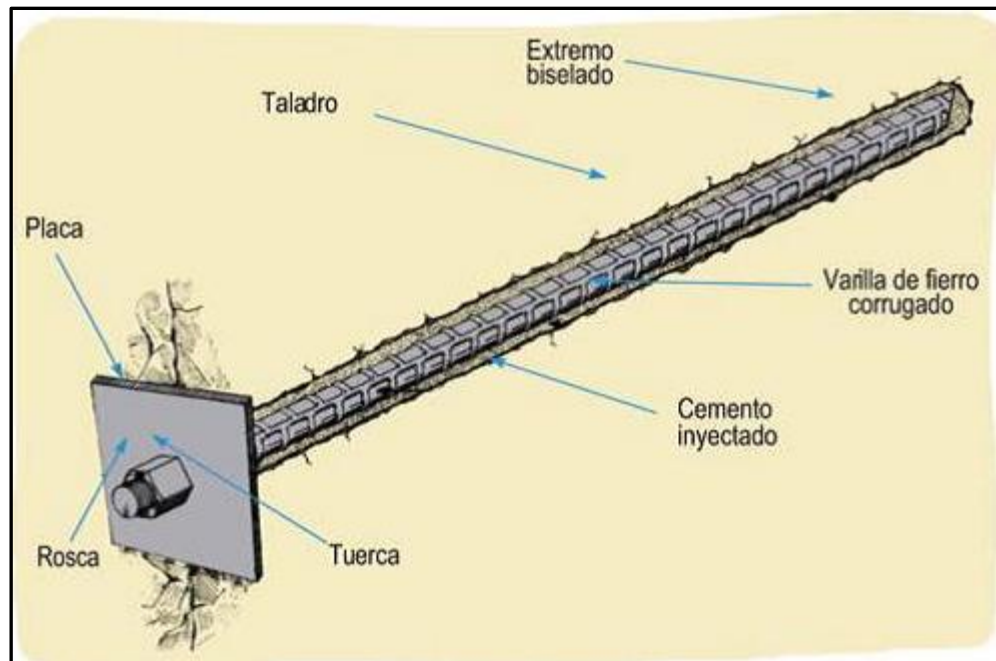


Figura 15— Pernos de varillas cementadas con resina

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

Pernos anclados por fricción

- **Split sets sweles:**

El diámetro de los tubos ranurados varía de 35 a 46 mm, con longitudes de 5 a 12 pies. Pueden alcanzar valores de anclaje de 1 a 1.5 toneladas por pie de longitud del perno.

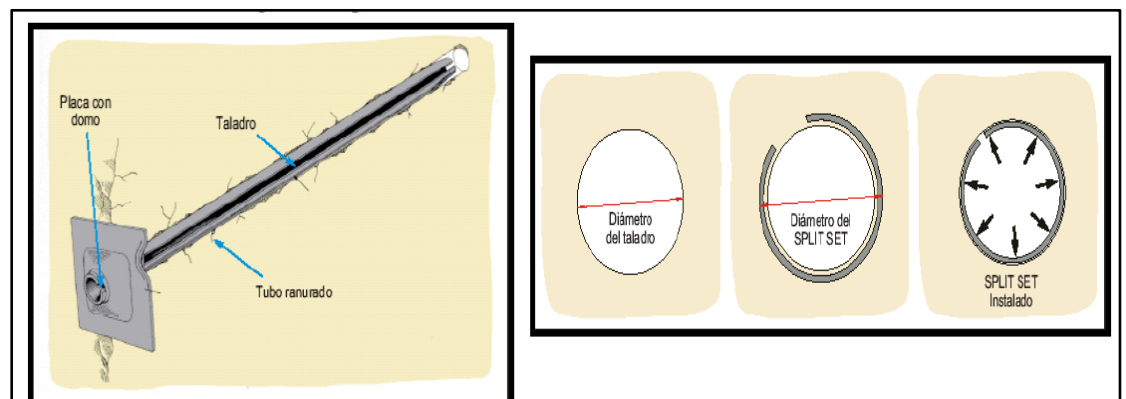


Figura 16— Pernos Split sets

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

- **Swellex**

También es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido.

El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro.

-Éste es insertado en un taladro de 32 a 39 mm de diámetro.

-No se requiere ninguna fuerza de empuje durante su inserción.

-La varilla es activada por inyección de agua a alta presión (aproximadamente 30 MPa o 300 bar.) al interior del tubo plegado, el cual infla al mismo y lo pone en contacto con las paredes del taladro, adaptándose a las irregularidades de la superficie del taladro.

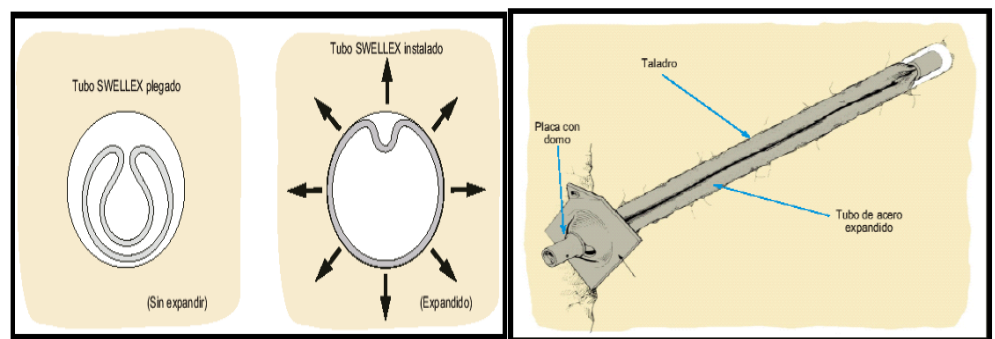


Figura 17— Pernos swellex.

Fuente: Manual del capataz (Anchilla-Puno)

f) Malla metálica

La malla metálica principalmente es utilizada para los siguientes tres fines:

1. Primero, para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca.
2. Segundo, para retener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos, actuando en este caso como un elemento de seguridad.
3. Tercero, como refuerzo del shotcrete.



Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electro soldada.

La malla eslabonada o denominada también malla tejida, consiste de un tejido de alambres, generalmente de # 12/10, con cocadas de 2"x2" o 4"x4", construida en material de acero negro que puede ser galvanizada para protegerla de la corrosión.

- **Malla eslabonada o tejida**

La malla eslabonada o denominada también malla tejida, consiste de un tejido de alambres, generalmente de # 12/10, con cocadas de 2"x2" o 4"x4", construida en material de acero negro que puede ser galvanizada para protegerla de la corrosión.

Por la forma del tejido es bastante flexible y resistente. Esta malla no se presta para servir de refuerzo al concreto lanzado, por la dificultad que hay en hacer pasar el concreto por las mallas, no recomendándose para este uso.

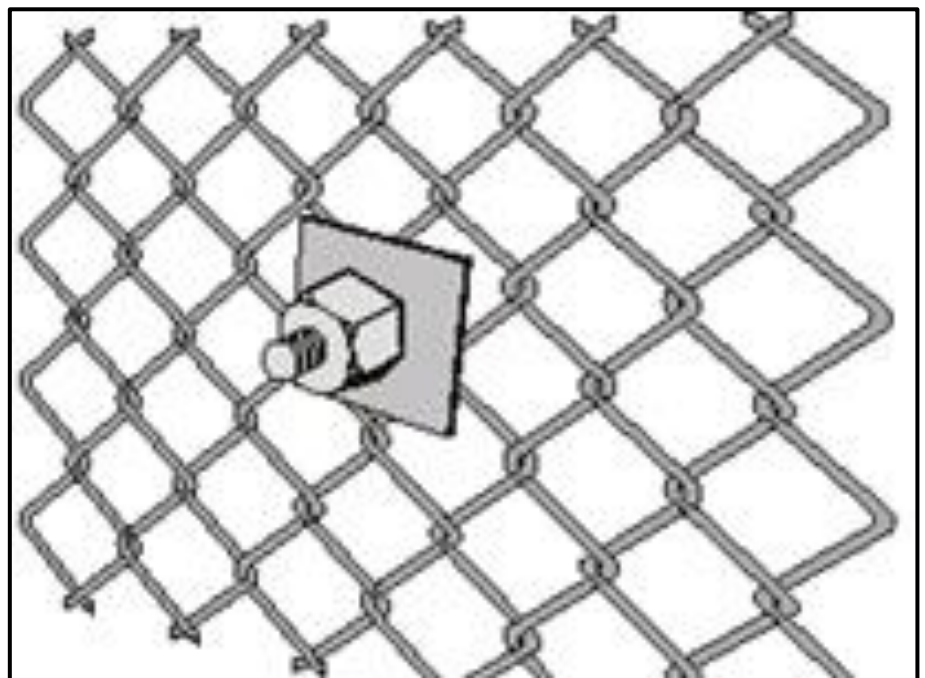


Figura 18— Malla eslabonada

Fuente: Manual del sostenimiento en excavaciones mineras
(Cajamarca-2021)



Figura 19— Malla esbalonada en excavación

Fuente: Manual del sostenimiento en excavaciones mineras

- **Malla electrosoldada**

Correcta instalación de las mallas:

Acomodar o moldear la malla a la forma de la superficie de la roca utilizando ganchos de fierro corrugado de 3/8", colocados en taladros de 0.5 m de longitud. Evitar en lo posible superficies con la malla suelta, especialmente cuando se contempla la aplicación del shotcrete sobre la misma. Los traslapes entre mallas serán como mínimo 20 cm. y deben estar asegurados con pernos de anclaje, con un amarre inicial de alambre #8. La malla es muy propensa a dañarse fácilmente con la voladura, siendo recomendable reemplazarla, recortando los pedazos dañados y colocando una nueva.



Figura 20— Malla electrosoldada

Fuente: Manual del sostenimiento en excavaciones mineras

g) Concreto lanzado (shotcrete)

Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie. La acción conjunta del shotcrete y la roca, impide que éstos se deformen. El shotcrete mantiene el entrase de las posibles cuñas o bloques rocosos, sellando las discontinuidades o grietas producidas por la voladura. Evita la alteración de minerales inestables presentes en el macizo rocoso excavado, por efecto del intemperismo.

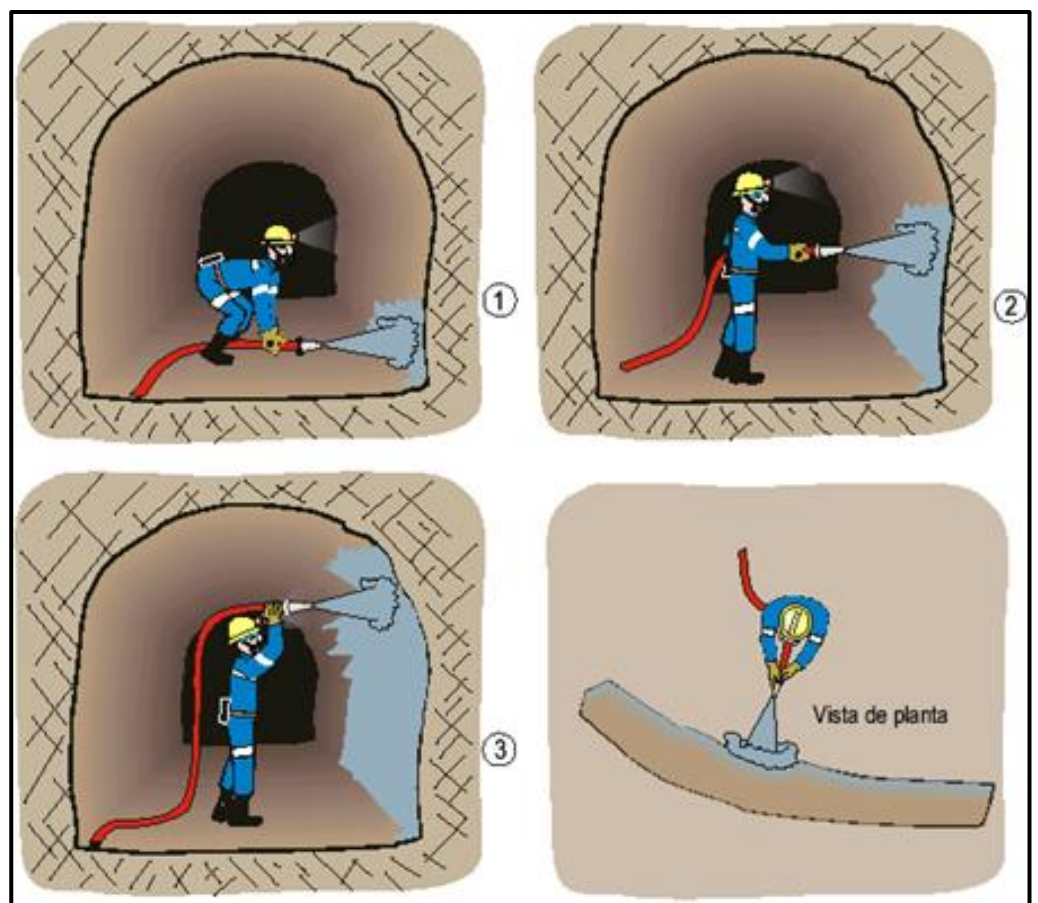


Figura 21— Correcto uso del shotcrete

Fuente: Manual del sostenimiento en excavaciones mineras (Cajamarca-2021)

h) Cimbras metálicas

Las cimbras son construidas con perfiles de acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la excavación. Es decir, en forma de baúl, herradura o incluso circulares, siendo recomendable que éstos sean de alma llena. Hay dos tipos de cimbras, las denominadas “rígidas” y las “deslizantes o fluyentes”, este típico sostenimiento pasivo o soporte es utilizado generalmente para el sostenimiento permanente de labores de avance.

En condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos. Para lograr un control efectivo de la estabilidad en tales condiciones de terreno.

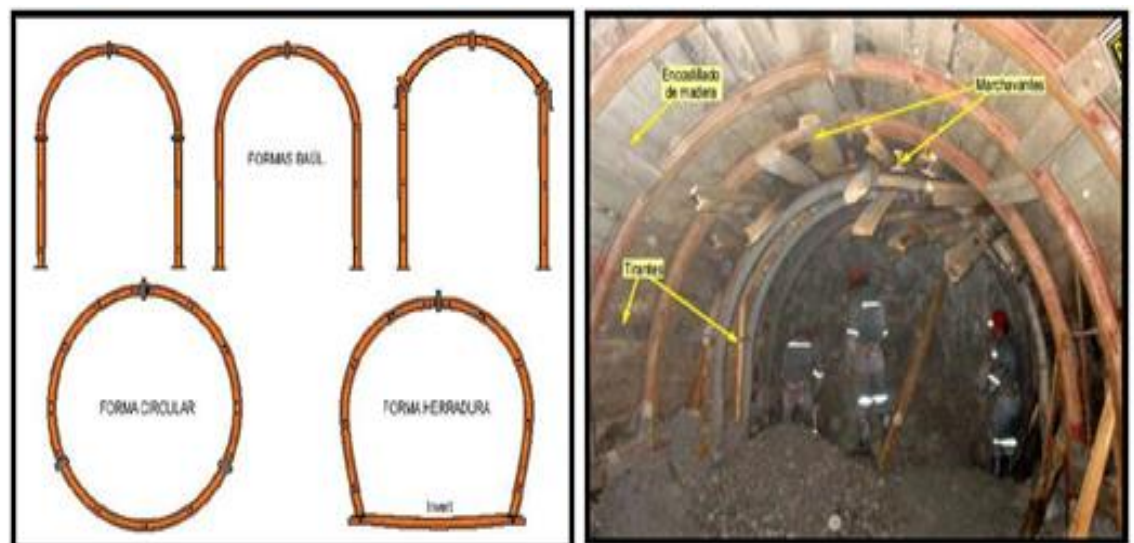


Figura 22— Cimbras metálicas

Fuente: Manual del sostenimiento en excavaciones mineras (Cajamarca-2021)

3.3 Marco conceptual

- a) **Mecánica de rocas.** Según (VALLEJO, 2002 pág. 118) define a la mecánica de rocas esta se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.
- b) **Sostenimiento.** Según, (ZAPANA, 2020 pág. 20), define como como los procedimientos y materiales para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a la excavación. Con el objetivo de mantener abiertas las labores durante la explotación y conservar la resistencia de la masa rocosa para que llegue a auto soportarse. En la mayoría de los casos, solamente es necesario que las labores mineras permanezcan abiertas durante periodos de tiempo relativamente cortos y por ello la función del sostenimiento es retrasar el reajuste de la masa rocosa, más que asegurar un sostenimiento permanente.

Si el sostenimiento se deteriora antes de que las labores sean abandonadas será necesario reemplazarlo (intermediar cuadros).

- c) **Discontinuidades.** Según (VALLEJO, 2002 pág. 118) las discontinuidades se refieren a cualquier plano de debilidad que imparte a la matriz rocosa una condición de anisotropía, es decir que modifican la integridad de la matriz rocosa intacta, se debe tener en cuenta que la combinación de las discontinuidades más la matriz rocosa da origen al macizo rocoso propiamente dicho. Las discontinuidades presentes en la matriz rocosa van a determinar sus propiedades y el comportamiento resistente e hidráulico. El termino discontinuidad se refiere una manera genérica fracturas, fallas, estratificaciones y foliaciones. Las discontinuidades tienen diferentes parámetros físicos y geométricos que determinan su comportamiento mecánico, entre los cuales se tiene el espaciado, orientación, persistencia, rugosidad, resistencia de paredes, abertura, relleno y filtraciones.

- d) **Fracturas.** En su investigación (IÑIGUEZ, 2020 pág.16) Pueden definir de distintas formas ya sea de manera puramente descriptiva o también con relación a su origen sin embargo la forma más sencilla de definir a una fractura seria: el conjunto de superficies que dividen a la roca en bloques con desplazamientos perpendiculares al plano de rotura, se suele generar por la concentración de esfuerzos en zonas donde cambia la naturaleza de la roca y son más abundantes donde existe heterogeneidad.



- e) **Clasificaciones geomecánicas.** (VALLEJO, 2002 pág. 261) es el conjunto de procedimientos que permiten determinar de una manera sencilla y mediante un índice numérico la calidad del macizo rocoso considerando determinadas condiciones in-situ según sea el tipo de clasificación. Las clasificaciones geomecánicas representan una manera de diferenciar a los macizos rocosos según sus características geológicas, hidrológicas y mecánicas para de esta forma establecer su competitividad ante la realización de alguna determinada obra de ingeniería, a lo largo del tiempo han surgido diversas clasificaciones geomecánicas.
- f) **Meteorización de las rocas.** (OYANGUREN, 2004 pág. 175) se denomina meteorización de las rocas a las modificaciones experimentales en su composición o estructura por la acción de los agentes atmosféricos. La importancia que tiene la meteorización desde un punto de vista de la mecánica de rocas se debe a que produce profundos cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos. Existen dos clases de meteorización: física y química. El hecho de que una u otra predomine depende del clima, ya que ambas se producen simultáneamente.
- g) **Resistencia de las rocas.** (OYANGUREN, 2004 pág. 178) La resistencia a la compresión de las rocas se puede estimar a partir de la dureza superficial de las mismas, la cual se puede obtener mediante el martillo de Schmidt.
- h) **Caracteres geomecánicos de las discontinuidades.** (OYANGUREN, 2004 pág. 185) los caracteres geomecánicos de las discontinuidades que más influyen en su comportamiento son: orientación, espaciado, dimensiones, rugosidad, resistencia de los labios de la discontinuidad, apertura y relleno. A continuación, se irán tratando brevemente cada uno de estos puntos.
- i) **Propiedades mecánicas de las rocas.** (OYANGUREN, 2004 pág. 82) los macizos rocosos en la naturaleza presentan comúnmente un elevado número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar previamente el comportamiento de las discontinuidades.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Según, (HERNANDEZ, 2011) la investigación aplicada se caracteriza por emplear conocimientos previos para abordar y resolver problemas. En este tipo de investigación, se aplican principios teóricos a situaciones concretas, con el objetivo de desarrollar estrategias que aporten soluciones prácticas y relevantes a problemas reales y fácilmente identificables. De acuerdo con la teoría revisada la investigación será de **tipo aplicada**.

Según, (RIOS, 2005) considera que el nivel descriptivo es definir las cualidades del objeto de investigación como se manifiestan y los sucesos más importantes, también se refiere al nivel explicativo como el análisis de dos o más variables como se relacionan y explicar cómo y por qué ocurre un fenómeno.

La presente investigación se recogerá información de los fenómenos las características y como se manifiestan, se analizará la relación que existe entre las variables según el valor que se les dé en un contexto particular y se explicará las causas de los eventos, como ocurre un fenómeno y porque se relacionan las variables.

Con la información revisada la presente tesis se clasifica del **nivel descriptivo - explicativo**.

4.2 Diseño de la investigación

Según, (FERNANDEZ, 2022) considera que el diseño no experimental es observar los sucesos sin participar y dejar que ocurran naturalmente.

La investigación se clasifica del diseño **no experimental**. se describirá los fenómenos las características y como se manifiestan se recogerán datos de la mina esperanza nivel 3690

4.3 Descripción ética de la investigación

En la presente investigación se respetará los resultados de validez, la propiedad intelectual, la información conseguida, con los criterios éticos de confiabilidad, objetividad, originalidad.



4.4 Población y muestra

Según, (GONZALES, 2009) considera la población como un conjunto de elementos del mismo tipo con cualidades fijas y que se estudia sus rasgos y relaciones

la **población** está compuesta por la galería nivel 3690, labores de exploración, chimenea y un tajeo en preparación de la mina Esperanza

Según, (PAITAN, 2014) considera que la muestra es la selección de un subconjunto de una población por medio de diferentes métodos.

La **muestra** para esta investigación se toma de la mina esperanza.

4.5 Procedimiento

En esta indagación el procedimiento usado es la recolección, procesamiento, análisis de datos e interpretación de resultados.

Recolección

- Recolección de información mediante una prospección y mapeo en campo en función con las fichas de caracterización geomecánica y a su vez extracción de testigo.
- Las técnicas de levantamiento de información insitu mediante las diferentes clasificaciones geomecánicas mediante los instrumentos y formatos para cada clasificación geomecánica y estos datos serán generados en una base de datos como hojas Excel, en CAD planos de secciones y perfiles
- Determinación de resultados mediante la utilización de Laboratorio.

Procesamiento y análisis de datos, De haber obtenida información se procedió a organización según las variables y dimensiones de la investigación, desarrollar esquemáticamente se utilizarán herramientas informáticas, hojas de cálculo, fichas de interpretación, ábacos y entre otros.

Interpretación de resultados, La interpretación de resultados de uso en función a las dimensiones planteadas en la investigación su interpretación se base a la información teórica y hacer correlaciones y discusiones en función a los antecedentes del proyecto de investigación.

4.6 Técnica e instrumentos

La técnica, Para (MONTAÑES, 2012) define la técnica de la observación directa como acción de visualizar cualquier manifestación que suceda en la naturaleza o sociedad bajo los criterios de investigación y objetivos definidos.



Instrumentos, para (ARIAS, 2018) recolección de datos es recoger información que posteriormente el investigador puede trasladar a una ficha.

En la presente investigación se aplicó como *instrumento las fichas de recopilación de datos*.

4.7 Análisis estadístico

Para procesamiento de datos se utilizó el Excel.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Determinación las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023

5.1.1 Clasificaciones geomecánicas

Cálculo de RMR de la galería nivel 3690

Tabla 14 — Resultados de ensayo analizados en laboratorio de la (UNAMBA)

DOMINIO EXTRACTURAL 01								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	ANDESITA	45.00	51.00	48.00	104.00	26.00	4.09	132.04
M-2	ANDESITA	52.00	48.00	50.00	115.00	25.00	3.41	115.84
M-3	ARENISCA	53.00	50.00	51.50	98.00	26.00	4.05	131.11
M-4	CALIZA	45.00	45.00	45.00	100.00	27.00	4.71	146.63
PROMEDIO								131.41
DOMINIO EXTRACTURAL 02								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	CALIZA	62.00	58.00	60.00	118.00	26.00	2.88	105.21
M-2	CALIZA	49.00	48.00	48.50	108.00	27.00	4.05	132.91
M-3	ANDESITA	53.00	50.00	51.50	130.00	28.00	3.28	117.51
M-4	ANDESITA	45.00	45.00	45.00	100.00	28.00	4.89	152.06
PROMEDIO								126.93
DOMINIO EXTRACTURAL 03								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	ARENISCA	58.00	53.00	55.50	110.00	27.00	3.47	120.33
M-2	ARENISCA	55.00	49.00	52.00	111.00	26.00	3.54	120.18
M-3	ANDESITA	53.00	50.00	51.50	106.00	28.00	4.03	134.19
M-4	ANDESITA	45.00	36.00	40.50	89.00	26.00	5.67	162.88
PROMEDIO								134.40
PROMEDIO TOTAL								139.91

Para el área de estudio también se realizó mapeo geomecánico en 12 estaciones, mediante el Mapeo geomecánica. La fórmula proporcionada para calcular el RQD es:

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

Donde:

- λ : es el número de fracturas por unidad de longitud.
- e: es la base de los logaritmos naturales (aproximadamente 2.71828).

Toma de datos en el campo

Tabla 15 — Resultados de toma de datos en el mapeo geomecánico

Estación	Número de fracturas	RQD $=100 \times e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$	Valoración	Calidad del macizo	RQD calculado
1	28	23	3	Muy mala	23.11
2	26	27	3	Mala	26.74
3	26	27	3	Mala	26.74
4	24	31	3	Mala	30.84
5	27	25	3	Muy mala	24.87
6	23	33	3	Mala	33.09
7	20	41	3	Mala	40.6
8	18	46	3	Mala	46.28
9	15	56	8	Regular	55.78
10	17	49	3	Mala	49.32
11	12	66	8	Regular	66.26
12	20	41	3	mala	40.6

En la tabla mostrada, según al índice RQD, se muestran tres tipos de calidad de los macizos rocosos, en general promedio del RQD es de 40 % que correspondería a una roca de calidad mala.

A continuación, se muestra el espaciado de las discontinuidades

Las discontinuidades presentan dos tipos de espaciamientos de cerrada a moderada.



Tabla 16 — Espaciado de discontinuidades

Estación	Descripción	Espaciamiento mm	Espaciamiento cm	Valoración
1	Cerrado	60 - 200	6-20	8
2	Cerrado	60 - 200	6-20	8
3	cerrado	20 - 60	2-6	5
4	Cerrado	60 - 200	6-20	8
5	Cerrado	60 - 200	6-20	8
6	Cerrado	60 - 200	6-20	8
7	Moderado	200 - 600	20-60	10
8	Moderado	200 - 600	20-60	10
9	Moderado	200 - 600	20-60	10
10	Moderado	200 - 600	20-60	10
11	Moderado	200 - 600	20-60	10
12	Moderado	200 - 600	20-60	10

Fuente: Elaboración propia

Apertura de discontinuidades

Tabla 17 — Apertura de discontinuidades

Estación	Descripción	Apertura (mm)	Valoración
1	Abierta	1.0 – 5.0 mm	1
2	Abierta	1.0 – 5.0 mm	1
3	Abierta	1.0 – 5.0 mm	1
4	Abierta	1.0 – 5.0 mm	1
5	Abierta	1.0 – 5.0 mm	1
6	Abierta	1.0 – 5.0 mm	1
7	Parcialmente abierta	0.1 – 1.0 mm	4
8	Parcialmente abierta	0.1 – 1.0 mm	4
9	Parcialmente abierta	0.1 – 1.0 mm	4
10	Parcialmente abierta	0.1 – 1.0 mm	4
11	Parcialmente abierta	0.1 – 1.0 mm	4
12	Parcialmente abierta	0.1 – 1.0 mm	4

Fuente: Elaboración propia



Se puede evidenciar que en las estaciones (1 – 6) el macizo rocoso presta discontinuidades con abertura de 1 a 5 mm, dicho parámetro afecta a la estabilidad de la galería, a comparación de las estaciones (7 – 11) presentan una apertura de 0.1 – 1.0 mm, la cual favorece la estabilidad del macizo.

Rugosidad de las discontinuidades

Tabla 18 — Rugosidad de discontinuidades

Estación	Descripción	Puntaje
1	Ligeramente rugosa	3
2	Lisa	1
3	Lisa	1
4	Lisa	1
5	Lisa	1
6	Lisa	1
7	Lisa	1
8	Lisa	1
9	Lisa	1
10	Lisa	1
11	Lisa	1
12	lisa	1

Fuente: Elaboración propia

En su mayoría presentan rugosidad lisa, debido a la litología presente en la galería, ya que, la rugosidad de las superficies de las discontinuidades depende de su forma de origen y la mineralogía de la roca.



Relleno de las discontinuidades.

Tabla 19— Relleno de discontinuidades

Estación	Descripción	Puntaje
1	Blando	<5 mm
2	duro	>5 mm
3	Blando	<5 mm
4	duro	>5 mm
5	Blando	<5 mm
6	Blando	<5 mm
7	duro	>5 mm
8	Duro	>5 mm
9	Blando	<5 mm
10	Blando	<5 mm
11	duro	>5 mm
12	Blando	<5 mm

Fuente: Elaboración propia

Estaciones presentan un relleno blando menores a 5mm. A excepción de algunas estaciones que presenta un relleno duro, ya que hay presencia de Sills.

Meteorización de las discontinuidades

Tabla 20 — Meteorización de discontinuidades

Estación	Descripción	Puntaje
1	Altamente meteorizado	1
2	Altamente meteorizado	1
3	Altamente meteorizado	1
4	Altamente meteorizado	1
5	Altamente meteorizado	1
6	Altamente meteorizado	1
7	Moderadamente	3
8	Moderadamente	3
9	Moderadamente	3
10	Moderadamente	3
11	Moderadamente	3
12	Moderadamente	3

Fuente: Elaboración propia

Las primeras estaciones la galería presenta un material muy fracturado por la acción de la meteorización, pero a medida que va en profundidad esta va disminuyendo la meteorización y presentando menor fracturamiento.

Tabla 21 — Aguas subterráneas en las discontinuidades

Estación	Descripción	Puntaje
1	Húmedo	10
2	Húmedo	10
3	Mojado	7
4	Mojado	7
5	Mojado	7
6	Mojado	7
7	Goteo	4
8	Goteo	4
9	Goteo	4
10	Goteo	4
11	Goteo	4
12	goteo	4

Fuente: Elaboración propia

Por lo general en la galería hay presencia de agua el cual es un factor importante a tomar en cuenta, ya que el agua actúa negativamente en la calidad y estabilidad del macizo rocoso. En este caso, el agua afecta en menor proporción, en las superficies planas por la rugosidad “Lisa” que presentan las discontinuidades. Por otro lado, la presencia de agua en las superficies rugosas, reduce la resistencia al corte.

Ahora calculamos el RMR del macizo rocoso

El RMR tiene la finalidad de definir la calidad del macizo rocoso. Para lo cual la calidad de la roca se hace el uso de los seis parámetros básicos del terreno como son:



Tabla 22 — Resultados del cálculo de diseño de sostenimiento según Bieniawski

Nombre del Proyecto:		Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023																																																										
Nivel:		3690																																																										
Labor:		GALERIA																																																										
Ejecutado por:		Roger Alfredo Gonzales Pumacayo																																																										
Fecha:		Dic-23																																																										
SISTEMA RMR																																																												
PARÁMETROS			VALOR						VALOR																																																			
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)			130		>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12																																																	
RQD (%)			39%		90-100 (20)		75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	X <25 (3)	8																																																	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)			0.6-0.8		>2m (20)		0.6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)	0.06-0.2m (8)	X < 0.06m (5)	5																																																	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																																																												
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)		1-3 m Long. X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2																																																	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1																																																	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)	Lig.rugosa X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3																																																	
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)		Duro < 5mm X	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	2																																																	
				Alteración	Sana (6)		Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. X	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	5																																																	
Agua subterránea					Seco (15)		Humedo X	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	4																																																	
Orientación				<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="4">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> <th rowspan="4">Buzamiento 0°-20° independent o del rumbo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> </tr> <tr> <td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td> </tr> <tr> <td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td><td>Favorable</td><td>Regular</td><td>Desfavorable</td><td>Muy Desfavorable</td><td>Regular</td><td>Desfavorable</td><td>Desfavorable</td> </tr> <tr> <td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-10</td><td>-12</td><td>-5</td><td>-10</td><td>-10</td> </tr> </table>							Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Buzamiento 0°-20° independent o del rumbo	Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10	-2
Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Buzamiento 0°-20° independent o del rumbo																																																				
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																						
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz																																																					
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																																					
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable																																																					
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10																																																					
										RMR ₈₉ (Basico) =	42																																																	
										RMR ₈₉ (Corregido) =	40																																																	
Condiciones secas										RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=	38																																																	
JRC		RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	IV B																																																			
(BARTON BANDIS)		DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																																				



Tabla 23 — Sistema de valoración de la masa rocosa-RMR (según Bieniawski 1989)

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORACIONES								
Parámetro			Rango de valores					
1	Resistencia de roca intacta	Índice de carga puntual	>10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial	
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Valoración		1	12	7	4	1	0
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%	
	Valoración		2	17	13	8	3	
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200	<60mm	
	Valoración		2	15	10	8	5	
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes ligeramente e intemperie.	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes altamente intemperie	Espejo de falla o panizo <5mm de espesor Apertura de 1- 5mm juntas continuas	Pánico suave >5mm de espesor o apertura >5mm Juntas continuas	
	Valoración		3	25	20	10	0	
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel(l/m)	Ningu no 0	< 10 <0,1	10-25 <0,1	25-125 0,1-0,2	>125 >0,5	
		Condición general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo	
Valoración		1	10	7	4	0		

Los resultados del cálculo del RMR del macizo rocoso según Bieniawski, indican que el macizo rocoso clasifica dentro de la categoría III (regular), según el rango de 60-41, y al estar más cerca del límite inferior, se aproxima a una clasificación IV (mala) (calidad del macizo rocoso regular a mala). Esto sugiere que el macizo rocoso presenta condiciones geomecánicas moderadamente desfavorables, lo que podría implicar inestabilidad en algunas áreas si no se aplica un sostenimiento adecuado.



5.1.2 Diseño de sostenimiento

En el software phase2 se emplea el diseño de sostenimiento, en la siguiente imagen se observa sostenimiento: La evaluación se realiza en condiciones naturales obteniéndose un factor de seguridad de $FS=1.83$ mínimo para la galería. para el techo es 1.4m y para la caja es 0.85m, Esto indica que la capacidad de soporte del macizo es menor a las fuerzas que actúan sobre la excavación por lo que requiere ser sostenida.

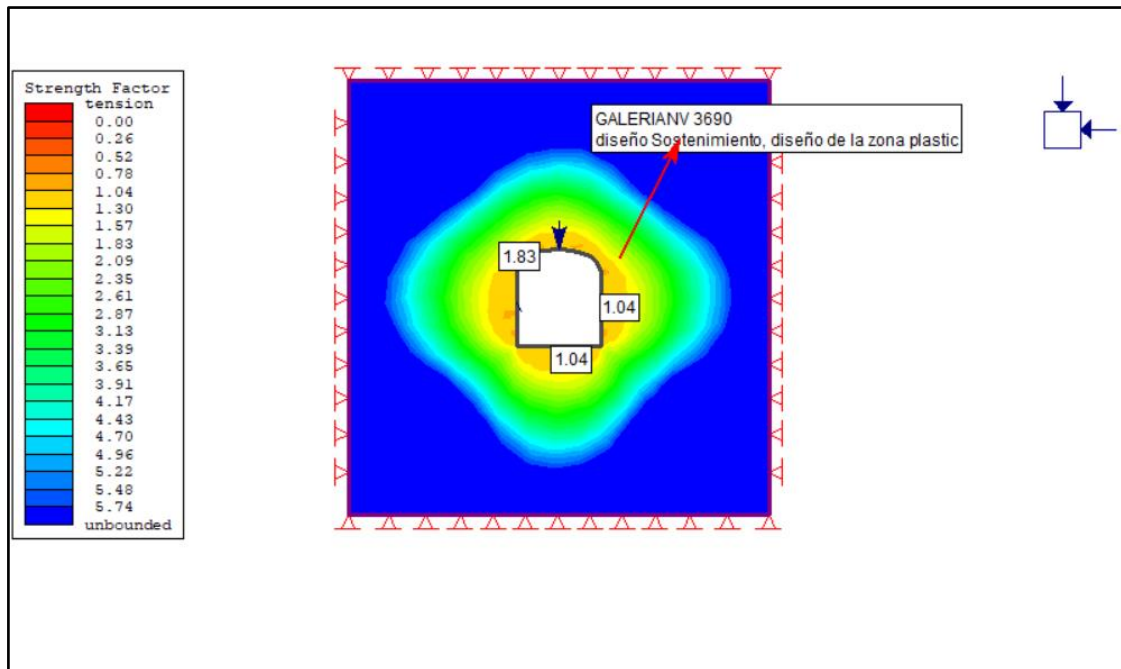


Figura 23— Diseño de sostenimiento en el software phase2 (según Bieniawski 1989)

Fuente: El software Phase2

Considerando la recomendación de sostenimiento de la mina Esperanza galería nivel 3690, se determina el diseño de sostenimiento de shotcrete 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. Se obtiene un factor de seguridad mayor a 1.58; lo cual indica que bajo estas condiciones de sostenimiento la labor es estable y segura. También se propone el diseño del sostenimiento con pernos de Split set y shocrete reforzado con fibra sintética

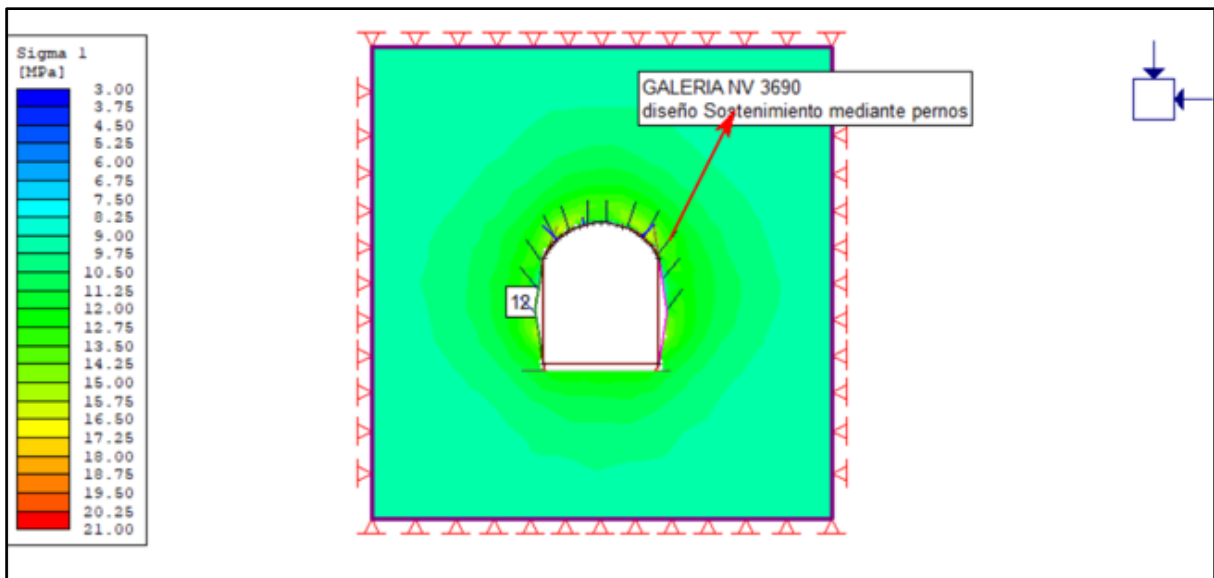


Figura 24 — Diseño de sostenimiento con pernos (según Bieniawski 1989)

Fuente: El software Phase2

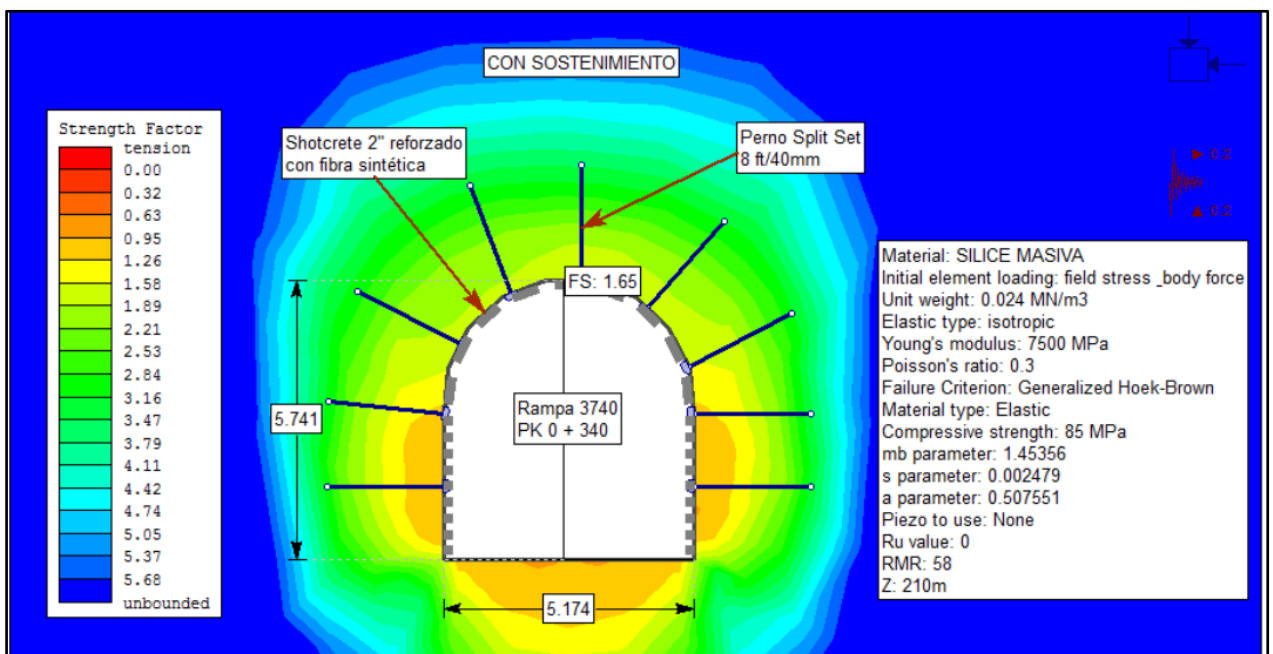


Figura 25— Diseño de sostenimiento con pernos Split Seth (según Bieniawski 1989)

Fuente: El software Phase2

Tabla 24 — Valores para clasificaciones geomecánicas según Barton

Clasificación	Valores
Rock Quality Designation (RQD):	40
Índice de Diaclasado (Jn)	9
Índice de Rugosidad de las Discontinuidades (Jr)	3
Índice de alteración de las discontinuidades (Ja)	2
Coficiente de Reducción por presencia de Agua (Jw)	1
Stress Reducción Factor (SRF)	2.5

Extraído: de cartilla de Barton

Formula

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

Remplazando en la formula Q= 4.96

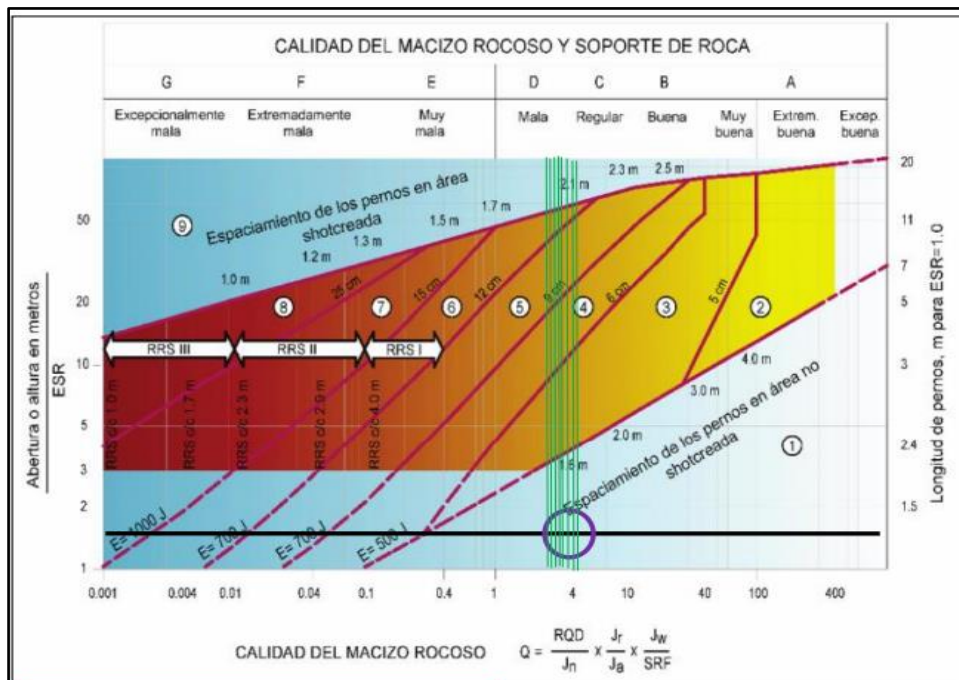





Figura 26— Sistema de valoración de la masa rocosa según Barton

Extraído: De calidad de macizo rocoso Según Barton



CATEGORÍAS DE REFUERZO		RRS- Espaciamiento relacionado con el valor de Q
① Sin soporte o empernado puntual		 Si 30/6 Ø16 - Ø20 (abertura de 10 m) D40/6+2 Ø16 - 20 (abertura de 20 m)
② Empernado puntual, SB		
③ Empernado sistemático más shotcrete proyectado con espesor 5-6 cm con fibra, B + Sfr		 Si 35/6 Ø16 - 20 (abertura de 5 m) D45/6+2 Ø16 - 20 (abertura de 10 m) D55/6+4 Ø20 (abertura de 20 m)
④ Empernado sistemático más shotcrete proyectado con espesor 6-9 cm con fibra, Sfr(E500) + B		 D40/6+4 Ø16 - 20 (abertura de 5 m) D55/6+4 Ø20 (abertura de 10 m) Evaluación especial (abertura de 20 m)
⑤ Empernado sistemático más shotcrete proyectado con espesor 9-12 cm con fibra, Sfr(E700) + B		
⑥ Cimbras, empernado sistemático y shotcrete proyectado con espesor 12-15 cm con fibra, Sfr(E700) + RRSI + B		
⑦ Cimbras, empernado sistemático y shotcrete proyectado con espesor > 1.5 cm con fibra, Sfr(E1000) + RRSII + B		
⑧ Revestimiento con concreto, CCA o Sfr(E1000) + RRSIII + B		
⑨ Evaluación especial Espaciamiento de pernos principalmente basado con Ø20 mm E = Absorción de energía en fibra reforzada con shotcrete proyectado ESR = Radio de soporte de la excavación Áreas con líneas de daño que no tiene data empírica		

Simbología:
 Si30/6= Única capa de concreto proyectado más 6 pernos de anclaje
 D = Doble capa de refuerzo
 Ø16 = Pernos de diámetro de 16 mm
 c/c = Espaciamiento RSS, Centro - Centro

Figura 27— Sistema de categorías de refuerzo para el sostenimiento según Barton

Extraído: de Calidad de macizo rocos Según Barton

De acuerdo al cálculo, el Diámetro equivalente y su interpolación con Q de Barton la excavación se ubica en la zona 4, en la cual se sugiere empernado sistemático con un espesor 6-9cm con fibra. De acuerdo al análisis con el Ábaco de Barton nos encontramos con un macizo rocoso estimado como (roca regular a mala), el cual, de acuerdo a la intersección con el Diámetro equivalente, nos indica que el sostenimiento que se debe utilizar es de un empernado puntual (Zona 4), identificando áreas de mayor inestabilidad, cabe mencionar que nos encontramos frente a una roca estimada como mala y que el sostenimiento a utilizar va a depender de las dimensiones de nuestra labor.







SOSTENIMIENTO SEGUN G.S.I (Modificado)		CONDICIONES SUPERFICIALES			
A	SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA).	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACION, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).	MALA (MODER., RESIST., LEVE A MODER. ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 25 A 50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA).	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 5 A 25 MPa) - (SE INDENTA MAS DE 5 mm).
B	PERNOS SISTEMATICOS 1.50 x 1.50 m. (Malla o cinta ocasional).				
C	PERNO SISTEMÁTICO 1.2 x 1.2 m. (Malla o cinta ocasional).				
D	PERNOS SISTEMATICOS 1.0 x 1.0 m. más malla de refuerzo obligatoria. (SHOTCRETE 5.0 cm sin fibra).				
E	PERNOS SISTEMATICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 5.0 cm con fibra.				
F	PERNOS SISTEMATICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 10.0 cm con fibra. (CIMBRA O CUADRO DE MADERA).				
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADA TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RQD 75-90%). (2 A 6 FRACTURAS POR METRO)	(A) LF/B	(A) LF/R	(A) LF/M (B)	—
	MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RQD 50 - 75%). (6 A 12 FRACTURAS POR METRO).	(A) F/B	(A) F/R (B)	(C) F/M	(D) F/MM
	MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25-50%). (12 A 20 FRACTURAS POR METRO).	(A) MF/B (B)	(C) MF/R	(D) MF/M	(E) MF/MM
	INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C) IF/B	(D) IF/R	(E) IF/M	(F) IF/MM

Figura 28— Sistema de valoración de la masa rocosa para el sostenimiento según GSI Hoek y Brown

Extraído de: Estructuras de sostenimiento según GSI



5.2 Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

5.2.1. Clasificación geomecánica según Barton

Cálculo del RQD de la galería nivel 3690, de los mapeos geomecánicos

Para el cálculo de RQD se realiza levantamiento geológico, se recoge datos sobre la longitud de los trozos de roca recuperados en un sondeo. Para ello se emplea otro método para el cálculo de RQD.

La longitud del sondeo es de 2m, los levantamientos geológicos se realizaron en 3 zonas de la galería.

Zona 1

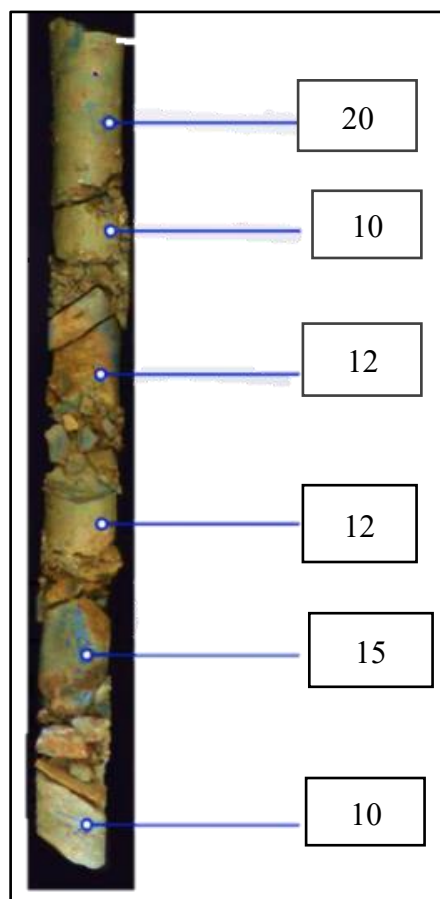


Figura 29— Mapeo geomecánico de trozos de sondeo para el cálculo de RQD

Tabla 25— Resultado de sondeo para el cálculo de RQD

20	cm
10	cm
12	cm
12	cm
15	cm
10	cm

Identificamos los fragmentos mayores de 10 cm para luego sumarlo todo:

$$20 + 10 + 12 + 12 + 15 + 10 = 79$$

Identificamos la longitud total del sondeo

2m → convertimos a centímetros 200 cm

$$RQD = \left(\frac{\sum \text{Longitud de fragmentos mayores a 10 cm}}{\text{Longitud total del sondeo}} \right) \times 100$$

Reemplazamos en la formula

$$\frac{79}{200} \times 100 = 39.5\% = 40\%$$

Interpretamos el RQD

- RQD > 90%: Roca de muy buena calidad.
- 75% < RQD ≤ 90%: Roca de buena calidad.
- 50% < RQD ≤ 75%: Roca de calidad regular.
- 25% < RQD ≤ 50%: Roca de mala calidad.
- RQD ≤ 25%: Roca de muy mala calidad.

Teniendo ya los resultados de 40 % se indica que la calidad de la roca es mala.

Zona 2

Resultados del levantamiento geológico, la longitud de los trozos de roca recuperados en un sondeo es de 2.8 m.

Tabla 26 — Resultado de sondeo en la zona 2 para el cálculo de RQD

25	cm
17	cm
15	cm
30	cm
25	cm
20	cm



Identificamos los fragmentos mayores de 10 cm para luego sumarlo todo:

Lo sumamos todos los fragmentos

$$25 + 17 + 15 + 30 + 25 + 20 = 132$$

Identificamos la longitud total del sondeo

2.8m → convertimos a centímetros 280 cm

$$RQD = \left(\frac{\sum \text{Longitud de fragmentos mayores a 10 cm}}{\text{Longitud total del sondeo}} \right) \times 100$$

Reemplazamos en la formula

$$\left(\frac{132}{280} \right) \times 100 = 47.15\% = 47\%$$

Interpretamos el RQD

- RQD > 90%: Roca de muy buena calidad.
- 75% < RQD ≤ 90%: Roca de buena calidad.
- 50% < RQD ≤ 75%: Roca de calidad regular.
- 25% < RQD ≤ 50%: Roca de mala calidad.
- RQD ≤ 25%: Roca de muy mala calidad.

Al interpretar en los valores de RQD nos resulta que la calidad de la roca es 47% por lo tanto la roca es mala

Zona 3

Resultados del levantamiento geológico, la longitud de los trozos de roca recuperados en un sondeo, con una longitud de 2.5 m

Tabla 27 — Resultado de sondeo de la zona 3 para el cálculo de RQD

30	cm
25	cm
35	cm
28	cm
25	cm
30	cm

Identificamos los fragmentos mayores de 10 cm para luego sumarlo todo:

Lo sumamos todos los fragmentos

$$30 + 25 + 35 + 28 + 25 + 30 = 173$$

Identificamos la longitud total del sondeo



2.5 m ➡ convertimos a centímetros 280 cm

$$RQD = \left(\frac{\sum \text{Longitud de fragmentos mayores a 10 cm}}{\text{Longitud total del sondeo}} \right) \times 100$$

$$\frac{173}{280} \times 100 = 69.2\% = 69\%$$

Interpretamos el RQD

- RQD > 90%: Roca de muy buena calidad.
- 5% < RQD ≤ 90%: Roca de buena calidad.
- 50% < RQD ≤ 75%: Roca de calidad regular.
- 25% < RQD ≤ 50%: Roca de mala calidad.
- RQD ≤ 25%: Roca de muy mala calidad.

Al interpretar en los valores de RQD nos resulta que la calidad de la roca es 69% por lo tanto la roca es regular

Rock Quality Designation (RQD):40

Índice de Diaclasado (Jn) 9

Índice de rugosidad de las discontinuidades (Jr) 3

Índice de alteración de las discontinuidades (Ja) 2

Coefficiente de reducción por presencia de agua (Jw) 1

Stress reducción factor (SRF):2.5

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

Q= 4.94. Entonces según Barton este resultado sería de calidad mala



5.2.2. Diseño de sostenimiento de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Barton

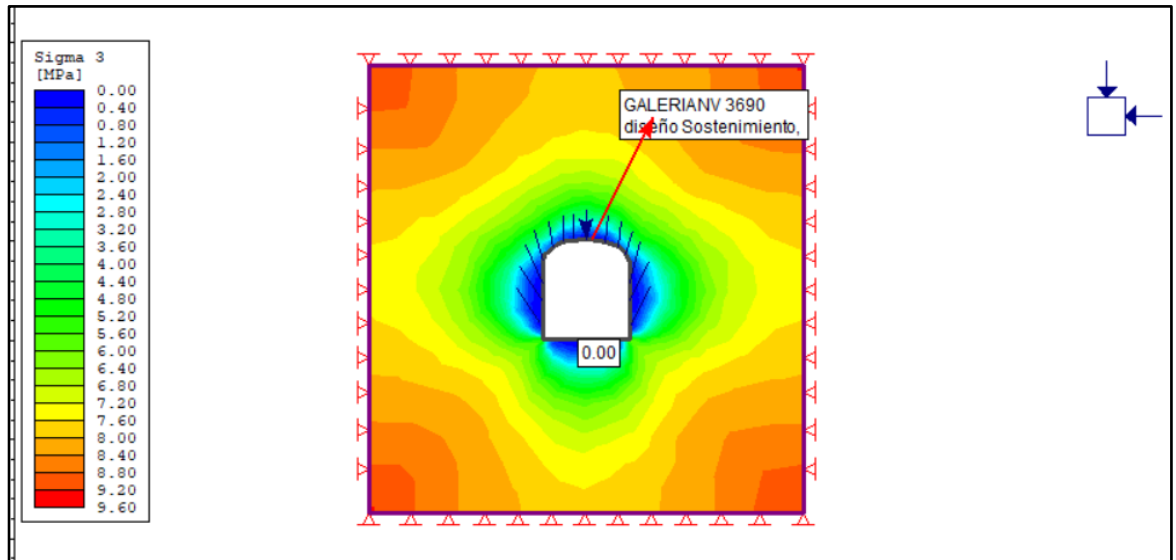


Figura 30— Diseño de sostenimiento de la galería 3690 de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Barton

Fuente: El software Phase2

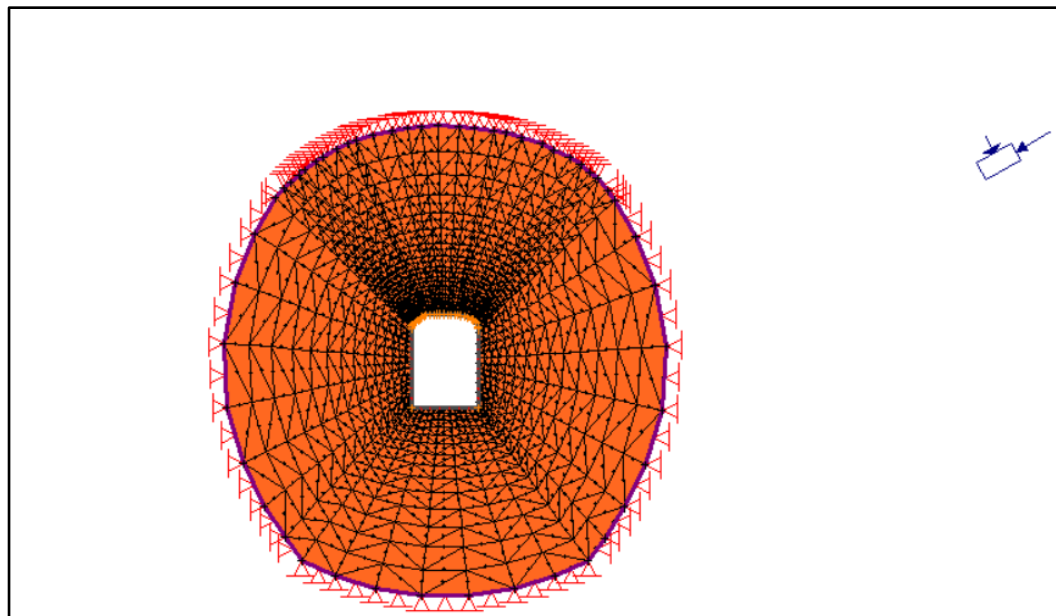


Figura 31— Diseño de enmallado del interior de la mina según a las clasificaciones geomecánicas de Barton

Fuente: El software Phase2

El tipo de sostenimiento adecuado según Barton, se sugiere empinado sistemático con un espesor 6-9cm con fibra y reforzado con mallas sistemáticos.

5.3 Diseñar el sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

Tabla 28 — Clasificaciones geomecánicas según Bieniawski

Nombre del Proyecto:		Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023									
Nivel:		3690									
Labor:		GALERIA									
Ejecutado por:		Roger Alfredo Gonzales Pumacayo									
Fecha:		Dic-23									
SISTEMA RMR											
PARÁMETROS		VALOR								VALOR	
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)		130	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12	
RQD (%)		39%	90-100 (20)		75-90 (17)	50-75 (13)		25-50 (8) X	<25 (3)	8	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)		0.6-0.8	>2m (20)		0,6-2 m (15)	0,2-0,6m (10)		0,06-0,2m (8) X	< 0,06m (5)	5	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES											
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0,1-1,0mm X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3	
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm X	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	2	
				Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. X	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	5	
Agua subterránea					Seco (15)	Humedo X	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	4	
Orientación										-2	
										RMR ₈₉ (Basico) =	42
										RMR ₈₉ (Corregido) =	40
Condiciones secas										RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=	38
JRC		RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	IV B		
(BARTON BANDIS)		DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Fuente: Elaboración propia

Según la clasificación geomecánica de Bieniawski, los parámetros obtenidos indican una resistencia del macizo rocoso de aproximadamente 130 MPa, con un RQD cercano al 40%. Al considerar todos los valores correspondientes a las condiciones de discontinuidades, se concluye que la calidad del macizo rocoso varía de regular a mala, obteniendo un RMR de 42 Mpa.



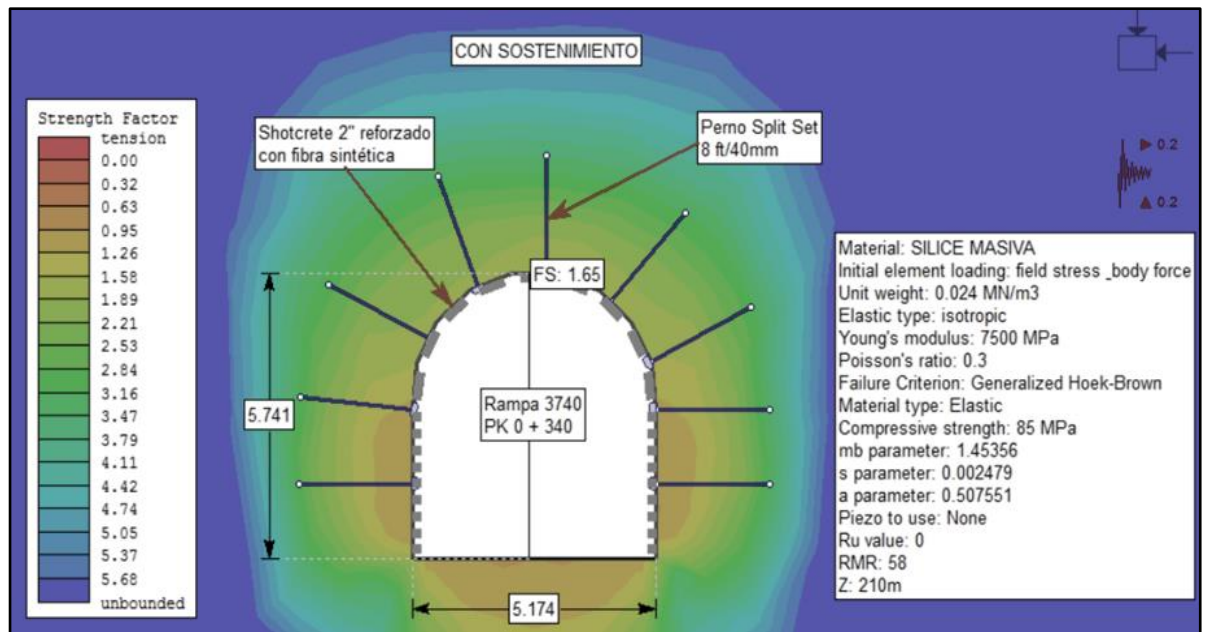


Figura 32— Diseño de sostenimiento con shocrete según Bieniawski

Fuente: El software Phase2

El diseño de sostenimiento según Bieniawski sugiere que el sostenimiento de la mina Esperanza galería nivel 3690, se determina el diseño de sostenimiento de shotcrete 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. Se obtiene un factor de seguridad mayor a 1.58; lo cual indica que bajo estas condiciones de sostenimiento la labor es estable y segura.



5.4 Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

Cálculo del GSI de la galería nivel 3690

Para el cálculo de GSI se realizó en muestreo en el laboratorio de la Unamba, y se analizaron en tres zonas tres tipos de muestras, andesita, caliza y arenisca. Para lo cual es necesario determinar los siguientes parámetros

- Tipo de roca
- Grado de fracturación
- Orientación y espaciado de las discontinuidades
- Rugosidad de las discontinuidades
- Relleno de las discontinuidades
- Alteración de las discontinuidades
- Resistencia a compresión simple
- Presión de agua en las discontinuidades

Tabla 29 — Clasificaciones geomecánicas de la litología andesita según Hoek Brown (GSI)

MUESTRA ANDESITA																																																								
PARÁMETROS		VALOR								VALOR																																														
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)		130	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12																																														
RQD (%)		39%	90-100 (20)		75-90 (17)	50-75 (13)		25-50 (8) x	<25 (3)	8																																														
Espaciamiento de discontinuidades (cm)			>2m (20)		0,6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)		0.06-0.2m (8)	< 0.06m (5)	8																																														
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																																																								
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long.	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2																																													
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1																																													
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3																																													
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	2																																													
				Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (4)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4																																													
Agua subterránea					Seco (15)	Humedo (10)		Mojado (7) X	Goteo (4)	Flujo (0)	7																																													
Orientación		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="4">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> </tr> <tr> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td> <td>Favorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-12</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-10</td> </tr> </tbody> </table>				Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10	Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo		-5
Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación																																																				
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																		
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz																																																	
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																																	
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable																																																	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10																																																	
RMR ₈₉ (Basico) =										47																																														
RMR ₈₉ (Corregido) =										42																																														
Condiciones secas										RMR ₈₉ (Condiciones Secas)=	40																																													
			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0			III B																																														
			I MUJ BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUJ MALA																																																	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 30 — Clasificaciones geomecánicas de la litología caliza según Hoek Brown (GSI)

MUESTRA - CALIZA											
PARÁMETROS		VALOR									VALOR
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)		130	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1)	<10	12	
RQD (%)		39%	90-100 (20)		75-90	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	8	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)			>2m (20)		0,6-2 m (15)	0,2-0,6m (10)		0,06-0,2m (8)	< 0,06m (5)	10	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES											
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	
				Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (4)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	
Agua subterránea					Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	
Orientación											
									RMR ₈₉ (Basico) =		
									RMR ₈₉ (Corregido) =		
Condiciones secas									RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=		
					100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III B	
					I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31— Clasificaciones geomecánicas de la litología arenisca según Hoek Brown (GSI)

MUESTRA- ARENISCA											
PARÁMETROS		VALOR									VALOR
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)		130	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1)	<10	12	
RQD (%)		39%	90-100 (20)		75-90	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	8	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)			>2m (20)		0,6-2 m (15)	0,2-0,6m (10)		0,06-0,2m (8)	< 0,06m (5)	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES											
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)		3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	
				Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (4)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	
Agua subterránea					Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	
Orientación											
									RMR ₈₉ (Basico) =		
									RMR ₈₉ (Corregido) =		
Condiciones secas									RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=		
					100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III B	
					I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la ecuación de correlación GSI y los parámetros de cada muestra, se determinó que la calidad de las litologías varía según las condiciones de sus discontinuidades. En conclusión, las tres litologías presentan una calidad del macizo rocoso que se clasifica como regular.



Diseño de sostenimiento de acuerdo Hoek Brown (GSI)




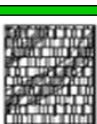
SOSTENIMIENTO SEGUN G.S.I (Modificado)		CONDICIONES SUPERFICIALES			
		BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)	MODERADAMENTE ALTERADA	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA)
A	SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES				
B	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.50 x 1.50 m. (Malla o cinta ocasional).				
C	PERNO SISTEMÁTICO 1.2 x 1.2 m. (Malla o cinta ocasional).				
D	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más malla de refuerzo obligatoria. (SHOTCRETE 5.0 cm sin fibra).				
E	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 5.0 cm con fibra.				
F	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 10.0 cm con fibra. (CIMBRA O CUADRO DE MADERA).				
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADA TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SÍ (RCD 75-90%). (2 A 6 FRACTURAS POR METRO)	(A) LF/B	(A) LF/R	(A) LF/M (B)	---
	MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RCD 50 - 75%). (6 A 12 FRACTURAS POR METRO).	(A) F/B	(A) F/R (B)	(C) F/M	(D) F/MM
	MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RCD 25-50%). (12 A 20 FRACTURAS POR METRO).	(A) MF/B (B)	(C) MF/R	(D) MF/M	(E) MF/MM
	INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RCD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C) IF/B	(D) IF/R	(E) IF/M	(F) IF/MM

Figura 33— Resultado del tipo de sostenimiento adecuado según GSI - Hoek Brown

Extraído de: Índice de resistencia geología de GSI

Según GSI el sostenimiento adecuado es con pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50m con malla o cinta ocasional, tiene una resistente elevadamente alterada, con unas discontinuidades rugosas levemente alterada, manchas de oxidación, ligeramente abiertas, se rompe con dos o más golpes de picotas, también lo recomendable es usar malla cimentadas con Split set sistemáticos. Es fundamental implementar un sistema de sostenimiento robusto que incluya pernos, mallas y hormigón proyectado, así como realizar un monitoreo continuo para garantizar la seguridad y estabilidad de las excavaciones



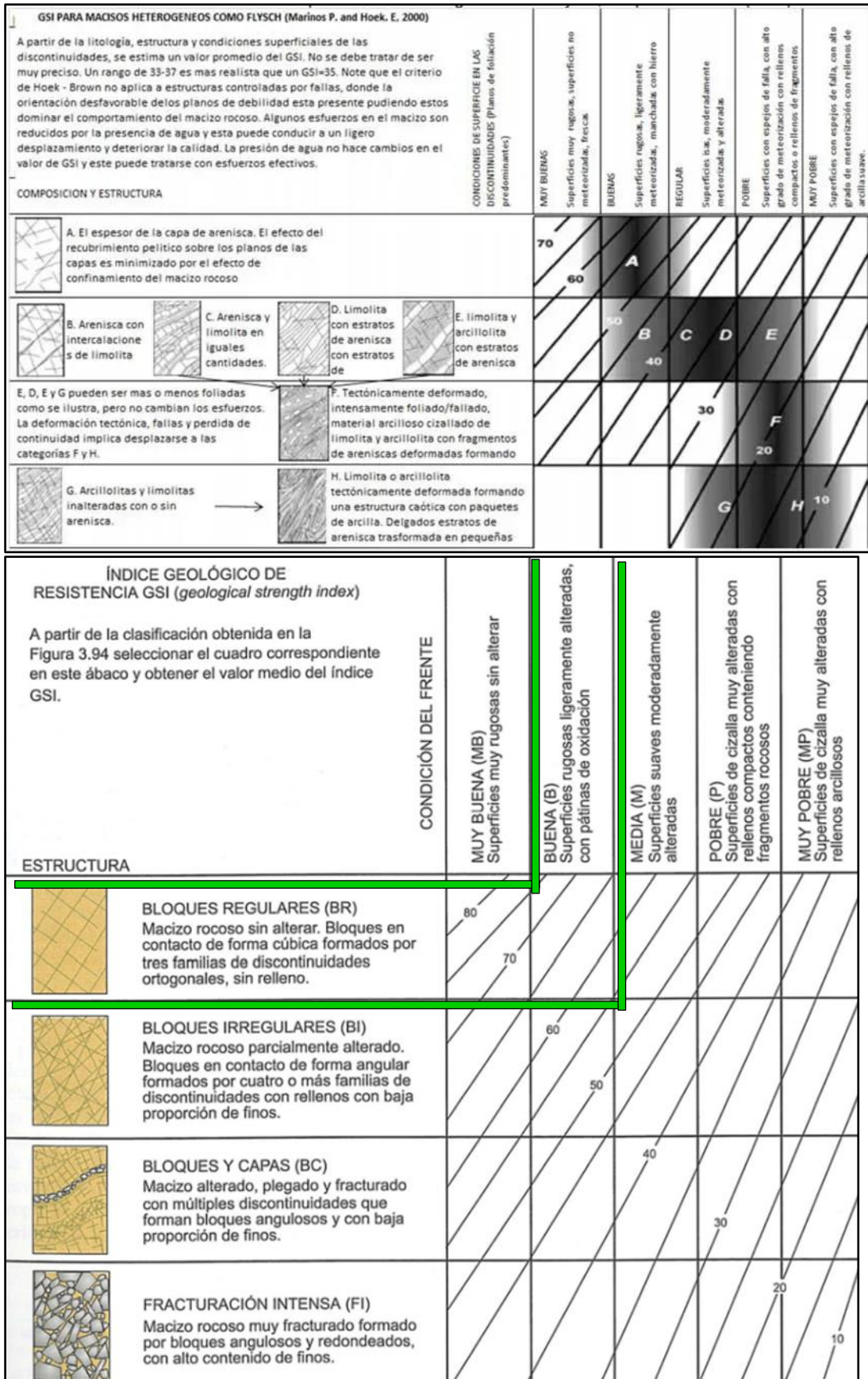


Figura 34— Resultado del tipo de sostenimiento adecuado según GSI - Hoek Brown

Extraído de: Índice de resistencia geológica de GSI

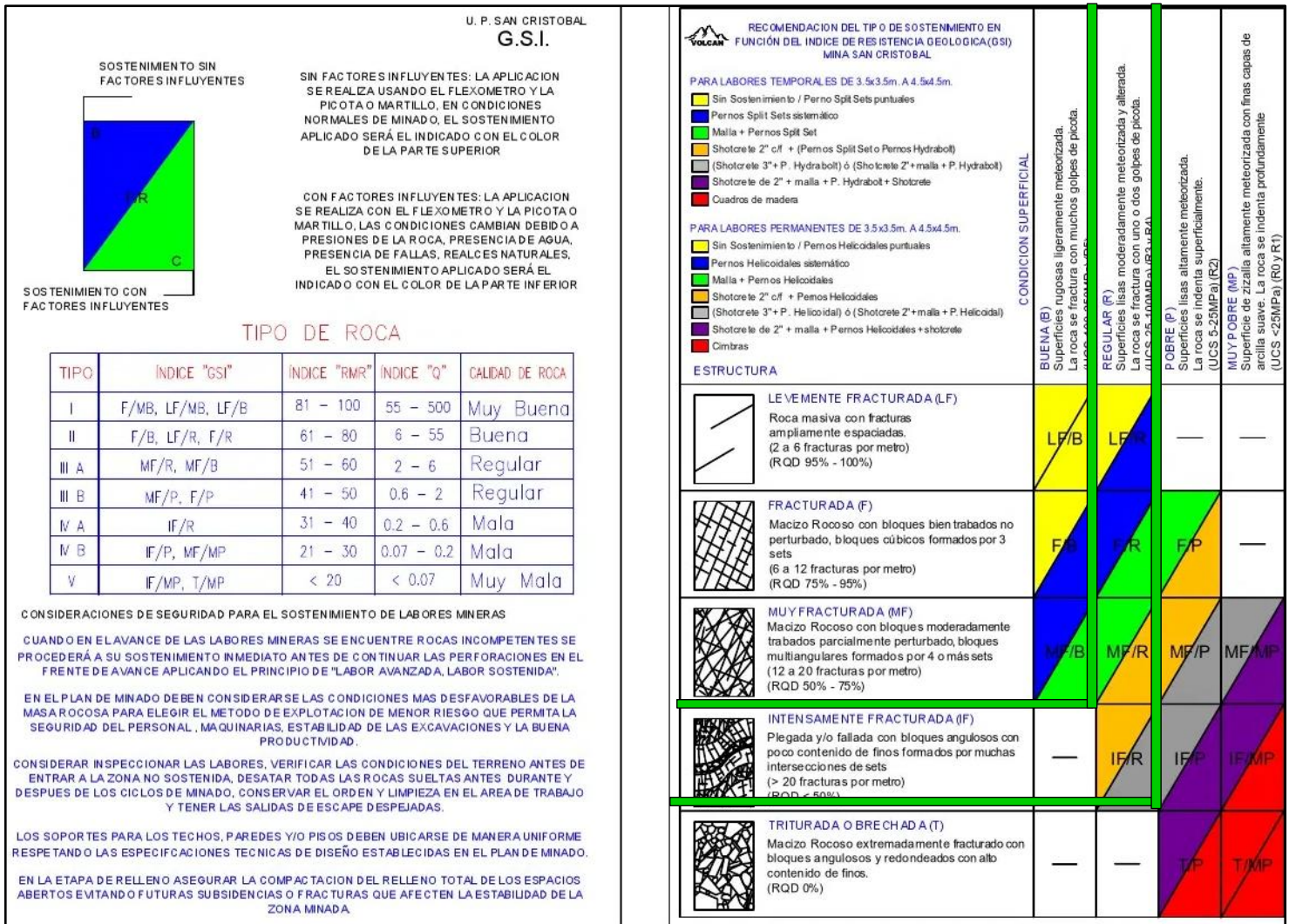


Figura 35— Resultado del diseño del tipo de sostenimiento adecuado según GSI - Hoek Brown
Extraído de: Índice de resistencia geológica de GSI

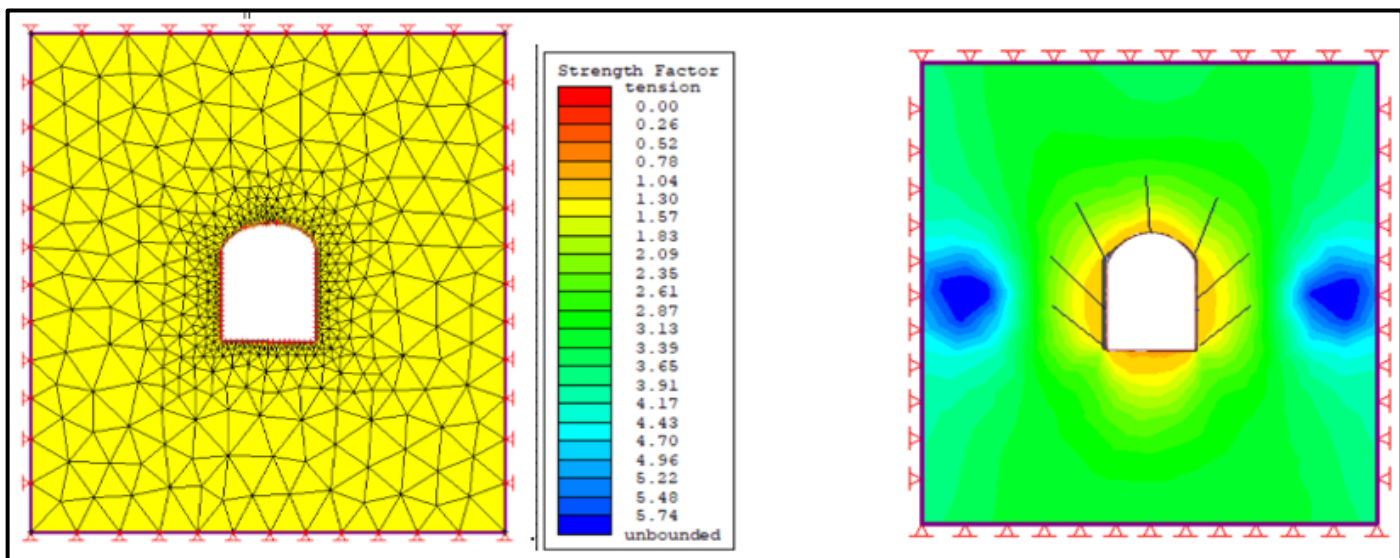


Figura 36— Diseño de sostenimiento según las clasificaciones geomecánicas de GSI - Hoek Brown



DISCUSIONES

Discusión general.

La intención de esta investigación fue establecer las clasificaciones geomecánicas necesarias para diseñar un sistema de sostenimiento adecuado en la galería del nivel 3690 de la mina Esperanza. A través del análisis de la clasificación RMR de Bieniawski, se encontró que la resistencia a la compresión simple es de 130 MPa, con un RQD del 40%. Además, tras realizar el mapeo geomecánico, se calculó un Índice Q de Barton de 8.13. Utilizando la ecuación de correlación, se ajustaron los valores, indican que el macizo rocoso clasifica dentro de la categoría III (Regular), según el rango de 60-41, y al estar más cerca del límite inferior, se aproxima a una clasificación IV (Mala) (calidad del macizo rocoso regular a mala).

En cuanto al sostenimiento se determina que el diseño adecuado es con shotcrete de 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos, Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. Se obtiene un factor de seguridad mayor a 1.58; lo cual indica que bajo estas condiciones de sostenimiento la labor es estable y segura. También se propone el diseño del sostenimiento con pernos de Split set y shotcrete reforzado con fibra sintética. Este hallazgo guarda relación por encontrado por (ARANGO, 2020) quien al estudiar el “Elección del tipo de sostenimiento requerido por cambio del dominio estructural en la construcción del nuevo pique Yauricocha” presenta resultados que la nueva zona como roca buena con un RQD de 69 %; el nuevo tipo de sostenimiento será mediante pernos Hydrabolt de 3 m de longitud y estarán espaciados cada 1,5 m a lo largo de todo el contorno del pique, estos serán reforzados mediante mallas metálicas galvanizadas de 4,19 mm de diámetro con una luz de 50 mm x 50 mm. Con un revestimiento de shotcrete de 3 pulgadas de espesor y una resistencia mínima de los mismos de 345 kg/cm². En ese sentido cabe comparar resultados que ciertamente son muy diferentes puesto que cada mina tiene su propia litología, su mineralogía, etc. que sin embargo se puede precisar del RQD puso estimar el sostenimiento mediante Hydrabolt de 3 m de longitud y estarán espaciados cada 1,5 m.



Discusión específico 1.

La intención es diseñar el sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, los resultados obtenidos son un RCU de 97.56MPa y Q es 4.94, con una calidad de roca mala. El tipo de sostenimiento adecuado según Barton, se sugiere empernado sistemático con un espesor 6-9cm con fibra y reforzado con mallas el sostenimiento adecuado pernos de anclaje reforzados para asegurar la estabilización de los bloques rocosos, dada la resistencia y el comportamiento esperado de las rocas pueden ofrecer el soporte inicial mientras que los pernos de anclaje pueden proporcionar soporte a largo plazo.

Este hallazgo guarda relación por encontrado por la investigación del Estudio de VALDIVIA (2020), tuvo como objetivo estimar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso utilizando el método de Kriging, phase2. las rocas podrían exhibir un comportamiento post-rotura elastoplástico con reblandecimiento. Esto se debe a que los parámetros indican la Resistencia: RCU (resistente a muy resistente), Rugosidad: JRC (rugosa), RQD: Regular a buena, Espaciado, medianamente junto, que la estimación representa una fuente confiable para identificar las zonas críticas del macizo rocoso, lo cual es crucial para establecer medidas preventivas necesarias por parte de las autoridades.

Discusión específica 2.

La intención del estudio es diseñar el sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, se obtienen los siguientes resultados según a las clasificaciones geomecánicas, los parámetros obtenidos indican una resistencia del macizo rocoso de aproximadamente 130 MPa, con un RQD cercano al 40%. Al considerar todos los valores correspondientes a las condiciones de discontinuidades, se concluye que la calidad del macizo rocoso varía de regular a mala, obteniendo un RMR de 42 Mpa.

el diseño de sostenimiento según Bieniawski sugiere, el sostenimiento de shotcrete de 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado.

Esta investigación guarda relación con el estudio de (OCHOA QUESADA,2018), al estudiar el comportamiento geomecánico, confirmando la utilidad del modelo Hoek-Brown y el comportamiento del macizo rocoso proponer una clasificación geomecánica según Bieniawski, GSIY Barton que permitiera evaluar el comportamiento del macizo rocoso en dicho túnel. La metodología empleada fue de carácter científico, aplicada a la



investigación, obteniendo resultados significativos, para el comportamiento de post rotura el estudio reveló que el macizo rocoso estaba fracturado con tres familias de grietas predominantes y, según las clasificaciones geomecánicas, se clasificaba de calidad regular, estos hallazgos refuerzan la importancia de aplicar clasificaciones geomecánicas adecuadas y el tipo de sostenimiento adecuado malla empernado que es ajustadas para evaluar el comportamiento del macizo rocoso en proyectos subterráneos Según Hoek-Brown, la resistencia del material intacto (σ_{ci}) 27.038 MPa, el criterio de Mohr-Coulomb Fit: Cohesión (c) 2.320 MPa garantizando así la seguridad y estabilidad de las excavaciones.

Discusión específica 3.

La intención fue diseñar el sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Según GSI Hoek Brown el sostenimiento adecuado es con pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50m con malla o cinta ocasional, tiene una resistente elevadamente alterada, con unos discontinuidades rugosas levemente alterada, manchas de oxidación, ligeramente abiertas, se rompe con dos o más golpes de picotas, también lo recomendable es usar malla cimentadas con Split set sistemáticos. Es fundamental implementar un sistema de sostenimiento robusto que incluya pernos, mallas y hormigón proyectado, así como realizar un monitoreo continuo para garantizar la seguridad y estabilidad de las excavaciones, la calidad de la roca es regular, RQD 40%, persistencia del macizo rocoso es de 3 -10m, abertura 1-5mm, relleno del macizo rocoso es duro mayor a 5 mm sus alteraciones son mojado.

Este hallazgo guarda relación con el trabajo de investigación de por (CAYLLAHUA,2020) quienes al estudiar el “diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras” sus resultados fueron masa rocosa tipo IV-mala. Por otro lado, se obtuvo el valor del índice Q (Barton y GSI et al, 1974) de 40, lo cual implica una calidad de excavación regularmente buena. Para la excavación de 12 metros de ancho y 12 metros de altura se evaluó. Se ha estimado según el método de Protodyakonov (1976) una zona plástica de 0.93 fuera del contorno de la excavación, mientras que para el modelo de Duncan Fama la zona plastificada identificada fue de 0.46 metros, En cuanto a la modelación, para lograr un mínimo del F.S se sugiere un espaciamiento de pernos de 1.3 metros, a 4 metros de la frente.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Conclusión general.

la investigación determinó que el macizo rocoso en la galería del nivel 3690 de la mina Esperanza tiene una calidad deficiente (regular a mala), con una resistencia a la compresión de 130 MPa y un RQD del 40%. El Índice Q de Barton calculado fue de 8.13, y se recomendó un sostenimiento, con shotcrete de 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos de 1.5 a 2 metros, según Bieniawski Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. El factor de seguridad mínimo es de 1.83, lo que indica que el macizo necesita ser sostenido, ya que su capacidad de soporte es inferior a las fuerzas presentes en la excavación.

Conclusión específica 1

- El sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690 se determinó que la calidad del macizo rocoso es mala, con un RCU de 97.56 MPa y un índice Q de 4.94. Se recomienda un sostenimiento basado en pernos de anclaje reforzados y un recubrimiento de 6-9 cm con fibra, acompañado de mallas para estabilizar los bloques rocosos, dada la resistencia y el comportamiento esperado de las rocas pueden ofrecer el soporte inicial mientras que los pernos de anclaje pueden proporcionar soporte a largo plazo.

Conclusión específica 2

- El análisis geomecánico según la clasificación de Bieniawski en la galería mina Esperanza, Aymaraes, permitió definir el diseño de sostenimiento es shotcrete 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. Se obtiene un factor de seguridad mayor a 1.58; lo cual indica que bajo estas condiciones de sostenimiento la labor es estable y segura

Conclusión específica 3.

- según el índice GSI, se recomienda un sistema de sostenimiento robusto para la excavación, que incluya pernos sistemáticos con un espaciado de 1.50 x 1.50 metros, mallas o cintas ocasionales, y el uso de Split Set. La roca tiene una calidad regular, con un RQD del 40%, discontinuidades ligeramente alteradas y relleno duro en las fracturas. Además, debido a la presencia de humedad y oxidación, es esencial realizar un monitoreo continuo para asegurar la estabilidad de la excavación y garantizar la seguridad del área de trabajo.



6.2 Recomendaciones

Recomendación general

- Se recomienda implementar un programa de monitoreo continuo para evaluar el comportamiento del macizo rocoso, especialmente después de la instalación de los pernos de anclaje. Es crucial planificar para condiciones que puedan afectar la estabilidad, como agua, vibraciones o cargas dinámicas, y ajustar el diseño de sostenimiento o instalar drenajes según sea necesario. Además, utilizar software especializado para modelar refuerzos y asegurar que el personal encargado esté bien capacitado y siga protocolos de seguridad estrictos.

Recomendación específica 1

- Se sugiere emplear valores más conservadores al evaluar la calidad de la roca en condiciones desfavorables, con el fin de realizar una estimación de autosoporte más segura en las excavaciones subterráneas. La confianza excesiva puede incrementar el riesgo de fallas, ya que el desprendimiento de roca es uno de los peligros más críticos en las minas subterráneas, con un historial que muestra su capacidad para causar daños significativos en el proceso de explotación minera.

Recomendación específica 2

- Se recomienda antes de ejecutar labores de excavación subterránea verificar el ancho de excavación si es acorde y/o favorable, las características de las discontinuidades y otros factores geomecánicos influyen en el dimensionamiento apropiado de la sección de excavación. Realizar inspecciones periódicas para evaluar el estado del sostenimiento y la estabilidad del macizo

Recomendación específica 3

- Se recomienda la implementación de un sistema de sostenimiento robusto que incluya pernos sistemáticos, mallas ocasionales y hormigón proyectado es fundamental para garantizar la seguridad y estabilidad en la mina. La atención a las condiciones específicas del macizo rocoso y el monitoreo continuo son clave para adaptar el diseño del sostenimiento a medida que cambian las condiciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, Fabiola. 2020.** *Modelamiento geostatístico de la clasificación geomecánica de bieniawski (RMR)*. Santiago de Chile : s.n., 2020.
- ARANA CABRERA, Jhonny Alex y CUEVA ROMERO, Jimmy Gerardo. 2019.** *Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su influencia en el tipo de sostenimiento en el nivel 05 de la mina subterránea paredones, san pablo, Cajamarca, 2019*. Cajamarca : s.n., 2019.
- ARANGO, Eber. 2020.** *Elección del tipo de sostenimiento requerido por cambio del dominio estructural en la construcción de nuevo pique yauricocha*. Huancayo : s.n., 2020.
- BARRICK, EMOPRES MINERA. 2021.** *Geología regional para minas artesanales de Chalhuanca*. 2021.
- BENAVENTE, David, BERNABEU , Ana y CAÑEVERAS, Juan. 2004.** *Estudio de propiedades físicas de las rocas*. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. Valencia : s.n., 2004. pág. 65.
- BRAJA M, Das. 2015.** *Fundamento de ingeniería geotécnica*. s.l. : CENGAGE Learning, 2015.
- CACERES, Laura. 2020.** *Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento adecuado en la mina Chaparra, Arequipa-2021*. *Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento adecuado en la mina Chaparra, Arequipa-2021*. MAYO de 2020. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176858/Modelamiento-geoestad%C3%ADstico-de-la-clasificaci%C3%B3n-geomec%C3%A1nica-de-Bieniawski-%28RMR%29.pdf>.
- CALAMA NINA, Alexander. 2021.** *Evaluación geomecánica para la selección del tipo de sostenimiento en la construcción de la rampa-440, en la minería aurífera cuatro de enero S.A. (MACDESA)-Arequipa*. Cusco : s.n., 2021.
- CHAVEZ, Nilson. 2021.** *Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento*. Lima : Universidad Continental , 2021.
- CHURATAS, Mijael. 2021.** *Estudio geomecánico del macizo rocoso*. *Estudio geomecánico del macizo rocoso*. 27 de Octubre de 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32427>.
- DAS, Braja M. 2015.** *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Cuarta edición. s.l. : CENGAGE Learning, 2015.
- FERNANDEZ, Carlos. 2022.** *Metodología de la Investigación*. Madrid : McGraw-Hill 7ta , 2022. 978-1-4562-4972-0.



- FLORES CHAVEZ, Guillermo Jhoel. 2021.** *Caracterizacion geomecanica del macizo rocoso para determinar el tipo de rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesion minera subterranea zenit 1, distrito san luis.* Cajamarca - Peru : s.n., 2021.
- GONZALES DE VALLEJO, Luis. 2002.** *Ingenieria Geologica.* Madrid : Pearson, 2002. pág. 711. 84-205-3104-9.
- GONZALES, Daniel. 2009.** *Metodologia de la investigacion.* Bogota: s.n., 2009. 9789586486026.
- HERNANDEZ, C. 2011.** *Metodologia de la Investigacion.* 6ta . Mexico : McGraw-Hili _ Interamericana, 2011. 1234567890.
- HOYOS PATIÑO, Fabian. 2012.** *Getecnia diccionario basico.* Medellin : s.n., 2012.
- HUAMAN , Franklin. 2022.** *Evaluacion geomecanica y diseño de sostenimiento.* Cajamarca : Universidad privada del norte, 2022.
- INGEMET. 2018.** *Prospeccion geologica minera Chalhuanca -Abancay.* Lima : Instituto geologico minero y metalurgico, 2018.
- IÑIGUEZ TORAL, Diana Camila. 2020.** *Velocidad de Corte en Rocas y su relacion con la Resistencia a la Compreseion Simple.* Cuenca - Ecuador : s.n., 2020.
- OCHOA QUESADA, Alexander. 2018.** *Propuesta de una clasificación geomecánica para la evaluación del comportamiento del macizo rocoso en el frente de arranque del Tunel Levisa-Mayari Tramo IV.* Moa : s.n., 2018.
- PAITAN, Irene. 2014.** *Metodologia de la investigacion.* Bogota : s.n., 2014. 9789587621884.
- RAMIREZ OYANGUREN, Pedro y ALEJANO MONGE, Leandro. 2004.** *Mecanica de rocas : fundamentos e ingenieria de taludes.* Madrid : OpenAire, 2004.
- RAMIREZ OYANGUREN, Pedro y MONGE, Leandro. 2004.** *Mecanica de Rocas: Fundamentos e ingenieria de Taludes.* 2004.
- RIOS, Martin. 2005.** *Metodologia de la investigacion.* Mexico : s.n., 2005. 9781456223960.
- RODRIGUEZ, Javier Alonso. 2007.** *Ingenieria Geologica: Caracterizacion de macizos rocosos.* Oviedo : s.n., 2007. pág. 14.
- RODRIGUEZ, JAVIER ALONSO. 2007.** *Ingenieria geologica: Caracterizacion de macizos rocosos.* Madrid : s.n., 2007.
- ROJAS, Andre. 2023.** *Evaluacion geomecanica y diseño de sostenimiento en la mineria Caraveli.* Cajamarca : Universidad privada del norte, 2023.
- SAEZ, Esteban. 2010.** *Fundamentos de Geotecnia.* s.l. : ICE, 2010.
- SALAZAR ISLA , Edgar Samir. 2020.** *Evaluacion geomecanica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotacion por el metodo de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A.* Huancayo : s.n., 2020.



TACURI GAMBOA, Amilcar. 2017. *Evaluacion geomecanica del macizo rocoso para la aplicacion del sostenimiento en la mina hercules-cia minera Lincuna s.a.* Ayacucho : s.n., 2017.

THOMAS CABRERA, Carlos Enrique. 2014. *Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificacion de tuneles definidos segun metodos empiricos de clasificaciones geomecanicas versus metodos analiticos y numericos.* Santiago de Chile : s.n., 2014.

VALDES, Alvaro. 2019. Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski. *Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski.* [En línea] 10 de Febrero de 2019. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176858/Modelamiento-geoestad%C3%ADstico-de-la-clasificaci%C3%B3n-geomec%C3%A1nica-de-Bieniawski-%28RMR%29.pdf>.

VALDIVIA DONAYRE, Alex Fredy. 2020. *Estimacion del comportamiento geomecanico, mediante metodo de kriging para el macizo rocoso del cerro callacpuma-sector huayrapongo,2020.* Cajamarca-Peru : s.n., 2020.

ZAPANA MAMANI, REISER. 2020. *Diseño de sostenimiento del tunel central Nv. 500 de la Minera Ana Maria.* Arequipa : s.n., 2020. pág. 30.



ANEXOS



Anexo 1

Título: Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023

Tabla 32 — Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Problema general</p> <p>¿Como son las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Es posible que con las clasificaciones geomecánicas el diseño adecuado del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina esperanza, Aymaraes 2023</p>	<p>V1: Evaluación de clasificaciones geomecánicas</p>	<p>D1: Barton</p>	<p>I1: Espaciamiento I2: Condición de juntas I3: presencia de agua subterránea I4: corrección por orientación</p>
<p>Problema específico</p> <p>¿Como es el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>Es adecuado el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Barton en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023</p>		<p>D2: Bieniawski</p>	<p>I1: Resistencia a la compresión simple I2: R.Q.D I3: Espacio de las discontinuidades I4: condición de discontinuidades I5.- presencia de agua I6.- orientación de discontinuidades</p>
<p>¿Cuál es el diseño adecuado de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023?</p>	<p>Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023</p>	<p>Es favorable el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánicas de Bieniawski en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023</p>	<p>V2: Diseño de sostenimiento</p>	<p>D3: Hoek y Brown (GSI)</p>	<p>I1. Estructura del macizo rocoso I2. Condición de las discontinuidades: I3. orientación de discontinuidades</p>
<p>¿Cuál es el diseño de sostenimiento adecuado a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023?</p>	<p>Determina el diseño de sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023</p>	<p>Es adecuado el diseño sostenimiento a partir de la clasificación geomecánica de Hoek y Brown (GSI) en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023</p>		<p>D1: Condiciones del terreno</p>	<p>I1: Roca muy buena I2: Roca buena I3: Roca regular I4: Roca mala I5: Roca muy mala</p>
				<p>D2: Tipo de sostenimiento</p>	<p>I1: Shotcrete I2: Cerchas Metálicas I3: Anclajes I4: Mallas Metálicas:</p>
				<p>D3: Diseño adecuado</p>	<p>I1: Muy malo I2: Malo I3: Medio I4: Bueno I5: Excelente</p>



Anexo 2 Panel Fotográfico



Figura 37— Bocamina principal de la galería nivel 3690



Figura 38— Identificación del sostenimiento actual de la galería



Figura 39— Plataforma de descarga



Figura 40— Preparación de muestras en el laboratorio



Figura 41— Realización de ensayo en el laboratorio de la UNAMBA



Figura 42— Reconocimiento de roca para realizar el ensayo correspondiente en una labor subterránea

Anexo 3

Resultados del laboratorio del ensayo a la compresión uniaxial realizada en el laboratorio de EAP- Minas Unamba.

Tabla 33 — Resultados de ensayo a la compresión uniaxial

ENSAYOS DE LA RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL								
DOMINIO ESTRUCTURAL 01								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	ANDESITA	45.00	51.00	48.00	104.00	26.00	4.09	132.04
M-2	ANDESITA	52.00	48.00	50.00	115.00	25.00	3.41	115.84
M-3	ANDESITA	53.00	50.00	51.50	98.00	26.00	4.05	131.11
M-4	ANDESITA	45.00	45.00	45.00	100.00	27.00	4.71	146.63
PROMEDIO								131.41
DOMINIO ESTRUCTURAL 02								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	ANDESITA	62.00	58.00	60.00	118.00	26.00	2.88	105.21
M-2	ANDESITA	49.00	48.00	48.50	108.00	27.00	4.05	132.91
M-3	ANDESITA	53.00	50.00	51.50	130.00	28.00	3.28	117.51
M-4	ANDESITA	45.00	45.00	45.00	100.00	28.00	4.89	152.06
PROMEDIO								126.93
DOMINIO ESTRUCTURAL 03								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	ANDESITA	58.00	53.00	55.50	110.00	27.00	3.47	120.33
M-2	ANDESITA	55.00	49.00	52.00	111.00	26.00	3.54	120.18
M-3	ANDESITA	53.00	50.00	51.50	106.00	28.00	4.03	134.19
M-4	ANDESITA	45.00	36.00	40.50	89.00	26.00	5.67	162.88
PROMEDIO								134.40
PROMEDIO TOTAL								130.91



Anexo 4

Cartillas de mapeo geomecánico

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR, Q y GSI

ESTACION
E1

ROCCAS IGNEAS
ANDESITA

Litología

Altura litostática (m)

Rc / Sv

Nombre del Proyecto:
Guaburión de claspico geomecánico para el diseño de sostenimiento

Nivel:
3690

Labor:
Mtz. Esperanza

Ejecutado por:
Pedro A. Gonzales

Fecha:
15/07/24

VALOR
130

Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)

RCD (%)
40

Espaciamiento de discontinuidades (cm)

CONDICION DE DISCONTINUIDADES

Familia	Buz.	rd. Buz	filn	Persistencia
D1	45	230	3	Abertura
D2	28	145	4	Rugosidad
D3	78	110	5	Relleno
Alteración				

Agua subterránea

Orientación

SISTEMA RMR

PARAMETROS	VALOR	RANGO	VALOR
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	130	100-200 (I)	12
RCD (%)	40	15-35 (II)	8
Espaciamiento de discontinuidades (cm)	40	10-20 (III)	5

RMR_g (Básico) = 39
RMR_g (Corregido) = 37
RMR_g (Condiciones Secas) = 35

RANGO
40
I SISTEMA DE DISCONTINUIDADES REGULARES E IRREGULARES
II LIGERAMENTE ALTERA
III SECAS O POCOS GRUPOS
IV TENDENCIAS CIENAVAS

SISTEMA DE CLASIFICACION Q

PARAMETROS	VALOR	RANGO
RCD %	40	30-50 (I)
Número de discontinuidades	3	1-5 (II)
Número de rugosidad	3	1-5 (II)
Número de alteración	2	1-5 (II)
Número de agua subterránea	2	1-5 (II)
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	1	1-5 (II)

Q = (RCD₁) x (1 / J₁) x (1 / J₂) x (1 / J₃) x (1 / J₄) x (1 / J₅) x (1 / J₆) x (1 / J₇) x (1 / J₈) x (1 / J₉) x (1 / J₁₀) x (1 / J₁₁) x (1 / J₁₂) x (1 / J₁₃) x (1 / J₁₄) x (1 / J₁₅) x (1 / J₁₆) x (1 / J₁₇) x (1 / J₁₈) x (1 / J₁₉) x (1 / J₂₀)

Q = (RCD₁) x (1 / J₁) x (1 / J₂) x (1 / J₃) x (1 / J₄) x (1 / J₅) x (1 / J₆) x (1 / J₇) x (1 / J₈) x (1 / J₉) x (1 / J₁₀) x (1 / J₁₁) x (1 / J₁₂) x (1 / J₁₃) x (1 / J₁₄) x (1 / J₁₅) x (1 / J₁₆) x (1 / J₁₇) x (1 / J₁₈) x (1 / J₁₉) x (1 / J₂₀)

RMR = 9 Ln Q + 44
RMR = 9 Ln Q + 44

INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA

VALORES
GSI 39
RMR 37
Q 40

TABLA GEOMECANICA (GSI)
GSI 39
RMR 37
Q 40

OBSERVACIONES

SISTEMA DE CLASIFICACION SKETCH

RESISTENCIA DE LA ROCA
 UCS/Sv < 8
 8 < UCS/Sv < 15
 UCS/Sv > 15

RESISTENCIA DE LA ROCA
 Poco competente
 Competencia intermedia
 Competencia Alta

SKETCH
PARA CALCULO DE SISTEMA RMR BASICO SE REALIZA UN CALCULO DE SUMATORIA DE LOS PARAMETROS DE LA TABLA Y LA SUMATORIA DEL RMR CORREGIDO

Figura 43— Mapeo geomecánico de RMR, Q y GSI



TABLA DE VALORES DE LOS SEIS PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SISTEMA Q DE BARTON

1.- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	
Descripción	RQD %
MUY POBRE	0 - 25
POBRE	25 - 50
REGULAR	50 - 75
BUENA	75 - 90
EXCELENTE	90 - 100

Nota:
 i) Estimar el RQD con 5% de aproximación
 ii) Cuando no se disponga de testigos
 RQD = 115 - 3.3.Jv. Donde: Jv. N° de Diaclasas por m3
 iii) Si el RQD es menor de 10, emplear un valor nominal 10

2.- NUMERO DE DISCONTINUIDADES	
Descripción	Jn
Massiva o con muy poca discontinuidad	0.5 - 1.0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas de principal y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20

Nota:
 i) Para intersecciones de túneles, usar (3.0*Jn)
 ii) Para portales usar (2.0*Jn)

FACTOR DE RIGIDEZ DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	Jr
A) Diaclasas discontinuas	3
B) Riposas e irregulares, onduladas	4
C) Lisas, Onduladas	2
D) Lustradas Ondulantes	1.5
E) Rugosas e irregulares, planares	1
F) Lisas, Planares	1
G) Lustradas, Planares	0.5
H) Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J) Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1

NOTAS:
 En grupos A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm.
 Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.
 En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla

FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	Ja
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de arena, solo reemplazamiento)	0.75
A) Ajustadas, rellenas con material compacto	1
B) Superficies pulidas, lisas, manchas de oxidación	2
C) Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca	3
D) Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva	4
E) Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1-2 mm de espesor	4
b) No contacto entre superficies de la discontinuidad se produce despues de 10cm de relleno de mineral fino	4
F) Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	6
G) Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm de espesor) de material arcilloso compacto.	8
H, I) Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcilloso compacto con bajo grado de consolidación	8 - 12
J) Relleno continuo de arcilla expansiva (Montmorillonita) el valor de Ja dependera del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la aceabilidad del agua, etc.	8 - 12
c) No contacto entre superficies de la discontinuidad despues de cizalla (relleno de mineral grueso)	6 - 8 o 8 - 12
K, L, M) Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	5
N) Zona de arcilla limosa o arenosa	10 - 13 o
O, P, Q) Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	13 - 20

FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS	
DESCRIPCION	Jw
A) Secas o flujos bajos (5 l/min)	1
B) Flujos a presiones medias que ocasionan erosión del material de relleno	0.66
C) Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	0.5
D) Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0.33
E) Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	0.2 - 0.1
F) Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0.1 - 0.05

NOTAS:
 i) Factores C a F son estimaciones basicas. Aumentar Jw si se han instalado medidas de drenaje.
 ii) Especiales problemas causados por la formación de hielo no son considerados.

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
A) Las zonas debiles intrinsecas a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando	10
A) Muchas zonas debiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad	5
B) Zona debil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50cm)	2.5
C) Zona debil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50cm.	7.5
D) Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta (cualquier profundidad)	5
E) Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.	2.5
F) Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.	5
G) Diaclasas abiertas y sueltas roca intrínsecamente fracturada en tensiones, cualquier prof.	5

Nota: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen pero no interseccion la excavación.

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas	et/oc
H) Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	< 0.01
J) Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200 - 10 0.01 - 0.3
K) Tensiones elevadas, estructura muy compacta	10 - 5 0.3 - 0.4
L) Lajamiento moderado de la roca despues de 1 hora en rocas masivas	5 - 3 0.5 - 0.65
M) Lajamiento y estabilidad de la roca despues de pocos minutos en rocas masivas	3 - 2 0.65 - 1
N) Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinamicas inmediatas en rocas masivas	< 2 > 1

Nota: i) Para campos incluídos fuertemente anisotropicos se le medirá cuando $5 \times \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reducir σ_1 en 0.75; cuando $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reducir σ_1 a 0.5; donde σ_1 y σ_3 son las tensiones principales mayores y menores y σ_1 y σ_3 son las tensiones principales mayores y menores por el efecto de la abilidad de la roca. ii) Los valores de σ_1 y σ_3 se refieren a la altura del techo de la excavación a supérficie es mejor que el ancho de la labor. Para estos casos se sugiere incrementar de 2.5 a 6 para estos casos (ver H).

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones liberabilizantes	et/oc
O) Presión de deformación suave	1 - 5
P) Presión de deformación intensa	5 - 10
Q) Presión de deformación muy intensa	10 a 20

Nota: i) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades H=350*Q/(1/3). La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7 * Q^{1/3}$, donde Q es la presión de deformación (en densidad de la roca/gm/cc)
 ii) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua
 R) Presión de expansión suave
 S) Presión de expansión intensa

Figura 44— Valores de los parámetros característicos del sistema Q de Barton



SISTEMA DE CLASIFICACION Q			VALOR
PARAMEROS	RANGO		
RQD %	40 %	RQD	8
Número de discontinuidades	4 D	Jn	9
Número de rugosidad	Lisa	Jr	3
Número de alteración	ligero	Ja	2
Número de agua subterránea	seco	Jw	1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	tension elevada	SRF	2
$Q = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$			$Q = 0.67$
$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a)$			$Q' = 1.33$
$RMR = 9 \ln Q + 44$ $RMR' = 9 \ln Q' + 44$			
Q	1000-400	EXCEPCIONAL MENTE BUENA	
	400-100	EXTREMENADA MENTE BUENA	
	100-40	MUY BUENA	
	40-10	BUENA	
	10-4,0	REGULAR	
	4-1,0	POBRE	
	1-0,1	MUY POBRE	
	0,1-0,01	EXTREMENADAMENTE POBRE	
	0,01-0,001	EXCEPCIONAL MENTE POBRE	

Figura 45— Mapeo geomecánico de Barton



Anexo 5

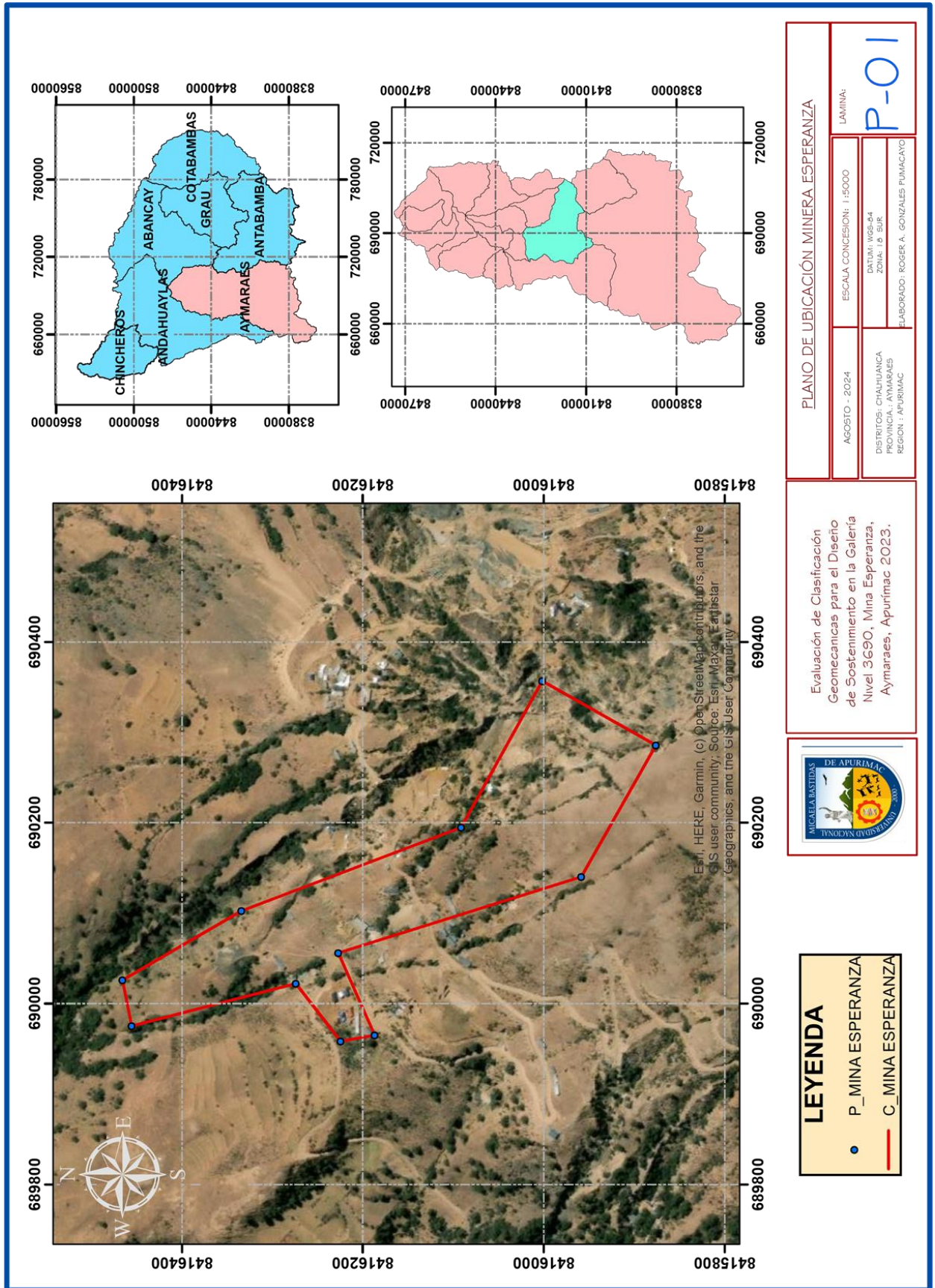


Figura 46— Mapa de ubicación de la mina Esperanza



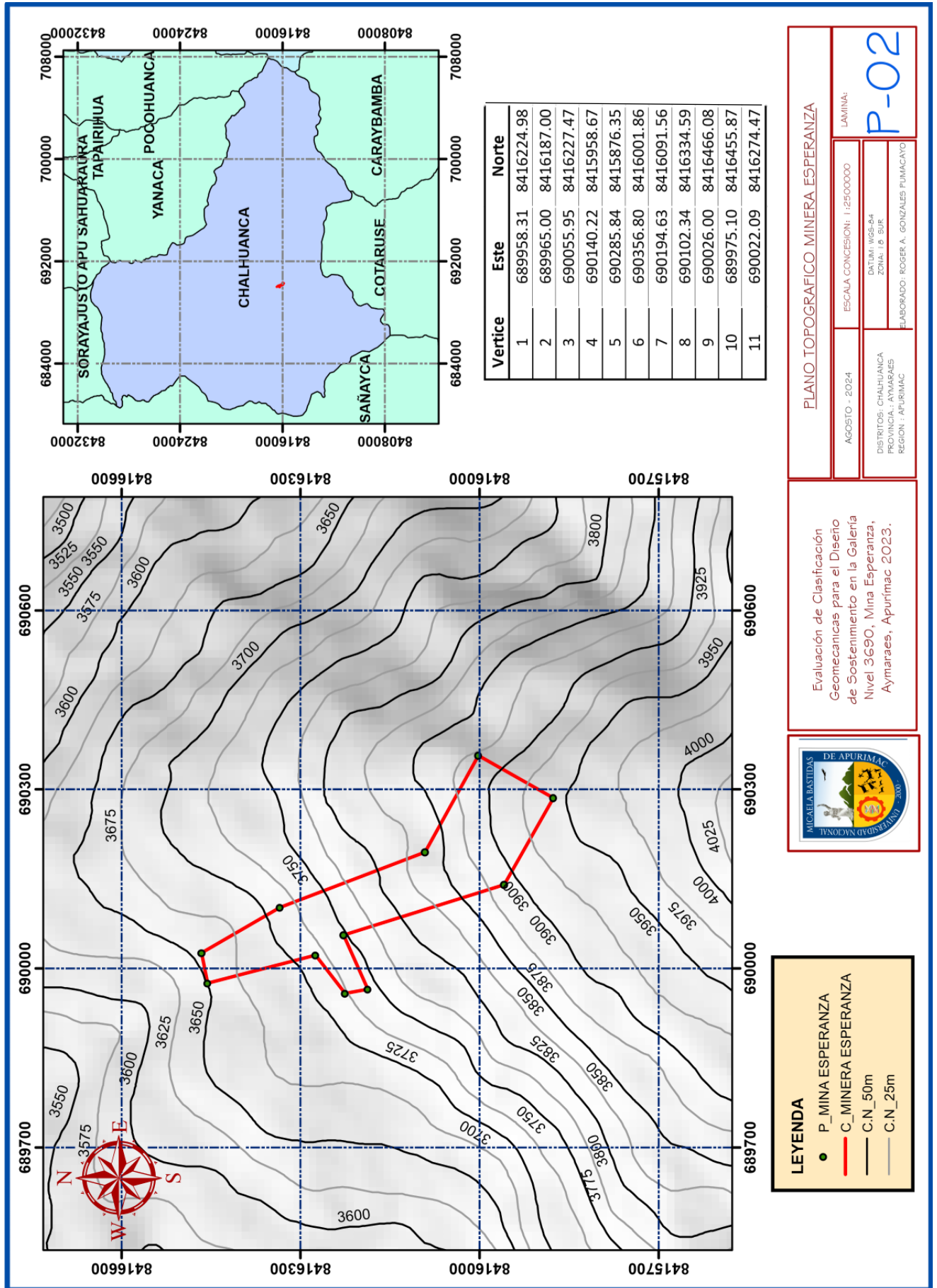


Figura 47— Mapa topográfico de la mina Esperanza

PLANO TOPOGRAFICO MINERA ESPERANZA

AGOSTO - 2024

ESCALA CONCESION: 1:2500000

LAMINA: P-02

DATUM: WGS-84

ZONA: 18 SUR

PROVINCIA: AYMARAES

REGION: APURIMAC

ELABORADO: ROGER A. GONZALES PUMACAYO

Evaluación de Clasificación Geomecánicas para el Diseño de Sostentamiento en la Galería Nivel 3690, Mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023.



LEYENDA

- P_MINA ESPERANZA
- C_MINERA ESPERANZA
- C_N_50m
- C_N_25m

