

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Determinación de un adecuado sostenimiento mediante el análisis
geomecánico del yacimiento Carahuacra, en Compañía Minera**

Volcan S.A.A. Unidad Carahuacra

**Para optar el título profesional de
Ingeniero de Minas**

Autor:

Bach. Noe Jesus CASTAÑEDA ROSAS

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Cerro de Pasco - Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Determinación de un adecuado sostenimiento mediante el análisis
geomecanico del yacimiento Carahuacra, en Compañía Minera**

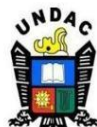
Volcan S.A.A. Unidad Carahuacra

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE

Mg. Manuel Mayer CARHUARICRA RIVERA
MIEMBRO

Mg. Wilfried Bryan PEREZ PARRAGUEZ
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firma Digital
UNIVERSIDAD
NACIONAL
DANIEL
ALCIDES
CARRIÓN
TITULAR

Firmado digitalmente por CONDOR
SURIACHAUI Santa Silvia FAU
20154605046 soft
Yo Soy el autor del documento
11.07.2025 08:01:39 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 025-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Noe Jesus, CASTAÑEDA ROSAS

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"DETERMINACION DE UN ADECUADO SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL ANALISIS GEOMECANICO DEL YACIMIENTO CARAHUACRA, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA".

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Índice de Similitud: **8%**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 25 de julio de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por que siempre está conmigo y ayudarme en todo el transcurso de mi carrera. A mi querida familia, por haberme apoyado en todo momento, por sus valores, por sus consejos, por confiar en mí. Por siempre motivarme a seguir adelante. Se los dedico de todo corazón

AGRADECIMIENTO

A mi querida familia, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y superación y por estar siempre a mi lado, apoyándome incondicionalmente en todos mis proyectos. Por estar siempre en los días buenos y en los no tan buenos que han acompañado este largo camino. A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por haberme recibido como parte de su comunidad estudiantil y que ha estado pendiente en nuestra formación académica para completar de manera satisfactoria la especialidad en ingeniería de minas.

RESUMEN

La investigación desarrollada que lleva como “DETERMINACION DE UN ADECUADO SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL ANALISIS GEOMECANICO DEL YACIMIENTO CARAHUACRA, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA”. Establece como objetivo principal el de Contar con un estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento que ayuden a tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento, como hipótesis principal: Al contar con un estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento podremos tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra.

En lo referente a la metodología se tiene, una investigación de tipo aplicada, con un nivel descriptivo, analítico, un diseño no experimental, como muestra comprende los datos Geomecánicos de las labores mineras conformados por los tajeos, galerías, cruceros de la unidad Carahuacra. Finalizando la investigación con las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Como conclusión principal se tiene, A partir del análisis geotécnico integrado del Nivel 1360 y 1410 de Veta Mary, es posible determinar que es técnicamente factible explotar estos niveles, aplicando el método B&F convencional o con relleno CRF, tomando en cuenta las dimensiones de tajos/pilares y la secuencia establecida para la explotación, el relleno y un sostenimiento adecuado.

Palabras claves: Sostenimiento, geomecánica, tajeos, excavaciones temporales, excavaciones permanentes

ABSTRACT

The research carried out under the title "DETERMINATION OF ADEQUATE SUPPORT THROUGH GEOMECHANICAL ANALYSIS OF THE CARAHUACRA DEPOSIT, IN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A., CARAHUACRA UNIT." Its main objective is to conduct a geomechanical study of the deposit's rock mass to help ensure adequate support for the deposit. The main hypothesis is: By conducting a geomechanical study of the deposit's rock mass, we will be able to ensure adequate support for the Carahuacra deposit.

Regarding the methodology, this is an applied research project, with a descriptive and analytical level and a non-experimental design. It includes geomechanical data from the mining operations comprising the stopes, galleries, and crosses of the Carahuacra unit. The research concludes with the respective conclusions and recommendations. The main conclusion is that, based on the integrated geotechnical analysis of Levels 1360 and 1410 of Veta Mary, it is possible to determine that it is technically feasible to mine these levels using the conventional B&F method or with CRF fill, taking into account the dimensions of the pits/pillars and the established sequence for mining, fill, and adequate support.

Keywords: Support, geomechanics, stopes, temporary excavations, permanent excavations

INTRODUCCION

En la actualidad en las operaciones mineras estadísticamente se revela un problema muy importante, la inestabilidad del macizo rocoso. Debido a las labores normales de cualquier mina se espera alterar las condiciones naturales de estabilidad del macizo, por esta razón se debe aplicar un sistema de sostenibilidad adecuado que compense la inestabilidad generada por las operaciones, y consecuentemente garantice las condiciones de seguridad para las personas que trabajan en las instalaciones, así como para el equipamiento que se emplea y que se supone una cuantiosa inversión. Por este motivo es de primer orden determinar el sistema de sostenimiento adecuado para cada tipo de operacion,

El problema que se presenta en Mina Carahuacra sobre el sostenimiento es que muchas veces se tiene un inadecuado sostenimiento debido a muchos factores como: Falta de un estudio geomecánico. la inexperiencia del personal, el desinterés de la empresa por investigar el sostenimiento optimo.

Estos aspectos hacen necesario realizar la presente investigación que conlleva en determinar un adecuado sostenimiento en relación con la geomecánica del yacimiento de la mina Carahuacra.

El contenido de esta tesis está organizado en cuatro capítulos que a continuación se resumen.

El primer capítulo presenta la problemática de la investigación, sobre el sostenimiento y la geomecánica del yacimiento, en esta parte se planteará el problema, a nivel general y específico así mismo, también se presentará los objetivos a nivel general y específicos, adicionalmente se reseñará la importancia y la consiguiente justificación de esta investigación, por otra parte, la hipótesis y las variables serán descritas. Por último, se mostrarán las los limites identificados y la delimitación general de esta propuesta.

El segundo capítulo se concentra en el Marco Teórico, analizando los trabajos que antecedieron a este, de igual manera se hace una revisión de la teoría utilizada por

distintos autores.

El tercer capítulo, presenta la metodología de investigación que se empleó, con lo cual se puede determinar el nivel y la tipología de esta propuesta, el diseño de este trabajo, los grupos poblacionales y muestrales, para terminar, mencionando las Técnicas e instrumentos que se usaron para recolectar y procesar los Datos específicos.

El cuarto capítulo realizamos el análisis y discusión de resultados referente al sostenimiento mediante un análisis geomecánico del yacimiento Carahuacra.

Finalmente, se elaboran las conclusiones y proponen las necesarias recomendaciones. Para cerrar se labora la relación completa de las fuentes y autores utilizados a lo largo de esta propuesta,

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	4
1.2.1. Delimitación espacial.....	4
1.2.2. Delimitación temporal	4
1.3. Formación del problema	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Limitación de la investigación	6

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.1.1. Antecedentes nacionales	7
2.2. Bases teóricas – científicas.....	11
2.2.1. Concepto de geomecánica	11
2.2.2. Clasificación geomecánica de macizos rocosos	12

2.2.3. Índice de calidad de la roca (RQD)	14
2.2.4. Clasificación de Bieniawski (RMR)	15
2.2.5. Índice Q.....	18
2.2.6. Índice de Resistencia Geológica, GSI.....	26
2.2.7. Sostenimiento de labores mineras.....	27
2.3. Definición de términos conceptuales.....	29
2.4. Enfoque filosófico – Epistemológico.....	34

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	36
3.2. Nivel de investigación	36
3.3. Característica de la investigación.....	36
3.4. Diseño de investigación	36
3.5. Procedimiento de muestreo	37
3.5.1. Población	37
3.5.2. Muestra	37
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.6.1. Técnicas.....	37
3.6.2. Instrumentos.....	37
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	37
3.8. Orientación ética.....	38

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	39
4.1.1. Trabajo de campo	39
4.1.2. Investigaciones básicas.....	39
4.1.3. Aspectos Litológicos.....	40
4.1.4. Distribución de Discontinuidades.....	40

4.1.5. Aspectos Estructurales.....	41
4.1.6. Geomecánica Mina Carahuacra	42
4.1.7. Aberturas máximas de las excavaciones y sostenimiento	44
4.1.8. Elementos de Sostenimiento	56
4.2. Discusión de resultados.....	57
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos 2014 – 2023: estadísticas de seguridad ocupacional en minería	2
Tabla 2. Datos 2014 – 2023: cantidad de víctimas mortales en minería	2
Tabla 3. Principales Clasificaciones de Macizos Rocosos	13
Tabla 4. Índice de calidad de la roca (RQD)	15
Tabla 5. Clasificación modificada de Bieniawski en subclases (Romana, 2000)	15
Tabla 6. Hoja de recolección de datos para la clasificación geomecánica RMR	16
Tabla 7. Clasificación geomecánica RMR	17
Tabla 8. Guía de excavación y sostenimiento de túneles en roca en concordancia con el RMR.....	18
Tabla 9. Clasificación de la roca de acuerdo con el índice de calidad Q	19
Tabla 10. Clasificación y valoración de los parámetros individuales del índice Q (Barton y Grimstad, 1994)	20
Tabla 11. Tipos de sostenimiento para el índice Q.	25
Tabla 12. Principales sistemas de discontinuidades	41
Tabla 13. Unidades geotécnicas.....	44
Tabla 14. Aberturas máximas de excavaciones según RMR	45
Tabla 15. Sostenimiento para labores de avance permanentes.....	47
Tabla 16. Sostenimiento para labores de avance temporal	49
Tabla 17. Aberturas máximas y tiempos de autosostenimiento para tajeos	51
Tabla 18. Dimensiones máximas de tajeos – Longitud Veta Mary	54
Tabla 19. Límites de la longitud del perno de soporte secundario	55
Tabla 20. Diseño del sostenimiento primario	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática del cálculo del RQD.....	14
Figura 2. Estimación de las categorías de sostenimiento, basadas en el índice Q de calidad	25
Figura 3. Cuantificación de GSI condiciones de las discontinuidades y RQD.....	26
Figura 4. Sostenimiento Pasivos malla, cimbras, cintas metálicas	27
Figura 5. Sostenimiento Pasivos shotcrete, cuadros de madera	28
Figura 6. Sostenimiento activo variedad de pernos	28
Figura 7. Pernos swellex, Split set, cables	29
Figura 8. Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993)	46
Figura 9. Sostenimiento para infraestructuras permanentes	48
Figura 10. Extensión del macizo rocoso a sostener	50
Figura 11. Sostenimiento de estructuras de buzamiento menores a 60°	50
Figura 12. Sostenimiento de estructuras con voladizo.....	50
Figura 13. Sostenimiento de estructuras con zonas alteradas.....	51
Figura 14. De estabilidad. Según Potvin (1988), modificado por Nickson 1992).....	53
Figura 15. Sostenimiento de intersecciones	55

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema

A partir de una revisión de los datos estadísticos proporcionados por el ministerio de energía y minas – 2023 vemos que se producen riesgos considerables de accidentes, lesiones y enfermedades debido a la actividad que realizan.

El registro estadístico de seguridad en el período 2023 muestra el siguiente resultado: a) en comparación con el periodo anterior se registró una disminución de 32.5% para los incidentes; b) los accidentes leves disminuyeron en 21.6%; c) los accidentes incapacitantes disminuyeron en 10.1%; d) los accidentes fatales incrementaron en 38.9%, lo que representa 51 personas fallecidas.

Para el caso de los índices se encuentran resultados variables frente al periodo 2022; el índice de frecuencia (IF) disminuye, el índice de severidad incremento (IS) y el índice de accidentes crecieron. (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM), 2024)

Tabla 1. Datos 2014 – 2023: estadísticas de seguridad ocupacional en minería

AÑO	INCIDENTES	ACCIDENTES LEVES	ACCIDENTES INCAPACITANTES	ACCIDENTES FATALES	DÍAS PERDIDOS	HORAS HOMBRE TRABAJADAS (MILLONES)	ÍNDICE DE FRECUENCIA (IF)	ÍNDICE DE SEVERIDAD (IS)	ÍNDICE DE ACCIDENTES (IA)
2014	103,075	4,236	1,286	32	324,744	472	2.79	687	1.9
2015	81,928	3,638	1,016	28	273,693	470	2.22	582	1.3
2016	67,723	12,637	987	32	264,735	412	2.47	642	1.6
2017	59,424	3,976	1,079	40	335,107	436	2.57	768	2.0
2018	54,459	3,203	1,196	27	240,259	473	2.59	508	1.3
2019	45,512	3,209	1,161	34	313,450	485	2.46	646	1.6
2020	22,581	2,440	785	18	137,378	360	2.23	381	0.9
2021	26,358	3,370	1,194	50	341,400	502	2.48	681	1.7
2022	36,767	3,146	1,197	36	255,422	513	2.40	498	1.2
2023	24,820	2,466	1,076	50	344,037	517	2.18	665	1.4

Tabla 2. Datos 2014 – 2023: cantidad de víctimas mortales en minería

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2014	6	1	1	1	1	3	7	2	2	0	1	7	32
2015	5	2	7	2	0	2	1	2	2	3	3	0	29
2016	4	3	3	1	6	2	2	3	4	1	2	3	34
2017	5	5	3	2	5	2	3	4	1	8	0	2	40
2018	2	1	2	5	3	2	1	3	2	2	3	1	27
2019	4	2	1	4	4	3	3	3	3	1	6	6	40
2020	2	5	3	0	2	1	1	0	0	0	1	5	20
2021	1	1	1	0	1	28	2	19	2	2	5	1	63
2022	2	3	5	3	2	0	1	5	8	4	2	4	39
2023	2	1	1	1	27	3	1	6	3	3	1	2	51

Partir de la revisión estadística se puede identificar que en las operaciones mineras la inestabilidad del macizo rocoso representa uno de los problemas más importantes a nivel operativo.

Por su propia naturaleza el trabajo minero consiste en una alteración importante de los macizos rocosos en su natural estabilidad. por esta razón implementar un sistema de sostenimiento adecuado se hace necesario para garantizar las condiciones de seguridad para que las personas y los equipos puedan operar con naturalidad.

Debido a este escenario resulta determinante poder determinar las estrategias o tipos de soporte para las operaciones mineras en niveles subterráneos que puedan garantizar que las labores no colapsen y la consecuente paralización de las actividades y el impacto económico que éstas puedan generar.

Las operaciones Carahuacra están localizadas en el departamento de Junín y específicamente en el distrito de Yauli. en términos geográficos esta operación está ubicada en el flanco occidental de la cordillera de los Andes centrales del Perú.

En las operaciones mineras Carahuacra se emplea los métodos de explotación:

Sub Level Shopping (Bench and Fill). Este método Se basa en realizar subniveles que deberán ser hundidos por medio de la perforación de taladros largos.

Over Cut and Fill (Breasting). Este método se basa encontrar con un buzamiento menor a 50° además de implementar áreas con intermitencia de mineral y desmonte, Para esta aplicación se requiere una Selectividad mayor.

El problema que se presenta en Mina Carahuacra sobre el sostenimiento es que muchas veces se tiene un inadecuado sostenimiento debido a muchos factores como:

Falta de un estudio geomecánico detallado en algunas zonas y poder caracterizar al macizo rocoso.

Se observa la inexperiencia del personal en labores de sostenimiento esto debido a que son cambiados de labor constantemente

Por otro lado, el desinterés de la empresa por investigar el sostenimiento optimo que debe colocarse en una labor.

Estos aspectos hacen necesario realizar la presente investigación que conlleva en determinar un adecuado sostenimiento en relación con la geomecánica del yacimiento de la mina Carahuacra, con la finalidad de determinar estándares de sostenimiento óptimos, que puedan ofrecer niveles de seguridad y eficiencia mayor.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La tesis se realizará en la Unidad Minera Carahuacra - Volcán Compañía Minera S.A.A. ubicada en el distrito de Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín; a una altitud de 4,700 msnm.

1.2.2. Delimitación temporal

Se estima que esta propuesta se puede desarrollar a lo largo de un semestre entre los meses de julio a diciembre del 2024

1.3. Formación del problema

1.3.1. Problema general

¿Al contar con estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento se podrá tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son Los parámetros Geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero que ayuden a determinar el comportamiento de la roca del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA?
- b. ¿Con los parámetros Geomecánicos del yacimiento minero podremos tener un adecuado sostenimiento, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Contar con un estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento que ayuden a tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar los parámetros Geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero que ayuden a determinar el comportamiento de la roca del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.
- b. Determinar los parámetros Geomecánicos del yacimiento minero que ayuden a tener un adecuado sostenimiento, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.

1.5. Justificación de la investigación

Para elaborar esta propuesta se pueden encontrar las siguientes justificaciones:

Justificación Teórica

Teóricamente se justifica la realización de la presente investigación Debido a que nos permite revisar diversas fuentes teóricas, así como exponer criterios específicos e inciden en el estudio de la geomecánica minera con el fin de encontrar un sistema de soporte para operaciones a nivel subterránea en un caso específico como el que se trata en esta ocasión.

Justificación Práctica

Justifica desde la parte práctica porque se dará una solución a dicho problema de sostenimiento en relación con la geomecánica en COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.

Justificación Económica

Se justifica económicamente de la investigación porque al tener un adecuado sostenimiento en base a la geomecánica se podrá reducir los accidentes los cuales podrán ocasionar gastos no programados o innecesarios.

1.6. Limitación de la investigación

En cuanto a limitaciones o inconvenientes vemos que no se avizora ninguno porque se tiene el apoyo de la Empresa

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes nacionales

Primer antecedente:

La tesis de (CONDOR, 2016) titulado “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MINADO SUBTERRÁNEO PARA MEJORAR LOS ESTÁNDARES DE SOSTENIMIENTO DE LA MINA SAN CRISTÓBAL - 2016”, tiene como objetivo: ver la influencia de la geomecanica en la mejora del sostenimiento en la mina San Cristobal.

Como conclusion se tiene:

El estudio geomecanico indican que el tipo de rocas existentes en la mina son, roca de tipo I, tipo II, Tipo III, tipo IV.

La clasificacion de Bienawski la masa rocosa de de calidad variable tanto en la mineralizacion, caja piso, caja techo encontrandose desde mala hasta regular.

La zonificacion geomecanica de la veta Split 658 es variable, la zona mineralizada su calidad es RMR 21- 30 Y 31-40; la caja piso y techo la calidad de roca es RMR 21-30 Y 41-50.

La veta 658 su calidad es regular, en zona mineralizada la calidad es RMR 31-40 y en las cajas es de 41 – 50.

En la veta 722 la zona mineralizada y la caja piso la calidad es 31 -40, la caja techo la calidad es 41 – 50 .

En general las rocas de la Mina San Cristobal su resistencia compresiva uniaxial esta entre 25- 50 y 50 – 100 Mpa baja resistencia en la practica.

Segundo antecedente

La tesis de (QUISPE, 2023) titulado “Modelo geomecánico para garantizar la estabilidad del minado subterráneo del cuerpo Salvador, Mina Andaychagua, 2023”, Busca establecer Niveles adecuados de estabilidad para las labores mediante la influencia de la geomecánica en la mina Andaychagua.

Como conclusión se tiene:

La estabilidad de las labores se ve garantizado por el modelo geomecánico lo cual influye notablemente en mina Andaychagua.

La masa rocosa presenta propiedades que son significativas para determinar el tipo de sostenimiento

Las características geomecánicas de la roca influyen positivamente en la selección del sostenimiento en la mina Andaychagua

El tipo de sostenimiento influye significativamente para la estabilidad de la estructura rocosa.

Tercer antecedente

La tesis de (SULCA , 2022) titulado APLICACIÓN DE LA GEOMECAÁNICA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LABORES SUBTERRÁNEAS EN LA MINA SAN ANDRÉS - CIA. MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A., 2022. Su objetivo es determinar la influencia de la geomecánica en la ejecución de operaciones subterráneas en la Minera Retamas.

Como conclusión se tiene:

Primeramente, se logró determinar los tipos de métodos de explotación que son corte y relleno ascendente y cámaras y pilares con cuadros de madera.

Al aplicar la geomecánica se logró utilizar el tipo adecuado de sostenimiento reduciendo el uso de madera y se redujo los costos de sostenimiento.

Como sostenimiento se utilizó el shotcrete, pernos helicoidales, cimbras, gatas hidráulicas, puntales, cuadros de madera y relleno hidráulico.

Cuarto antecedente

La tesis de (ATENCIO , 2019) titulado Evaluación de la estabilidad Geomecánica del tajeo 2147 en la recuperación de mineral económico Unidad Arcata, tiene como objetivo: el de conocer la estabilidad geomecánica para la explotación del mineral del tajeo 2147 en mina Arcata.

Como conclusión se llegó a lo siguiente:

El estudio geomecánico del tajo 2147 influye en la explotación del mineral.

El método grafico de análisis de estabilidad indica que las labores sin sostenimiento se hallan en la zona estable e inestable.

Por el método de explotación empleado corte y relleno ascendente y el uso del sostenimiento la estabilidad de la labor se ve incrementada ubicándose en una zona estable.

Al aplicar el software Phases 2 la corona de las excavaciones tiene valores de seguridad debajo del equilibrio menores a 1, y al emplear sostenimiento estos valores aumentan por encima de la estabilidad.

También diremos que se incrementó la producción en 180,000.00 tn. Como reserva programada.

Quinto antecedente

La tesis de (BUJAICO, GONZALES, 2021) titulado Categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento, como objetivo plantea: empleando la cartilla de Q de Barton de debe determinar la categoría geomecánica de las labores de avance y determinar el sostenimiento del nivel 2995 de mina Poderosa.

Como conclusión se tiene:

El índice de Q de Barton indica una calidad de roca del 90% considerándose buena, se observa 3 juntas de familia, presentan rugosidad irregular, alteración con partículas de arena, roca desintegrada sin arcilla, presencia alta de agua a presión, estos valores indica un tipo de roca muy malo, debiéndose usar sostenimiento con shotcrete, fibras, y bulones.

Se observa bloques de roca de tamaño mediano y grandes; la resistencia al corte es de baja resistencia lo que provoca su desplazamiento, el estado tensional de la roca es de zona débil con contenido de arcilla, roca desintegrada con presencia de agua.

Sexto antecedente

La tesis de (CAMACHO, 2017) titulado Aplicación de la clasificación geomecánica para mejorar el rendimiento de la voladura en la Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C. tiene como objetivo: al aplicar la clasificación geomecánica a las labores debemos mejorar el rendimiento de la voladura.

Como conclusión se tiene:

Se consiguió mejorar el rendimiento de los avances a 4.10 m/disparo, al usar la clasificación geomecánica.

Se obtuvo las siguientes clasificaciones geomecánicas del by pass 823,
RQD = 52.49, RMR = 54, GSI = 49

Al usar el RMR, RQD, GSI, en la ecuación de Ashby (CE) se determinó la constante de roca y establecer el estándar de consumo de explosivos adecuado.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Concepto de geomecánica

Se trata de una parte de la física estudia el comportamiento de las masas rocosas a nivel mecánico, de esta manera se puede investigar el comportamiento de los macizos rocosos por medio de las propiedades mecánicas que se identifiquen en ellos o en algún tipo específico de roca dependiendo del entorno físico y en el campo de fuerzas al que se encuentra sometido.

Objetivos de la geomecánica minera

- A nivel estructural no en las operaciones mineras busca garantizar las condiciones de estabilidad.
- Ofrecer un diseño que pueda garantizar una vida operativa de las aberturas de servicio en las operaciones mineras.
- ofrecer condiciones de seguridad para los accesos a los espacios de trabajo, así como para el entorno alrededor de las operaciones mineras.
- Asegurar que los recursos minerales depositados en las reservas se preserven en condiciones óptimas.

Para llegar a alcanzar estos objetivos es necesario estudiar las condiciones específicas a nivel geomecánica del yacimiento y compararlas con comportamiento mecánico de las distintas estrategias de minado que pueden ser aplicadas al yacimiento.

Programa geomecánico en minas subterráneas

- Establecer una programación constante de evaluaciones geomecánicas básicas utilizando mapeos geomecanicos que puedan ofrecer un perfil del macizo rocoso, para poder zonificar la operacion minera.

- Evaluar la estrategia y el esquema del minado empleado cálculos precisos obtenidos por medio de la caracterización a partir de datos que puedan ser empleados en aplicaciones geomecánicas en la explotación del yacimiento.
- Realizar una observación detallada y las mediciones necesarias del yacimiento para adaptar tipo de minado a las características específicas de la respuesta de cuerpo de rocas.
- Recabar en el sitio de las operaciones información acerca de comportamiento del cuerpo de rocas y los tipos de respuesta del método de minado con el fin de retroalimentar el sistema,
- Determinar el método para el control de calidad que permitan establecer parámetros técnicos a nivel geomecánico.
- Entrenamiento y capacitación continua a todo el personal operativo.

2.2.2. Clasificación geomecánica de macizos rocosos

Estos sistemas de clasificación evalúan parámetros clave de los macizos rocosos y asignan valores numéricos a los rangos en los que se encuentran estos parámetros para un tipo de roca dado (Hudson & Harrison, 1997).

En la Tabla 3, se presentan las principales clasificaciones de macizos rocosos, donde se destacan las clasificaciones del Rock Mass Rating, RMR por sus siglas en inglés (Bienawski, 1989) y el índice Q de Barton (1974).

Tabla 3. Principales Clasificaciones de Macizos Rocosos

NOMBRE	CREADOR Y FECHA	PAÍS DE ORIGEN	APLICACIONES
1. Carga en rocas	Terzaghi, 1946	Estados Unidos	Túneles con sostenimiento
2. Tiempo de autoestabilidad	Lauffer, 1958	Austria	Túneles
3. Nuevo método austriaco de construcción de túneles (NATM)	Pacher. Rabcewicz, 1964	Austria	Túneles
4. Rock Quality Designation (RQD)	Deere et al. 1967	Estados Unidos	Testigos de sondeos. túneles
5. Rock Structure Rating (RSR) concepto	Wickham et al., 1972	Estados Unidos	Túneles
6. Rock Mass Rating (RMR) sistema	Bieniawski. 1973 Modificado en 1989	Sudáfrica y Estados Unidos — 1	Túneles, minas, taludes y cimentaciones
Extensiones al sistema RMR	Laubscher, 1976	Sudáfrica	Minería en rocas duras
	Olivier, 1979	Sudáfrica	Resistencia a la meteorización
	Ghose y Raju, 1981	India	Minería del carbón
	Moreno Tallon, 1982	España	Túneles
	Kendorsk: y Cummangs, 1983	Estados Unidos	Minería en rocas duras
	Nakao et al 1983	Japón	Túneles

NOMBRE	CREADOR Y FECHA	PAÍS DE ORIGEN	APLICACIONES
Extensiones al sistema RMR	Serafim y Pereira, 1983	Brasil	Cimentaciones
	González de Vallejo. 1983	España	Túneles
	Unal, 1983	Estados Unidos	Minería del carbón con claves
	Romana, 1985	España	Estabilidad de taludes
	Newman, 1985	Estados Unidos	Minas de carbón
	Sandbak 1985	Estados Unidos	Perforabilidad
	Smuth, 1956	Estados Unidos	Facilidad para el dragado
	Venkateswarlu, 1986	India	Minería del carbón (CMRS)
	Robertson, 1988	Canadá	Estabilidad de taludes
	Thiel, 1985	Polonia	Flysch de los Cárpatos
	Unal, 1996	Turquía	Rocas blandas, carbón
7. Sistema Q	Barton et al 1974		Túneles, cavernas
Extensiones al sistema Q	Kirsten, 1982	Sudáfrica	Excavabilidad
	Kirsten, 1983	Sudáfrica	Túneles
	Barton, 2000	Noruega, Brasil	Túneles con TBM
8. Resistencia-tamaño	Franklin, 1975	Canadá	Túneles
9. Coal Mine Roof Rating (CMRR)	Molinda y Mark. 1994	Estados Unidos	Minas de Carbón
10. Geological Strength Index (GSI)	Hoek et al 1995 -	Canadá	Caracterización de macizos rocosos
11. Rock Mass index (RM)	Palmstrom 1995	Noruega	Ingeniería de rocas
12. Deutsche Steinkohle	Wirthaus, 2006	Alemania	Minas de carbón

2.2.3. Índice de calidad de la roca (RQD)

Según la “International Society for Rock Mechanics” (ISRM) se debe conservar los núcleos con una perforadora de diamante con doble barril y 54.7 mm de diámetro como mínimo para poder determinar el RQD.

La figura 49 muestra la forma adecuada de medir el RQD. Hay que recalcar que solo las piezas intactas de los núcleos cuya longitud supere los 100 mm serán incluidas en porcentaje del RQD, a los que se debe sumar y dividir longitud total del muestreo que se lleve a cabo.

$$RQD(\%) = \frac{\sum \text{Longitud de fragmentos} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud total perforada}} * 100$$

Figura 1. Representación esquemática del cálculo del RQD.

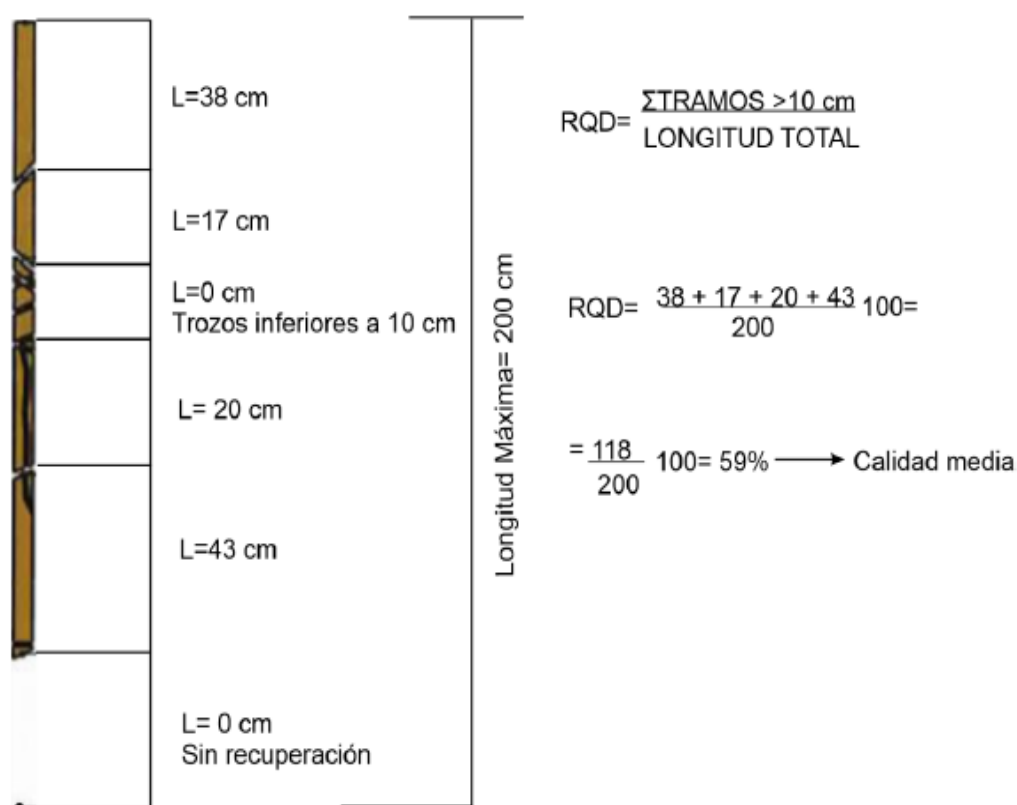


Tabla 4. Índice de calidad de la roca (RQD)

RQD (%)	Calidad de la roca
<25	Muy Pobre
25 – 50	Pobre
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: Modificado de (Deere, 1968)

2.2.4. Clasificación de Bieniawski (RMR)

Se trata de un método para determinar el valor del Macizo Rocos (RMR) que se conoce también como clasificación Geomecánica RMR, su nombre se deb a que fue propuesto entre los años 1972 y 1973 por Bieniawski.

Para poder aplicar este método se debe realizar una segmentación del macizo rocoso en dominios estructurales, las que servirán para representar las secciones del macizo que compartan el mismo perfil geológico, en términos de tipología y espaciamiento. En gran parte de los casos, estos valores deben coincidir con el perfil geológico predominate.

Tabla 5. Clasificación modificada de Bieniawski en subclases (Romana, 2000)

RMR	Modificado		Original (Bieniawski)	
	Clase	Denominación	Denominación	Clase
100	I a	Excelente	Muy buena	I
90	I b	Muy buena		
80	II a	Buena a muy buena	Buena	II
70	II b	Buena a media		
60	III a	Media a buena	Media	III
50	III b	Media a mala		
40	IV a	Mala a media	Mala	IV
30	IV b	Mala a muy mala		
20	V a	Muy mala	Muy mala	V
10	V b	Pésima		

Fuente: Modificado de Romana, 2000

Tabla 6. Hoja de recolección de datos para la clasificación geomecánica RMR

HOJA DE DATOS PARA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA (RMR)										
Nombre del proyecto:		Región Estructural		Abcisa (m)	Roca	Condición de las Discontinuidades				
Recolectado por:						Continuidad	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
Fecha:						Muy baja	< 1 m	—	—	—
						Baja	1-3 m	—	—	—
Resistencia a la compresión				Núcleos de Perforación RQD		Media	3-10 m	—	—	—
Carga de Compresión		Designación Uniaxial		(%)		Alta	10-20 m	—	—	—
(Mpa)	Punta (Mpa)					Muy alta	> 20 m	—	—	—
Muy alta	> 250	>		Excelente 90-100		Separación de la Discontinuidad				
250	—	—		Buena 75-90		Muy pegadas	< 0.1	—	—	—
Alta	100-250	4-		Regular 50-75		Pegadas	0.1-0.5	—	—	—
10	—	—		Pobre 25-50		Lig. Abierta	0.5-2.5	—	—	—
Mediana	50-100	0 -		Muy pobre < 25		Abierta	2.5-10	—	—	—
4	—	—				Muy abierta	> 10	—	—	—
Moderada	25-50	1-2				mm		—	—	—
Baja	5-25	—								
< 1	—	—								
Muy baja	1-5	—								
Rumbo y Buzamiento (°)										
Set 1	Rumbo	de		Buza.		Rugosidad de la Discontinuidad (Estado superficie: Irregular, ondulada, plana)				
Set 2	Rumbo	de		Buza.		Muy rugosa				
Set 3	Rumbo	de		Buza.		Rugosa				
Set 4	Rumbo	de		Buza.		Ligeramente rugosa				
Espaciado de las Discontinuidades										
		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Pulida				
Muy amplio	> 2 m	—	—	—	—	Muy pulida				
Amplio	0.6-2 m	—	—	—	—	Relleno				
Moderado	200-	—	—	—	—	Tipo				
Cerrado	60-200	—	—	—	—	Espesor				
Muy cerrado	< 60	—	—	—	—	Resistencia a compresión				
	mm	—	—	—	—	Filtración				
Filtraciones de Agua										
Flujo por cada 10 m de longitud del túnel	/min	Condiciones Generales (completamente seco, húmedo, goteo, flujo con baja presión, flujo con alta presión)				Estado de la pared de la Discontinuidad				
Presión de agua	kPa					Sana				
						Ligeramente meteorizada				
						Moderadamente meteorizada				
						Altamente meteorizada				
						Completamente meteorizada				
						Suelo residual				
Esfuerzos In-Situ										
Estructuras Mayores										
Abcisa										
Tipo										
Orientación										

Fuente: Introducción a la ingeniería de túneles, HERNAN GAVILANES J, 2004

Tabla 7. Clasificación geomecánica RMR

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN CON SUS VALORES								
Parámetros			Rango de Valores					
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (Ig)	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión uniaxial	
		Resistencia a la compresión uniaxial	>250 MPa R6	100 - 250 MPa R5	50 - 100 MPa R4	25 - 50 MPa R3	5 - 25 MPa R2	1 - 5 MPa R1 R0
	Puntaje		15	12	7	4	2	1
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
	Puntaje		20	17	13	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Puntaje		20	15	10	8	5	
4	Condición de las discontinuidades (ver E)		Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación, paredes de rocas sin alteración.	Superficies rugosas, con separación < 1 mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas.	Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1 mm. Paredes altamente meteorizadas.	Superficies pulidas o relleno < 5 mm de espesor o separación < 5 mm. Continuas.	Relleno blando > 5 mm de espesor. Separación > 5 mm. Continuas.	
	Puntaje		30	25	20	10	0	
5	Agua Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel (l/min).	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125	
		(Presión de agua en la diacl.)/(Tensión principal mayor al).	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5	
		Condiciones Generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo	
	Puntaje		15	10	7	4	0	
B. AJUSTE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES								
Orientaciones del rumbo y buzamiento			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	
Puntaje	Túneles y Minas		0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60	
C. TIPOS DE MACIZOS ROCOSOS DETERMINADOS A PARTIR DE LA VALUACIÓN TOTAL								
Puntaje			100 + 81	80 + 61	60 + 41	40 + 21	< 21	
Tipos de Roca			I	II	III	IV	V	
Descripción			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala	
D. SIGNIFICADO DE LOS TIPOS DE ROCA								
Tipo de Roca			I	II	III	IV	V	
Tiempo medio de sostén			20 años, claro de 15 m.	1 año, claro de 10 m.	1 semana, claro de 5 m.	10 horas, claro de 2,5 m.	30 min, claro de 1 m.	
Cohesión del macizo rocoso (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100	
Ángulo de fricción del macizo rocoso (°)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15	
E. GUÍAS PARA LA CLASIFICACIÓN SEGÚN LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES								
Longitud (Persistencia)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
Puntaje			6	4	2	1	0	
Separación (abertura)			Ninguna	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
Puntaje			6	5	4	1	0	
Rugosidad			Muy rugosa	Rugosa	ligeramente Rugosa	Lisa	Superficies pulidas	
Puntaje			6	5	3	1	0	
Relleno			Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm	
Puntaje			6	4	2	2	0	
Meteorización			Inalterada	Ligeramente meteorizada	Moderadamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta	
Puntaje			6	5	3	1	0	
F. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LOS TÚNELES								
Rumbo perpendicular al eje del túnel					Rumbo paralelo al eje del túnel			
Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°			Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°		Buzamiento 45 - 90°		Buzamiento 20 - 45°	
Muy favorable			Favorable		Muy favorable		Regular	
Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°			Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°		Buzamiento 0 - 20° independiente del rumbo			
Regular			Desfavorable		Regular			

Fuente: Bieniawski, 1989

Tabla 8. Guía de excavación y sostenimiento de túneles en roca en concordancia con el RMR

Clase del macizo rocoso	Excavación	Sostenimiento		
		Pernos (Ø 20 mm, adhesión total)	Hormigón lanzado	Marcos de acero
Roca muy buena I RMR: 81 – 100	Avances de 3m de sección completa	Generalmente no se necesita sostenimiento, excepto algunas arcillas para refuerzo local		
Roca buena II RMR: 61 – 80	Avances de 1.0 a 1.5 a sección completa. Sostenimiento total a 20 del frente	Pernos locales en el techo, 3 m de largo espaciado de 2.5 con malla ocasional	50mm en el techo	No
Roca regular III RMR: 41 – 60	Media sección banqueo, progresiones de 1.5 a 3.0m en la media sección, sostenimiento primario después de cala voladura sostenimiento completo a 10 m del frente.	Empernado sistemático de 4m de largo; espaciado de 1.5 a 2m en el techo y paredes con malla en el techo	50 – 100 mm en el techo 30 mm en las paredes	No
Roca mala IV RMR: 21 – 40	Media sección y banqueo, progresiones de 1.0 a 1.5m en la media sección. Hay que instalar los refuerzos conforme el avance, a 10m del frente.	Empernado sistemático de 4 a 5m de largo con espaciado de 1 a 1.5m en el techo y paredes con malla	100 150 mm en el techo y 100 mm en las paredes.	Marcos ligeros a medianos separados 1.5 m donde haga falta.
Roca muy mala V RMR: <20	Etapas múltiples. A veces de 0.5 a 1.5 m en la media sección. Instalación del sostenimiento a medida que se excava. Hormigón lanzado con la mayor brevedad después de las voladuras	Empernado sistemático de 5 a 6 m de largo, espaciado 1 – 1.5m en la clave y paredes con malla. Instalación de pernos en el piso o contra bóveda	150 a 200 mm en el techo. 100 mm en las paredes y 50 mm en el frente	Marcos medianos a pesados espaciados a 0.75 m con tabla estacado donde se necesite.

Fuente: Bieniawski, 1989

2.2.5. Índice Q

Este método de clasificación es de origen Noruego se desarrollo por Barton, Lien y Lunde, para determianar el valor de macizos rocosos.

Definición del sistema.

Permite clasificar los macizos con un analisis que se basa en 6 criterios, los que se mencionan a continuación:

- RQD: Índice de calidad de la roca.
- Jn: número de discontinuidad por familias

- Jr: El valor de rugosidad de las discontinuidades se basa en la dimension de las discontinuidades y la presencia de relleno
- Ja: Meteorización de las discontinuidades
- Jw: factor de reducción dependiente de presencia de agua
- SRF: “Stress Reduction Factor”, Factor de reducción dependiente de las tensiones.

Los seis factores mencionados se agrupan en tres cocientes para poder establecer conjuntamente la calidad del macizo rocoso Q de la siguiente manera:

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

De acuerdo con la escala logarítmica, entre los rangos 0.001 - 1000 puede ubicarse la calidad de la roca. La siguiente tabla muestra las categorías de macizos rocosos.

Tabla 9. Clasificación de la roca de acuerdo con el índice de calidad Q

TIPO DE ROCA	VALORES DE Q
Excepcionalmente mala	0.001 – 0.01
Extremadamente mala	0.01 – 0.1
Muy mala	0.1 – 1
Mala	1 – 4
Media	4 – 10
Buena	10 – 40
Muy buena	40 – 100
Extremadamente buena	100 – 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000

Fuente: introducción a la ingeniería de túneles, 2004

De acuerdo con el Sistema Q se asigna un puntaje para cada parámetro, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. Clasificación y valoración de los parámetros individuales del índice Q (Barton y Grimstad, 1994)

Descripción	Valor	Notas
1. Índice de Calidad de la Roca	RQD (%)	1. Donde RQD se reporta o es medido como ≤ 10 (incluyendo 0), se le otorga un valor nominal de 10 aplicable a Q. 2. Intervalos de 5 para RQD o sea 100, 95, 90, etc., son muy precisos.
A. Muy mala	0 - 25	
B. Mala	25 - 50	
C. Regular	50 - 75	
D. Buena	75 - 90	
E. Excelente	90 - 100	
2. Número de familias de diaclasas	Jn	

Descripción	Valor	Notas
A. Masivo, sin o con pocas diaclasas.	0,5 - 1,0	1. Para cruces en túneles utilizar $3 \cdot J_n$. 2. Para portales usar $2 \cdot J_n$.
B. Una familia de diaclasas.	2	
C. Una familia de diaclasas + una aislada.	3	
D. Dos familias de diaclasas.	4	
E. Dos familias de diaclasas + una aislada.	6	
F. Tres familias de diaclasas.	9	
G. Tres familias de diaclasas + una aislada.	12	
H. Cuatro o más familias de diaclasas.	15	
I. Roca triturada, terregal.	20	
3. Número de rugosidad de las diaclasas	Jr	1. Se añade 1 si el espaciado medio del sistema de diaclasas es mayor de 3 m. 2. Jr = 0,5 se puede usar para diaclasas planas y que tengan alineaciones con la condición de que estas estén orientadas para resistencia mínima.
a) contacto en las paredes.		
b) contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm.		
A. Diaclasas sin continuidad.	4	
B. Rugosas o irregulares, onduladas.	3	
C. Ondulación suave.	2	
D. Reliz de falla o superficie de fricción ondulada.	1,5	
E. Rugosas o irregulares pero planas.	1,5	
F. Lisas y planas.	1,0	
G. Reliz de falla o superficie de fricción plana.	0,5	
c) Sin contacto de roca después de un cizalleo.		
H. Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.	1,0 (nominal)	
J. Zona arenosa, de grava o de roca triturada de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.	1,0 (nominal)	

Descripción	Valor		Notas
4. Número de alteración de las diaclasas	Ja	Ángulo de fricción	1. Los valores del ángulo de fricción, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si están presentes.
<i>a) Contacto en las paredes de la roca</i>			
A. Relleno soldado, duro, inablandable, relleno impermeable.	0,75		
B. Paredes inalteradas, solo con manchas de superficie.	1,0	25° - 35°	
C. Paredes ligeramente alteradas, con recubrimiento de minerales inablandables, partículas arenosas, roca triturada sin arcilla.	2,0	25° - 30°	
D. Recubrimientos limosos o areno arcillosos, pequeñas partículas de arcilla (inablandable).	3,0	20° - 25°	
E. Recubrimientos ablandables o con arcillas de baja fricción o sea caolinita o mica, clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas (recubrimientos sin continuidad de 1 - 2 mm de espesor o menos).	4,0	8° - 16°	
<i>b) contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm</i>			
F. Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla.	4,0	25° - 30°	
G. Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos < 5 mm de espesor).	6,0	16° - 24°	
H. Rellenos de minerales arcillosos de consolidación media o baja, ablandables (continuos < 5 mm de espesor).	8,0	8° - 16°	

Descripción	Valor		Notas
I. Rellenos de arcillas expansivas montmorillonita (continuas < 5 mm de espesor). El valor J_a depende del porcentaje de partículas expansivas y del acceso de agua.	8,0 - 12,0	6° - 12°	
c) Sin contacto de las paredes después del cizalleo.			
J. Zonas de capa o arcilla desintegrada o triturada (véase G, H y I para condiciones de arcilla).	6,0		
K. L	8,0	6° - 24°	
M. Zonas de capa o arcilla limosa o arenosa, pequeñas fracciones de arcilla inablandable.	8,0 - 12,0		
N. Zonas o capas gruesas de arcilla (véase G, H, I para las condiciones de arcilla).	5,0		
O. P.	10,0 - 13,0	6° - 24°	
	13,0 - 20,0		
5. Factor de reducción por agua en las diaclasas	J_w	Presión Kg/cm ²	
A. Excavación seca o poca infiltración, o sea < 5 lit/min localmente.	1,0	< 1,0	1. Los factores C a F son estimaciones aproximadas. Aumenta J_w si instalan drenes.
B. Infiltración o presión mediana con lavado ocasional de los rellenos.	0,66	1,0 - 2,5	
C. Gran infiltración o presión alta en roca competente con diaclasas sin relleno.	0,50	2,5 - 10,0	
D. Gran infiltración o presión alta, lavado de los rellenos.	0,33	2,5 - 10,0	2. Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se consideran
E. Infiltración o presión excepcionalmente alta con las voladuras, disminuyendo con el tiempo.	0,2 - 0,1	> 10	
F. Infiltración o presión excepcionalmente alta en todo momento.	0,1 - 0,05	> 10	

Descripción		Valor		Notas	
6.	Factor de reducción de tensiones.	SRF			
a)	<i>Zonas de debilidad que interceptan la excavación y que pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construye un túnel.</i>				
A.	Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad).	10,0		1. Redúzcanse estos valores SRF de 25 a 50% si las zonas de fractura solo influyen, pero no cruzan la excavación. 2. Para un campo virgen de tensiones fuertemente anisotrópicas (si se mide: cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, redúzcanse σ_c a $0,8\sigma_c$ y σ_t a $0,8\sigma_t$. Cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, redúzcanse σ_c a $0,6\sigma_c$ y σ_t a $0,6\sigma_t$, donde σ_c = resistencia a la compresión uniaxial, σ_t = tensión de tracción (carga puntual) y σ_1 , σ_3 son las tensiones principales mayores y menores.	
B.	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación < 50 m).	5,0			
C.	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación > 50 m).	2,5			
D.	Múltiples zonas de fractura en roca competente sin arcilla, roca circundante suelta, cualquier profundidad	7,5			
E.	Zonas de fracturas aisladas en roca competente sin arcilla, profundidad de excavación < 50 m.	5,0			
F.	Zonas de fracturas aisladas en roca competente sin arcilla, profundidad de excavación > 50 m.	2,5			
G.	Diaclasas abiertas sueltas, diaclasado intenso, cualquier profundidad.	5,0			
b)	<i>Rocas competentes, problemas de tensiones.</i>	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF	3. Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2,5 a 5 para estos casos (vea H)
H.	Tensiones bajas, cerca de la superficie.	> 200	> 13	2,5	

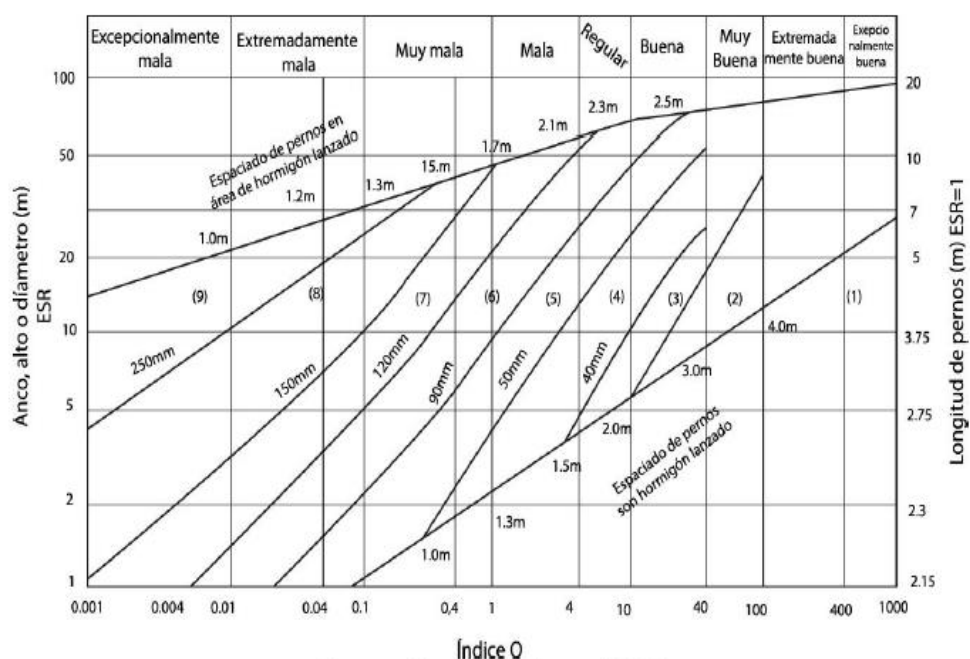
Descripción		Valor		Notas	
J.	Tensiones de nivel medio.	200 - 10	13 - 0,66	1,0	
K.	Elevado nivel de tensiones, estructura muy cerrada generalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de las paredes.	10 - 5	0,66 - 0,33	0,5 - 2	
L.	Planchoneo moderado después de una hora en roca masiva.	5 - 3	0,5 - 0,65	5 - 50	
M.	Planchoneo y explosión de roca en pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0,65 - 1	50 - 200	
N.	Intensa explosión de roca e inmediata deformación dinámica en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400	
c)	<i>Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente, bajo la influencia de presiones altas de la roca</i>				
O.	Presiones compresivas moderadas.			5 - 10	
P.	Presiones compresivas altas			10 - 20	
d)	<i>Roca expansiva, acción química expansiva dependiendo de la presencia de agua.</i>				
Q.	Presiones expansivas moderadas			5 - 10	
R.	Presiones expansivas altas.			10 - 20	

Fuente: Barton y Grimstad, 1994

Recomendaciones de sostenimiento.

De acuerdo con el esquema inicial propuesto por Barton se podían establecer hasta 38 variantes para el sostenimiento. Esa guía de sostenimiento fue actualizada en 1993 con la propuesta de Grimstad y Barton que introdujeron modificaciones a al planteamiento inicial. (ver Figura 2 y Tabla 11).

Figura 2. Estimación de las categorías de sostenimiento, basadas en el índice *Q* de calidad



Fuente: Barton y Grimstad, 1994

Tabla 11. Tipos de sostenimiento para el índice *Q*.

Nº	Sostenimiento
1	Sin Sostenimiento
2	Pernos Localizados
3	Anclaje sistemático
4	Anclaje sistemático con 40 a 100mm de hormigón lanzado no reforzado.
5	Hormigón lanzado con fibra reforzada, 50 a 90 mm y anclaje.
6	Hormigón lanzado con fibra reforzada, 90 a 120 mm y anclaje.
7	Hormigón lanzado con fibra reforzada, 120 a 150 mm y anclaje.
8	Hormigón lanzado con fibra reforzada, >150mm, con arcos reforzados en hormigón lanzado y anclaje.
9	Hormigón armado

Fuente: Barton y Grimstad, 1994

2.2.6. Índice de Resistencia Geológica, GSI

Este índice permite definir la resistencia y deformabilidad de los cuerpos rocosos, según lo propuesto por Hoek et al. (2005). En ese sentido no funciona para seleccionar el tipo de sostenimiento.

Por sus características su aplicación es ideal para modelizaciones geomecánicas del terreno, de manera que utilizando este método se puede comprobar las deformaciones tensionales del sostenimiento a nivel estructural.

Figura 3. Cuantificación de GSI condiciones de las discontinuidades y RQD

GSI INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA PARA ROCAS DIACLASADAS		Condiciones de la superficie de las diaclasas									
Los valores promedio de GSI son estimados de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades. No trate de ser tan preciso. Estimar un rango de 33 a 37, es una medida más real que establecer GSI=35. Observe que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde están presentes planos estructurales débiles con una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, éstos van a dominar el comportamiento de la masa de roca. La resistencia al cortante de la superficie en rocas que son susceptibles al deterioro por cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se está trabajando con rocas en las categorías regular a muy pobre, puede hacerse un desplazamiento hacia la derecha de la tabla para condiciones de humedad. El manejo de presiones de poros se realiza con un análisis de esfuerzos efectivos.		MUY BUENAS Superficies muy ásperas, frescas, sin meteorizar.	BUENAS Ásperas, ligeramente meteorizadas, con manchas de oxidación.								
		REGULARES Superficies suaves, moderadamente meteorizadas y alteradas.	POBRES Superficies cizalladas ("Stickensid") muy meteorizadas con cubierta compacta de relleno o fragmentos angulares.								
		MUY POBRES Superficies muy meteorizadas con cubierta o relleno de arcilla blanda cubriendo o llenando espacios.									
ESTRUCTURA		Disminución de la calidad de la superficie de las diaclasas →									
	INTACTA O MASIVA: Especímenes in situ de roca intacta o masiva con muy pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	Disminución del entrelace de los pedazcos de roca ↓	90	80	70	60	50	40	30	20	10
	FRACTURADA ("Blocky"): Masas de roca bien entrelazadas, inalteradas, constituidas por bloques cúbicos formados por tres conjuntos de diaclasas que se intersectan.										
	MUY FRACTURADA (Very blocky): Masa entrelazada, parcialmente alterada constituida por bloques angulares de múltiples caras, formados por 4 o mas conjuntos de diaclasas que se intersectan.										
	FRACTURADA/ALTERADA/CON-VETAS. Plegada con bloques angulares formados por muchos conjuntos de discontinuidades que se intersectan. Persistencia de los planos de estratificación o esquistosidad.										
	DESINTEGRADA: Masa de roca pobremente entrelazada, fuertemente partida, con una mezcla de pedazos de roca redondeados y angulares.										
	LAMINADA/CIZALLADA: Ausencia de bloques debido al espaciamiento cercano entre los planos débiles de esquistosidad o de cizallamiento.		N/A	N/A							

Fuente: Modificado de (Hoek et al., 2013)

2.2.7. Sostenimiento de labores mineras

Concepto de sostenimiento

En operaciones mineras se hace necesario implementar sistemas que restituyan el equilibrio del macizo rocoso cuando se realicen orificios o cavidades para las labores de excavación. Por esta razón el sostenimiento consiste en un sistema estructural que sostenga la fuerza del macizo en desequilibrio por la excavación.

En términos básicos, en operaciones subterráneas el método que pueda soportar el cuerpo de rocas asegurando su estabilidad por medio de la utilización de distintos materiales conservando la capacidad de resistencia de las cargas en el entorno de la excavación.

Clases de sostenimiento

DE APOYO PASIVO

En este tipo sostenimiento los elementos del sistema estructural se instalan y actúan de manera externa al cuerpo de rocas, pero su funcionamiento depende enteramente del comportamiento interno del macizo que se encuentra en contacto con el perímetro de la excavación.

Figura 4. Sostenimiento Pasivos malla, cimbras, cintas metálicas

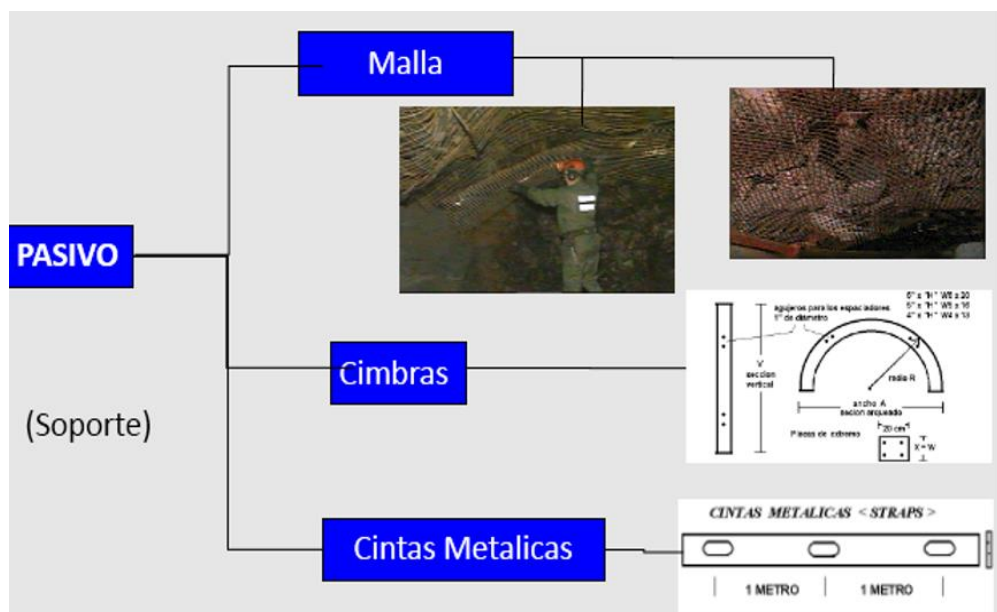
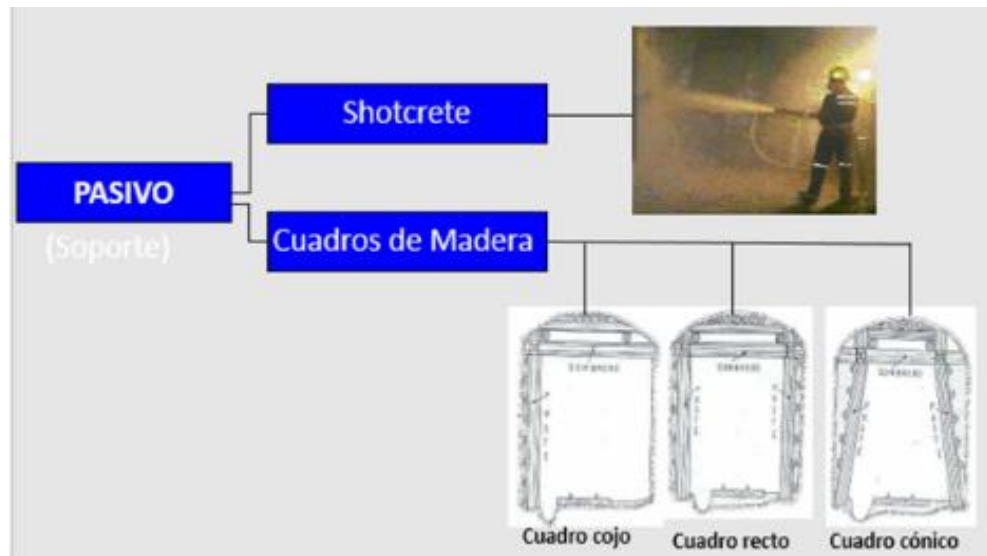


Figura 5. Sostenimiento Pasivos shotcrete, cuadros de madera



DE APOYO ACTIVO

En este tipo de sostenimiento los elementos del sistema estructural se instalan y actúan de manera interna al cuerpo de rocas, buscando que su funcionamiento se integre de manera determinante al cuerpo de rocas.

Figura 6. Sostenimiento activo variedad de pernos

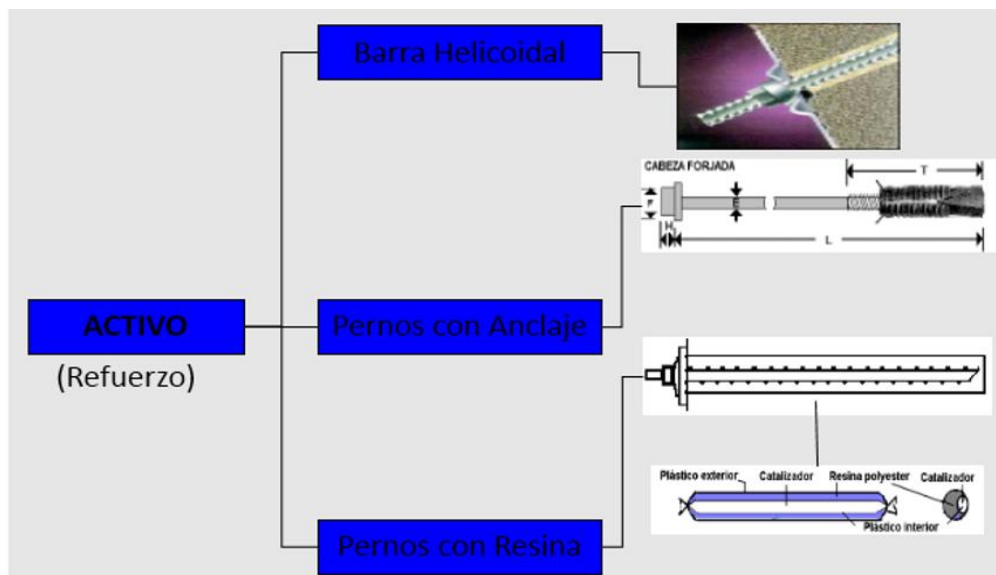
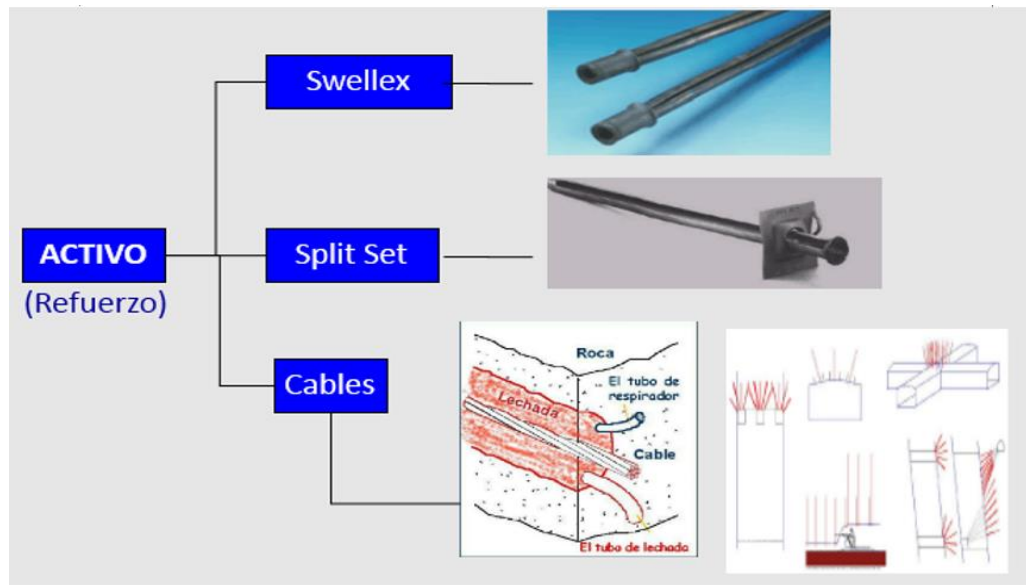


Figura 7. Pernos swellex, Split set, cables



2.3. Definición de términos conceptuales

Apertura

Este concepto indica el fenómeno que se produce cuando una discontinuidad presenta separaciones en la pared de roca. También se aplica al grado de abertura de esta separación.

Cuan el grado de la apertura es menor indica que el cuerpo de rocas presenta condiciones favorables, por el contrario, cuando el grado es mayor las condiciones no son favorables.

Clasificación geomecánica

Son los criterios usados para clasificar el cuerpo de rocas de acuerdo con criterios geomecánicos. Estos criterios determinan el tipo de sostenimiento que se debe instalar y por cuanto tiempo puede ser instalado.

Control de calidad de sostenimiento:

Es una evaluación del sistema de sostenimiento que permite realizar una verificación del diseño y la estrategia estructural del método utilizado. También permite verificar cada uno de los elementos del sistema en base a su rendimiento individual. (Osinegmin, 2017).

Dimensiones (persistencia)

Generalmente se deben tener en cuenta las dimensiones que presentan las discontinuidades en cuanto a su amplitud o magnitud. (RAMIREZ, ALEJANO, 2004).

Las dimensiones de una discontinuidad se determinan en base a la longitud que presenta en su dirección del rumbo y en su buzamiento. (RAMIREZ, ALEJANO, 2004)

Espaciado

Las discontinuidades adyacentes presentan entre si una distancia de distanciamiento. A partir de esta distancia se puede establecer la dimensión de los bloques de roca intacta. Las dimensiones de los bloques serán menores siempre y cuando el espaciado sea menor, por el contrario, si el espaciado es más grande los bloques serán también grandes.

Evaluación geomecánica:

Es el análisis que se debe realizar al macizo rocoso buscando determinar sus parámetros principales identificando sus propiedades y características, esta evaluación también incluye el análisis de las discontinuidades con el fin de obtener información que permita establecer el perfil geomecánico del cuerpo rocoso a trabajar. Partiendo de esta evaluación se puede realizar la estimación de la calidad del macizo rocoso. (González de Vallejo, 2002)

Excavación Subterránea

Se trata de la extracción de material del nivel subterráneo, como consecuencia de esta extracción se produce un natural desequilibrio en el medio rocoso por alteración del soporte natural en el cuerpo de la roca. Es necesario diagnosticar las condiciones de este desequilibrio para poder restituirlo por medio de una estructura de sostenimiento artificial.

Matriz rocosa

Es el cuerpo de roca que no presenta discontinuidades, en ese sentido se trata de bloques intactos de roca que se ubican entre las discontinuidades identificadas. Aunque esta matriz rocosa puede ser considerada como un cuerpo continuo se pueden identificar comportamientos heterogéneos y anisótrpos por razones de origen y de microestructura mineral (González de Vallejo, 2002).

Macizo rocoso:

Cuando el cuerpo de rocas abarca tanto la matriz y las discontinuidades se considera un macizo rocoso. Se trata de un conjunto heterogéneo, cuyo comportamiento es discontinuo y normalmente anisótropo. Su origen es natural por acción de la frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que marcan su comportamiento en términos geomecánicos e hidráulicos. (Ramírez, 2004)

Geomecánica:

Es el campo de estudio que se enfoca en las características de suelos y rocas en términos mecánicos sus materiales de estudio son los materiales geológicos, adicionalmente se aplica en el estudio del comportamiento del cuerpo de rocas, partiendo del análisis de las variaciones de los esfuerzos, presión, temperatura por acción de las cargas y otros elementos ambientales.

Orientación

Es la determinación en el espacio de las discontinuidades, los factores centrales para establecer la orientación de macizo es el rumbo y buzamiento. Al agruparse las discontinuidades se pueden identificar similares orientaciones, lo que se denomina orientaciones paralelas, lo que se puede considerar un sistema de discontinuidades, también se le conoce como “familia”.

Persistencia

Se trata del tamaño o la extensión que pueden cubrir las discontinuidades. Se puede determinar el nivel de estabilidad de la masa rocosa considerando las dimensiones de la persistencia, en tanto esta sea menor la masa rocosa será más estable y por el contrario será menos estable si la persistencia será mayor sea ésta.

Relleno

Es el material que se ubica al interior de la discontinuidad. La competencia de la masa rocosa se puede establecer a partir del grado de dureza del relleno asociando un mayor nivel de competencia a materiales duros y un menor nivel de competencia a materiales suaves.

RMR:

Es el sistema por el cual se categoriza un macizo rocoso de manera que se puedan vincular índices de calidad del material rocoso usando criterios de diseño y de sostenimiento de túneles.

Roca

Se denomina con este concepto al grupo de materiales diversos y en combinación conforman la base de la tierra.

Rugosidad

Las discontinuidades presentan un nivel de regularidad y la aspereza de la superficie de la discontinuidad, esta variación es denominada rugosidad. La competencia de una masa rocosa se podrá determinar a partir de los niveles de rugosidad cuanto mayor sea esta mayor será más competente y por el contrario si la rugosidad es menor la masa rocosa será más competente.

Sostenimiento:

Es el sistema de soporte y refuerzo a partir de distintos elementos cuyo objetivo es restituir el equilibrio en el entorno del macizo rocoso y de esta manera garantizar la estabilidad, el control y las condiciones de seguridad en el entorno

de una excavación. Un sistema de sostenimiento puede ser empleado de manera individual o como parte de otros. (Osinergim, 2017).

Formulación de la hipótesis

Hipótesis General

Al contar con un estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento podremos tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.

Hipótesis específicas

- a. Al determinar los parámetros Geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero podremos determinar el comportamiento de la roca del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.
- b. Determinando los parámetros Geomecánicos del yacimiento minero podremos tener un adecuado sostenimiento, EN COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.

Identificación de variables

Variables para la hipótesis general

Variable independiente

- Estudio geomecánico

Variable dependiente

- Adecuado sostenimiento

Variables para la hipótesis específicas

Variables para la hipótesis específica a

Variable independiente

- Parámetros Geomecánicos

Variable dependiente

- Comportamiento de la roca

Variables para la hipótesis específica b

Variable independiente

- Parámetros Geomecánicos

Variable dependiente

- Adecuado sostenimiento

2.4. Enfoque filosófico – Epistemológico

Al enmarcar la presente propuesta de tesis dentro de una aproximación de tipo científico desde distintos puntos de análisis es posible abordar una problemática específica del campo minero como lo es ANALISIS GEOMECANICO DEL UN YACIMIENTO. Aun así, los resultados que obtengamos de esta problemática nos podrán parecer distintos si realizamos su aplicación en otras circunstancias o desde otras especialidades.

Este contraste demuestra que nuestra actitud científica puede ser enfocada desde una perspectiva distinta de la cual inicialmente la planteamos. En esas circunstancias deberemos considerar un juicio o una evaluación distinta a nuestra manera de abordar el problema inicialmente.

Esta situación argumentativa nos muestra que la labor científica puede resultar compleja si se la emprende desde un punto de vista restringido. Es por ello que en la siguiente investigación debemos ocupar el lugar del investigador científico más cercano al área del desarrollo de nuestro tema, es decir al área minera y sus necesidades específicas.

En ese sentido para abordar la problemática específica que nos presenta la actividad minera tenemos de nuestro lado, como la herramienta más eficiente a nuestros fines académicos y empresariales, al quehacer científico, aunque siempre debemos ser conscientes de que existen distintos modos para aproximarnos a una problemática y cada uno de ellos pueden ser legítimos y mostrar resultados efectivos y satisfactorios para determinados requerimientos.

A partir de esta compleja estructuración de los saberes y los puntos de vista debemos ser conscientes de que el camino científico no es el único que

nos ayudará a entender los fenómenos del mundo, sin embargo, este camino nos puede ofrecer métodos para corroborar y validar nuestras evidencias y sobre todo pensar nuestro lugar dentro de la problemática específica.

Es por ello por lo que el método científico cobra importancia vital para este tipo de investigaciones debido a que nos permite ubicarnos por encima de nuestros juicios personales e incluso sociales y culturales para poder establecer conocimientos o principios argumentativos que puedan apoyar juicios ser aceptados por su carácter neutral y abstracto que además respondan directamente a las cuestiones que una problemática específica plantea.

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

La investigación será de tipo APLICADA porque vamos a realizar el estudio geomecánico del macizo rocoso para tener un sostenimiento adecuado. (BAENA , 2017).

3.2. Nivel de investigación

Este trabajo tendrá un nivel descriptivo, y analítico; porque vamos a describir y analizar las consideraciones geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento minero Carahuacra (BERNAL, 2010)

3.3. Característica de la investigación

Se usará el método científico para realizar este trabajo, apoyados en los métodos específicos analítico-deductivo; (HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, 2014)

3.4. Diseño de investigación

En este caso será no experimental debido a que no se realizará ninguna variación de las variables de la investigación solo nos avocaremos a observar y recoger datos de las operaciones mineras.

3.5. Procedimiento de muestreo

3.5.1. Población

La población está constituida por todo el macizo rocoso donde se halla el yacimiento minero Carahuacra de la Empresa VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. UNIDAD Carahuacra

3.5.2. Muestra

La muestra comprende los datos Geomecánicos de las labores mineras conformados por los tajeos, galerías, cruceros de VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. UNIDAD Carahuacra

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Observación directa
- Análisis de documentos

3.6.2. Instrumentos

Tenemos:

- Guía de observación
- Ficha de registro
- Documentos escritos
- Instrumentos como: Estación total, planos satelitales, martillo de Geólogo, martillo de Schmidt, flujo metro, brújula de mano, flexo metro, tablas GSI

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Contando con todos los datos obtenidos durante la observación, recojo de documentos se procederá al procesamiento de datos, para el análisis de la información y la elaboración del informe final, mediante los instrumentos Excel, Word, Dips, Rocscience

3.8. Orientación ética

La presente tesis tendrá en consideración los principios éticos que todo profesional debe mantener como anonimato de la información, veracidad, cumplimiento.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Trabajo de campo

Para alcanzar los objetivos definidos en este trabajo se deberán ejecutar trabajos de campo, en laboratorios y gabinete.

Primera etapa

Inicialmente esta investigación se orienta a ejecutar una evaluación preliminar, para ello se puede obtener los datos necesarios que permitan la evaluación de los criterios principales para controlar la estabilidad, y realizar la estimación de los parámetros Geomecánicos básicos.

Segunda etapa

En la etapa siguiente corresponde integrar la información recabada en la investigación inicial, con el objetivo de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones a nivel subterráneo, para al final elaborar las recomendaciones necesarias sobre la estrategia para un minado subterráneo.

4.1.2. Investigaciones básicas

Partiendo de un mapeo de las condiciones geomecánicas se realiza el registro de información producida en el cuerpo de rocas expuesto en las labores de las excavaciones a nivel subterráneo que se ubican en distintos niveles. En

tal sentido, se debe aprovechar la información que se produce en el Departamento de Geología de Mina Carahuacra.

4.1.3. Aspectos Litológicos

En términos litológicos básicos el cuerpo de rocas de esta mina muestra la presencia de material volcánico y filitas. Específicamente, la Veta 658 ubicada en el extremo Oeste se puede identificar material volcánico Mitu cuya presencia cubre un tercio del total. Por otro lado, se identifica material asociado a filitas Excelsior en las vetas Split 758 y 722. Además, se debe advertir que la zona filitas muestran una alteración silicificada en distintos sectores.

En cambio, en la veta 658 en su extremo Oeste aparece entre los cuerpos Mitu y Caliza Pucara un contacto de origen volcánico, en cuyo flanco sur se reconoce el Intrusivo San Cristóbal.

4.1.4. Distribución de Discontinuidades

Al tener identificadas las distintas vetas y determinados los niveles de la mina se puede establecer la zonificación geomecánica con el fin de mapear toda la información de carácter estructural, además de las discontinuidades para poder realizar una interpretación lo más exacta posible.

En ese sentido, se elaboró el informe DCR que logra reconstruir la totalidad de los sistemas de discontinuidades identificados en cada una de las vetas, como la 658 y la 722.

A continuación, en la tabla siguiente se presenta estos resultados:

Tabla 12. Principales sistemas de discontinuidades

DESCRIPCIÓN	SISTEMA 1	SISTEMA 2	SISTEMA 3	SISTEMA 4
Veta Split 658	N46°W/56°SW 244°/56°	N63°E/73°NW 333°/73°	N63°E/77°SE 153°/77°	N17°W/58°NE 073°/58°
Veta 658	N53°W/57°SW 217°/57°	N65°E/76°NW 335°/76°	N65°E/77°SE 155°/77°	N27°E/65°SE 117°/65°
Veta 722	N52°W/54°SW 218°/54°	N69°E/75°NW 339°/75°	N64°E/79°SE 154°/79°	
Composito General	N48°W/55°SW 222°/55°	N67°E/76°NW 337°/76°	N63°E/78°SE 153°/78°	

A partir de ello se puede concluir que se identifican claramente tres 3 sistemas distintos y definidos.

El sistema 1 muestra un rumbo NW, con un buzamiento moderado hacia SW. En relacion a las Vetas Split 658 y 658 el sistema 1 se encuentra en una posicon transversal, con una interseccion en orientacion diagonal con la Veta 722.

El sistema 2 muestra un rumbo NE con un buzamiento alto hacia el NW. En relacion a las Vetas Split 658 y 658 el sistema 2 se presenta paralelamente a su rumbo.

El sistema 3 muestra un rumbo NE con un buzamiento alto hacia el SE.

Adicionalmente, se puede reconocer una cuarto sostema en las Vetas Split 658 y 658 cuyos rumbos son NEE NNE y en ambos casos presenta un buzamiento moderado hacia el SE.

4.1.5. Aspectos Estructurales

En cuanto al perfil estructural de las discontinuidades se identifican las siguientes características:

a) fallas:

En términos generales los espaciamientos que presentan las distintas fallas pueden variar en sus dimensiones, pero en ningún caso son menor a tres metros, además su persistencia se estima que alcanza las decenas y

hasta centenas de metros. En cuanto a los materiales de relleno se emplean arcilla, panizo, pirita, material de brecha con óxidos, el espesor es variable pudiendo alcanzar los 50 centímetros. Por el lado de las aperturas, estas no superan los 5 mm. Las caras presentan algunos tramos superficies entre lisas y rugosas ligeramente y en otro con espejo de fallas.

Además, de reconocer que la mayoría de las fallas se encuentran asociadas a vetas de mineralización, también se debe señalar que estas sirven para la circulación o drenaje del agua al encontrarlas como su conducto natural.

b) diaclasas:

Estructuralmente estas formaciones presentan un perfil en el que se puede identificar en general espaciamientos que no supera los 20 cm y con 6 cm mínimamente. Aunque se identificaron segmentos con un espaciamiento entre 20 a 60 cm. Por su parte, se estima que la persistencia se extiende de 1 a 3 m y de 3 a 10 m presentando una apertura variable pero siempre por debajo de 1 mm. En cuanto a la superficie de sus paredes estas pueden ser lisas o ligeramente rugosas. Generalmente el material de relleno es suave con componentes de arcilla y óxidos, Los distintos sectores de las discontinuidades presentan variaciones en sus paredes con alteraciones moderadas y sectores sanos. Por último, la humedad es una presencia generalizada.

4.1.6. Geomecánica Mina Carahuacra

Direcciones preferenciales de avance de las excavaciones

Es posible determinar las direcciones que ofrecen una mayor preferencia para para los avances de las labores, entonces al alinear las excavaciones en estas direcciones se puede asegurar condiciones de estabilidad más adecuadas.

En ese sentido para asegurar una estabilidad en las condiciones más favorables posibles se debe determinar a nivel estructural el sistema principal de

discontinuidades, y partiendo de esta ubicación se debe establecer las labores de manera perpendicular. Por el contrario, si se opta por orientar el avance de forma paralela a la estructura principal de discontinuidades nos encontramos en términos de estabilidad con las condiciones más desfavorables.

En la Mina Carahuacra se puede evidenciar un modelo de Distribución de discontinuidades que muestra como sistemas principales a las vetas Mary y Fátima.

En ambos casos se puede identificar un mismo el arreglo estructural debido a que comparten la misma dirección de las discontinuidades principales NE-SW o viceversa. Lo que nos indica que preferentemente las excavaciones deberán tener una la dirección perpendicular a la orientación de estos sistemas.

Ahora bien, en base aún criterio operativo y técnico las labores de la mina presentan un avance cuya dirección muestra una orientación paralela a la estructura de mineralización y a sus vetas. Por esa razón se debe implementar una técnica de avance que pueda contrarrestar las condiciones operativas desfavorables para la estabilidad de las excavaciones.

Por otro lado, en el caso de esta mina para nuevos avances se recomienda establecer direcciones que ofrezcan mejores condiciones de estabilidad, utilizando para ello el sentido de las direcciones preferentes definidos por los principales sistemas estructurales identificados.

Características Geomecánica del macizo rocoso

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso en Carahuacra se utilizó el criterio de Bieniawski del año 1989 (RMR – Rock Mass Rating).

En general, la calidad del macizo rocoso en Carahuacra es variable, se estimó que la calidad de la roca para la roca encajonante y mineral para la veta Mary varía desde una roca de tipo mala (IVB) a una roca de tipo regular (IIIA). Mientras que en el manto Viejecita y la veta Diana, la calidad del macizo rocoso

para las rocas encajonantes y el mineral son de tipo mala (IVB). En la siguiente tabla, se presenta la valoración de RMR para cada dominio geomecánico, principalmente para la veta Mary que tiene una producción para el 2024 de 74,565 ton.

Tabla 13. Unidades geotécnicas

UNIDADES GEOTECNICAS (UGT)							
VETA	NIVEL	ID UGT	Descripción	IRS	RQD (%)	RMR(b)89	
						Promedio	Rango
LOURDES	970	BX. VOL	Brecha Volcánica	R2.5 - R3.5	85 - 100	63	55 - 70
		AND	Andesita	R2.5 - R3.5	85 - 100	76	55 - 70
DIANA	1020	CLZ	Calizas	R1.5 - R2.0	50 - 60	37	35 - 40
		AND	Andesita	R2.5 - R3.5	85 - 100	76	55 - 70
MANTO PRINCIPAL	1070	CLZ	Calizas	R1.5 - R2.0	20 - 35	35	30 - 40
		ZAF	Zona de Alto Fracturamiento	R0 - R1	10. - 15	26	22 - 30
		DOL	Dolomias	R1.0 - R1.5	20 - 30	25	20 - 30
SUSANA	1180	BX-VOL	Brecha Volcánica	R2.0	95 - 100	66	65 - 70
		FLT	Filita	R2.5 - R3.5	85 - 100	40	55 - 70
	1280	BX-VOL	Brecha Volcánica	R2.0	95 - 100	66	65 - 70
		ZAF	Zona de alto fracturamiento	R0 - R1	0 - 16	25	15 - 30
		FLT	Filita	R2.5 - R3.5	85 - 100	40	55 - 70
MARY	1360	BX-VOL	Brecha Volcánica	R3.5 - R4	95 - 100	70	65 - 75
	1420	DAC	Dacitas	R2.5 - R3.5	90 - 100	60	55 - 65
		QZ-MONZ	Cuarzo Monzonitas	R3.5 - R4	95 - 100	70	65 - 75

4.1.7. Aberturas máximas de las excavaciones y sostenimiento

Es recomendable establecer tres categorías que permitan evaluar las excavaciones, las cuales son:

- Excavaciones permanentes
- Excavaciones temporales
- Tajeos

Excavaciones permanentes

En esta categoría se encuentran comprendidas los trabajos operativos correspondientes a la infraestructura de la mina, como los trabajos para los accesos como túneles y rampas, adicionalmente también se pueden considerar parte de esta categoría los trabajos de profundización o de acceso, como las rampas de acceso, además de las cámaras destinadas a los distintos servicios.

Como se mencionó anteriormente, para mejorar las condiciones de estabilidad y poder contar con un sistema de sostenimiento más efectivo y adecuado se debe orientar estas labores de acuerdo con la orientación preferente marcada por los sistemas principales. Lo cual permitirá tener un avance más seguro y con una mayor velocidad.

Para este tipo de operaciones se hace necesario un sistema permanente de sostenimiento, con cualidades específicas referidas a una adecuada resistencia a la corrosión y que garantice una vida operativa de la mina con una flexibilidad capaz de resistir la variabilidad de las cargas como producto del cambio de los esfuerzos durante la vida operativa de la mina.

La evaluación de a nivel geomecánica del tipo y de la zona del yacimiento indica que las labores que requieran un sistema permanente de sostenimiento deben estar ubicadas en las cajas alejadas, preferentemente en la caja piso. En el caso particular de la mina Carahuacra, la caja piso de la Veta María Luisa es también la la caja techo de la veta Mary, en ambos casos se encuentran alejadas y la roca predominante presenta una calidad Regular A (IIIA) y calidad Regular B (IIIB) en una proporción menor.

La clasificación de este yacimiento estima que las dimensiones máximas de las aberturas, de acuerdo con los rangos de valores RMR que se ajustan a la orientación de los sistemas discontinuos.

Tabla 14. Aberturas máximas de excavaciones según RMR

Dominio	Rango RMR	Promedio RMR	Abertura máxima
DE-II	> 60	65	8.1
DE-IIIA	51 - 60	55	5.2
DE-IIIB	41 - 50	45	3.3

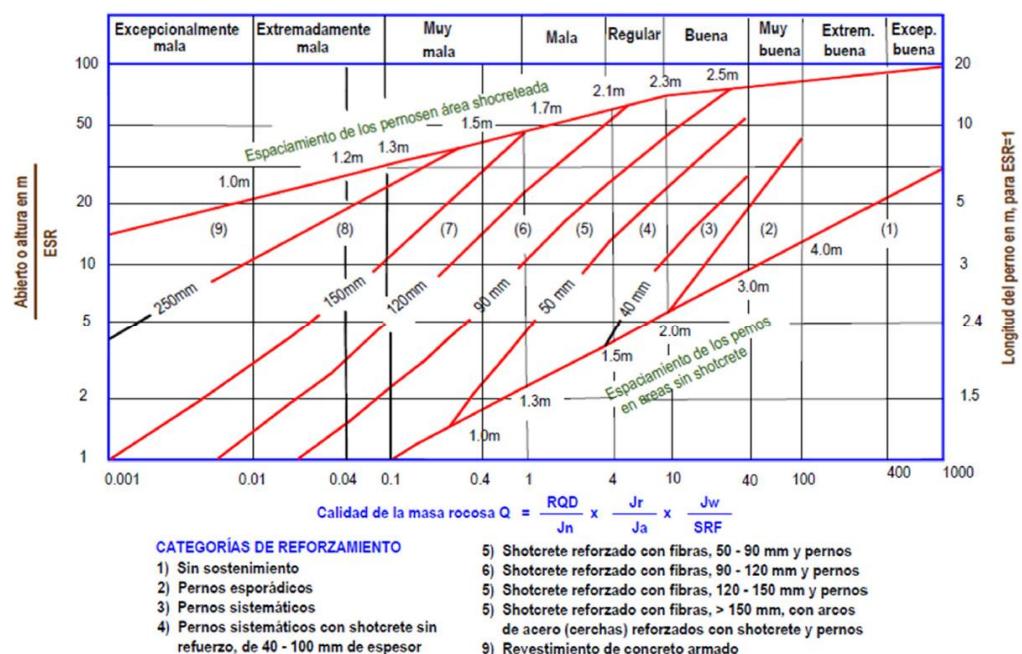
La tabla 14 nos muestran las máximas aberturas correspondientes a excavaciones que no tiene un sistema de sostenimiento, específicamente muestran el caso de una roca de DE-III A RMR 55. Por otro lado, un sistema de sostenimiento no permanente será necesario en aberturas inferiores a 5.2 m, siempre sujeto al contexto específico de operación, como lo muestra la figura Nro. 8 donde $Q = 3.39$ (RMR ≈ 55) y ESR = 1.6.

En el caso de un sistema esporádico de sostenimiento se debe utilizar mediante pernos de roca como varillas corrugadas o barras helicoidales con una longitud de 7 a 8 pies y asegurado con cemento o resina.

Cuando se impelente este sistema es necesario considerar la utilización de cuñas en el techo y paredes siguiendo los resultados de estabilidad estructuralmente controlada, que se muestran más adelante.

Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993)

Figura 8. Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993)



Ahora bien, se debe tener en cuenta que en las operaciones mineras peruanas lo esperable es que las labores tengan una abertura máxima de 4.5 m en lo que respecta a galerías de nivel y rampas. En este caso específico de estudio las operaciones en Mina Carahuacra se cumple este estándar. Por otro lado, se debe tener en cuenta que en algunas zonas específicas la calidad de las rocas puede variar el sistema de sostenimiento debe adaptarse a estas circunstancias para ello se propone las alternativas de modo permanente en la tabla Nro 15.

Tabla 15. *Sostenimiento para labores de avance permanentes*

DOMINIO	RANGO RMR	SOSTENIMIENTO
DE - IIIA	51 - 60	Pernos Helicoidales sistemáticos de 7 – 8 pies de longitud, espaciados cada 1.5m. Donde se requiera añadir una capa de 2" de espesor de Shotcrete.
DE - IIIB	41 - 50	Pernos Helicoidales sistemáticos de 7 – 8 pies de longitud, espaciados cada 1.5m + 2" a 3" de espesor de shotcrete reforzado.
DE - IVA	31 - 40	Pernos Helicoidales sistemáticos de 7 – 8 pies de longitud, espaciados cada 1.0m a 1.5m + 2" de shotcrete reforzado. Donde se requerirá utilizar malla metálica
DE - IVB	21 - 30	Pernos Swellex sistemáticos de 7 - 8 pies de longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + Shotcrete de 4" de espesor. Alternativamente uso de cable bolting , cimbras tipo 6W20 espaciada reforzado de 2" a 3" de espesor.
DE - V	< 21	Cimbras tipo 6W20 espaciadas cada 1.0m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 2" de espesor preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes.

Específicamente, para este tipo de roca se recomienda usar los pernos tipo varillas corrugadas o los de tipo barras helicoidales, con la condición de que se inyectadas por completo usando cemento o resina, el caso de presencia de agua. Para el caso de Shotcrete el factor de resistencia de sus niveles de compresión uniaxial deben ubicarse entre 25 a 30 MPa. Adicionalmente, se debe disponer necesariamente de una malla metálica instalada por medio de electrosoldadura.

Por otro lado, se debe volver a estimar un nuevo sistema de sostenimiento cuando la excavación sea inferior a 4.5 m de ancho, en estos se

recomienda usar la guía técnica de sostenimiento que se muestra en la ilustración N° 9.

En los casos presentados se valida el diagnostico elaborado para los sistemas de sostenimientos si las excavaciones no presentan cuñas en los techos y paredes. En ese sentido, la evaluación de estabilidad estructural debe ser completada considerando incluso estos detalles señalados.

En la siguiente figura se muestran las infraestructuras permanentes principales y los sistemas de sostenimiento recomendados en cada caso:

Figura 9. Sostenimiento para infraestructuras permanentes

ESTÁNDAR DE SISTEMAS DE FORTIFICACIÓN Y/O SOPORTE DE INFRAESTRUCTURAS PERMANENTES							
DOMINIO LITOLOGICO	CALIDAD DE MACIZO	Q DE BARTON		RMR		SISTEMA DE FORTIFICACIÓN Y/O SOPORTE DE INFRAESTRUCTURA	
		Min	Máx	Min	Máx	SSEE , COMEDORES, CAMARA Y POZAS DE BOMBEO, REFUGIOS MINEROS (6 m. x 5 m.)	TALLERES, POLVORINES, S. CAPACITACION (5 m. X 5 m.)
						SOPORTE PRIMARIO	TODAS LAS INFRAESTRUCTURAS PERMANENTES
- Volcánico - Dacita - Andesita - Granodiorita - Qz. Monzonita	IA	1.79	4.3	51	60	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.7 m. x 1.7 m. longitud de emperrado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 05 a 06 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.7 m. x 1.7 m. longitud de emperrado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 05 a 06 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)
- Metavolcánico - Filita Silisificada - Filita Areniscosa - Caliza Marmoleada - Areniscas - Hornfels	IIIB	0.71	1.69	41	50	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.5 m. x 1.5 m. longitud de emperrado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 06 a 09 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.7 m. x 1.7 m. longitud de emperrado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 05 a 06 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)
- Filita Bituminosa Seca - Caliza alterada Seca - Margas Grises - Margas Ferruginosas	IVA	0.17	0.53	31	40	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.2 m. x 1.2 m. longitud de emperrado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 09 a 12 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.2 m. x 1.2 m. longitud de emperrado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 09 a 12 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)
- Filita Bituminosa Saturada - Caliza alterada Saturada - Marga Grises Saturada	IVB	0.01	0.13	21	30	No es recomendable hacer una infraestructura permanente en esta calidad de roca	No es recomendable hacer una infraestructura permanente en esta calidad de roca

Excavaciones Temporales

Este tipo operaciones tienen por finalidad realizar avances en labores como galerías y acceso de cruceros en los tajeos, normalmente puede tratarse de zonas con presenciade material estéril o mineral. Por su naturaleza operativa se trata de labores temporales, por ejemplo, habilitaciones de ingresos para personal al interior de las operaciones subterráneas. Sus dimensiones deben

condicionar las medidas adecuadas que permitan periódicamente desataste necesarios o el refuerzo necesario. Normalmente, las aberturas de estas excavaciones tienen entre 3.8 - 4 m de dimensiones.

En la tabla N° 16 podemos observar las estimaciones para labores temporales con sostenimiento temporal. Los tajeos con 4 metros de ancho son usuales en la mina Carahuacra a los que también se puede aplicar el sistema temporal de sostenimiento, especialmente en los mantos Paula y Poderosa.

A partir del tipo de masas rocosas que puede ofrecer el yacimiento con determinadas estructuras de mineralización Se elaboró el cuadro que a continuación se muestra en el que se recoge en sistema de sostenimiento adecuado a cada caso.

Tabla 16. Sostenimiento para labores de avance temporal

Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
DE - IIIA	51 - 60	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico
DE - IIIB	41 - 50	Pernos Swellex sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.5m + una capa de shotcrete de 2" de espesor.
DE - IVA	31 - 40	Pernos Swellex sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m a 1.5m + 2" de shotcrete reforzado.
DE - IVB	21 - 30	Pernos Swellex sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + Shotcrete de 3" a 4" de espesor.
DE - V	< 21	Una capa preventiva de shotcrete de 2" de espesor + pernos + malla + otra capa de shotcrete de 2" de espesor. De ser necesario usar cuadros de madera, paquetes de madera, gatas, puntales y otros.

De acuerdo con las estimaciones el perno de tipo Swellex es En que debe ser aplicado en este caso específico. Por otro lado, la resistencia del shotcrete debe alcanzar entre 25 a 30 MPa, con una maya de metal aplicada con electrosoldadura. En cambio, se debe estimar un nuevo tipo de sostenimiento cuando las excavaciones sean mayores a 4 m.

Sostenimiento de bajo buzamiento

El soporte para estructuras de bajo buzamiento (buzamientos menores a 60°, presencia de voladizos, presencia de fallas paralelas al tajo en la caja techo,

zonas de contacto en la caja techo, presencia de agua, otras condiciones geomecánicas contemplará el uso de cables bolting:

Figura 10. Extensión del macizo rocoso a sostener

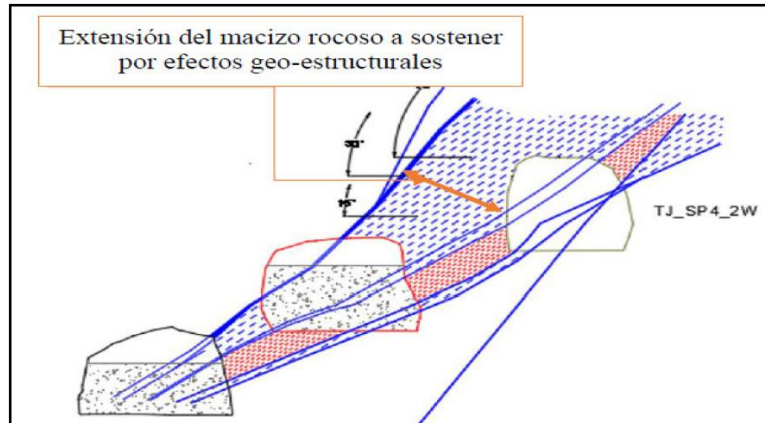


Figura 11. Sostenimiento de estructuras de buzamiento menores a 60°

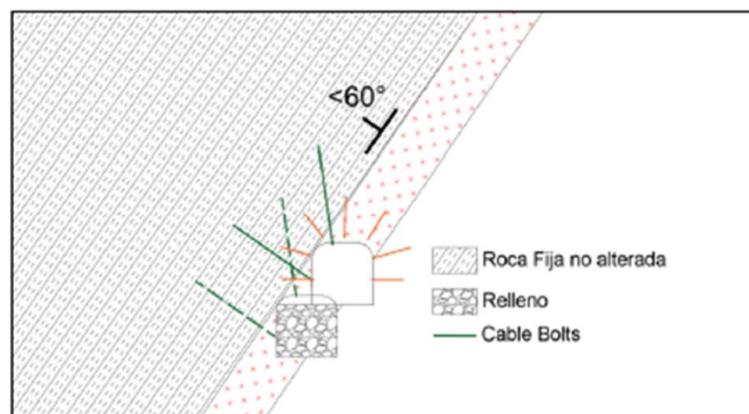


Figura 12. Sostenimiento de estructuras con voladizo

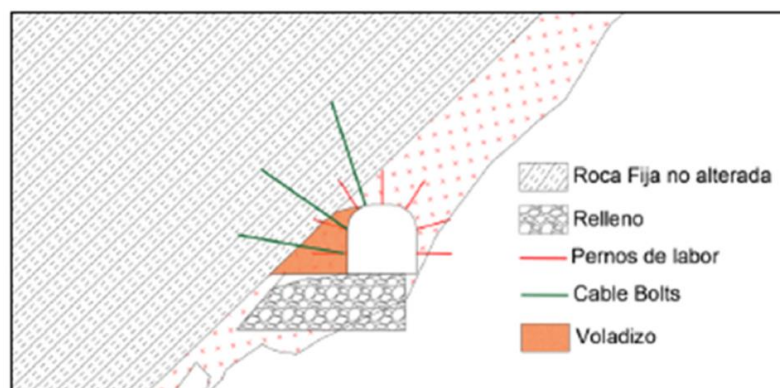
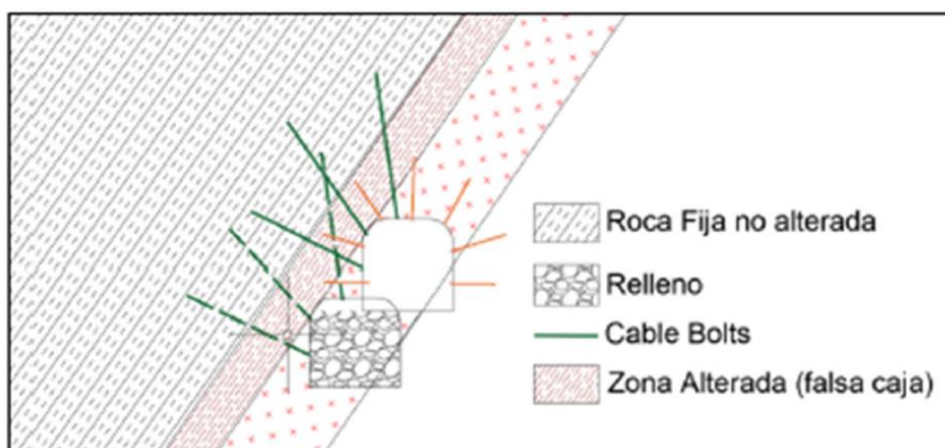


Figura 13. Sostenimiento de estructuras con zonas alteradas



Tajos

Se puede realizar las estimaciones para las aberturas máximas y el tiempo que puede durar un auto sostenimiento teniendo en cuenta los rangos de calidad RMR de la masa rocosa, antes de elaborar el dimensionamiento de los tajos.

En ese sentido encontramos que el dominio DE-IVA (Mala A) Puede ser identificado en el mineral que se encuentra en la Veta Mary. Por otro lado, sí identifica el dominio DE-IVB (Mala B) en el caso del Manto Viejecita el mineral. En ambos caos, a continuación, se muestran las dimensiones máximas par las aberturas y el tiempo de autosostenimiento que se estima.

Tabla 17. Aberturas máximas y tiempos de autosostenimiento para tajeos

Dominio	Rango RMR	Abertura máxima	Abertura máxima
DE-IIIA	51 - 60	6.5 - 12.0	Desde 20 días hasta 5 días
DE-IIIB	41 - 50	5.0 - 8.0	Desde 1 semana hasta 20 horas
DE-IVA	31 - 40	3.0 - 5.0	Desde 20 horas hasta 2 horas
DE-IVB	21 - 30	2.0 - 3.0	< 1 hora

La tabla anterior muestra la dimensión máxima para las aberturas en los tajeos de la estructura de mineralización de la Vetas Mary, Fátima y Jazmín. El tamaño de estás aberturas necesariamente condicionan la dimensión de los

tajeos. En ese sentido se debe aplicar para rocas del dominio DE-IVA un ancho de 3.0 y 5.0 m y para rocas del dominio DE-IVB un ancho 2.0 y 3.0 m. No adicionalmente sí estima el tiempo máximo que puede ser aprovechado el autosostenimiento, a partir de lo cual debe ser aplicado un sistema artificial inmediatamente.

Por otro lado, se debe emplear el Método Gráfico de Estabilidad (MGE) para poder determinar el tamaño de los tajeos de no ingreso del personal Como se muestra en las propuestas de Hoek, Kaiser y Bawden (1995) – Ref. 7. e inicialmente se desarrolló con Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992), de acuerdo con los trabajos iniciales de Mathews et. al. (1981).

Actualmente se emplea un método que recoge la experiencia de 350 casos históricos En operaciones subterráneas en minas de Canadá, En los que se recoge los principales criterios que puedan influir en el diseño de tajeos.

Para poder establecer la estabilidad de un tajeo que cuente o no con un sistema de sostenimiento se debe tener en cuenta un análisis estructural que considere la resistencia de la masa rocosa, los esfuerzos alrededor de la excavación, y su el tamaño, forma y orientación. Este método también se puede aplicar en el dimensionamiento del sostenimiento con cablebolt.

En resumen, Al aplicar este método de diseño se debe considerar el cálculo de N' y S como factores principales. En el caso de N' se trata del número de estabilidad modificado que muestra la capacidad para conservar la estabilidad en condiciones específicas con un determinado esfuerzo por parte del macizo rocoso. En el caso de S se trata del factor de forma o radio hidráulico considerando el tamaño y forma del tajeo.

N' se estima de la siguiente manera:

$$N' = Q' \times A_c \times B \times C$$

Dónde:

Q': Índice de Calidad Tunelera Q modificado

Ac: factor de esfuerzo en la roca

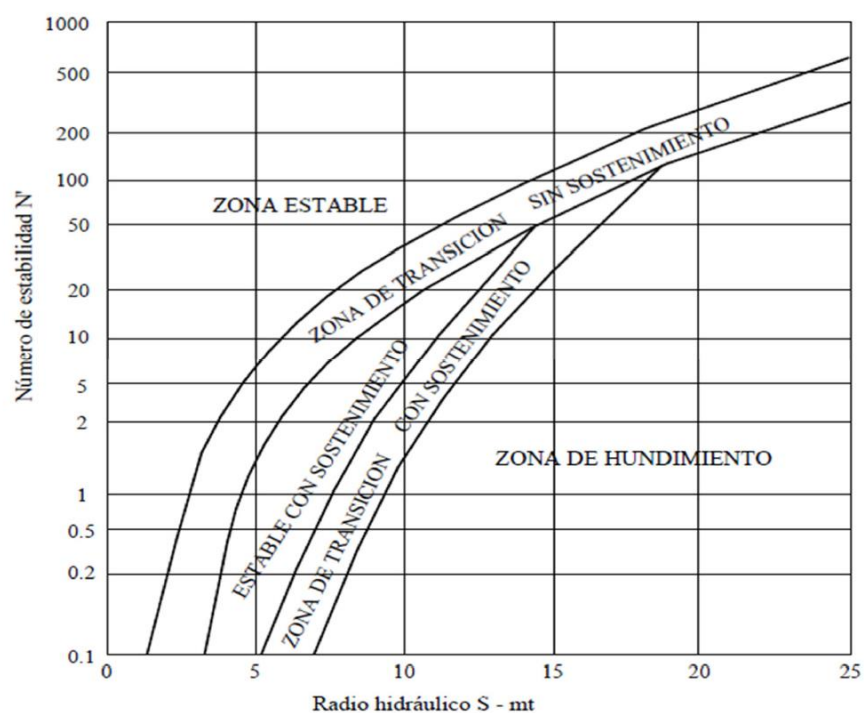
B: factor de ajuste por orientación de las juntas

C: factor de ajuste gravitacional

El factor de radio hidráulico S, que se aplica en superficies del tajeo considerados, se calcula al dividir el “área de la superficie analizada” con el “perímetro de la superficie analizada”.

Entonces los valores de N' y S Pueden ser usados para calcular la estabilidad de un tajeo mediante el “gráfico de estabilidad” que se muestra en la figura siguiente:

Figura 14. De estabilidad. Según Potvin (1988), modificado por Nickson 1992).



En estas estimaciones se ha empleado el software STOPESOFT que fue propuesto por Graeme Fitz (1999), adicionalmente se verificó el análisis en una hoja de cálculo. Los que fueron ejecutados considerando tajeos con anchos de de 4, 6, 8 y 12 m, y bancos de mineral con alturas de 8, 10, 12 y 15 Lo que podría resultar en tajeos de alturas de 16, 18, 20 y 23 m.

Por otro lado, Se evaluó distintas longitudes de tajeos utilizando una modelación por medio del Gráfico de Estabilidad Modificado Con el fin de evaluar cada uno de los diseños de acuerdo con cada sector específico como puede ser una estabilidad sin sostenimiento, o con sostenimiento opcional, o con sostenimiento obligatorio o en la región de “hundimiento”.

Tabla 18. Dimensiones máximas de tajeos – Longitud Veta Mary

Cond. Estab.	Ancho de tajeo =				Altura de tajeo =							
	4 m	6 m	8 m	12 m	16 m	18 m	20 m	23 m	16 m	18 m	20 m	23 m
	Calidad IVA				Calidad IIIB - Buzamiento: 64°				Calidad IVA - Buzamiento: 64°			
ESS	7	5	4	3	9	9	8	8	5	5	5	5
ESO	sr	50	30	12	27	23	21	19	18	16	14	13
ECS	sr	sr	sr	50	45	36	34	28	31	26	22	19

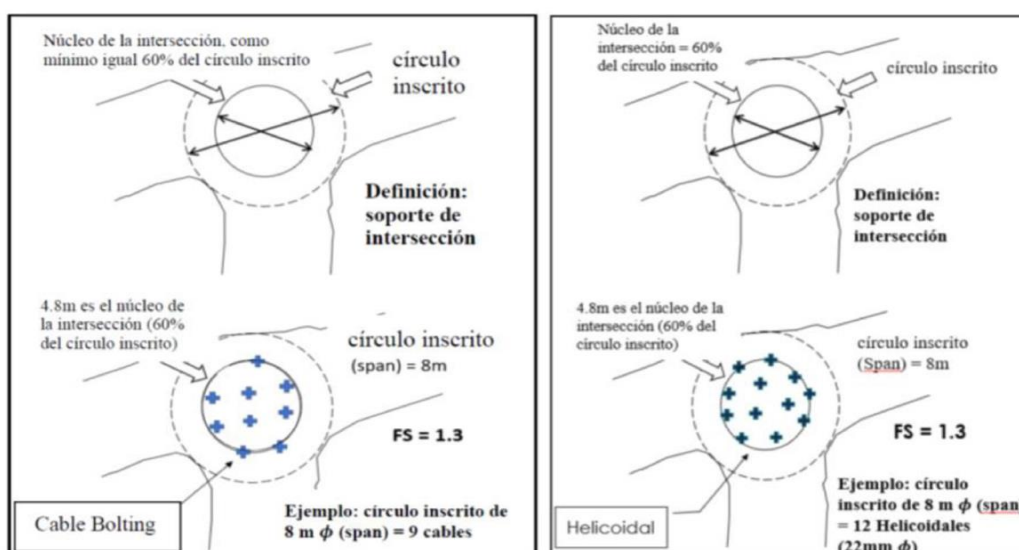
En la veta Mary podemos encontrar en buen ejemplo que nos permita interpretar el cuadro mostrado. En ese caso, la calidad de la masa rocosa es Regular B (IIIB) en la sección de cajas, también presenta un 58° en el buzamiento de la veta, con un tajeo de 20 metros de altura que permiten una longitud variable dependiendo de la estabilidad del sostenimiento en cada uno de los sectores, esta longitud puede ser de 8 m en sectores estables sin sostenimiento”, 20 m en sectores estables con sostenimiento opcional y 33 m en sectores estables con sostenimiento obligatorio.

El hecho que esta veta presente el menor buzamiento de toda la operación supone que las condiciones de estabilidad sean favorables. Lo que permite la posibilidad de determinar el tamaño promedio para los tajeos, teniendo en cuenta el grado de buzamiento y la calidad de la masa rocosa de la estructura mineralizada.

Sostenimiento en intersecciones

Los cables deben ser instalados uniformemente dentro de un círculo inscrito de diámetro igual al 60% del diámetro inicial del SPAN, el círculo inscrito representa el núcleo central de la intersección:

Figura 15. Sostenimiento de intersecciones



Con el fin de establecer pautas para la instalación de sostenimiento en macizos rocosos, la longitud y la capacidad de los elementos de sostenimiento de la roca, se presenta el diseño de acuerdo con el SPAN, el cual se resume en la tabla

Tabla 19. Límites de la longitud del perno de soporte secundario

Span (m)	Long. Mínima de Perno (soporte primario del techo)	Long. Mínima del Perno de soporte secundario	# Pernos mínimos por span, soporte secundario	Tipo de Perno
$\leq 5,5$ m en roca de buena calidad $40 \leq \text{GSI} \leq 50$; $\leq 4,2$ m en roca de mala calidad $\text{GSI} < 40$	2.1m Ver Tabla 3	No requiere		Tipo Swellex (Omega o Hydrabolt, 2.1m)
$5 < \text{Span} \leq 6.5$ m macizo rocoso competente $\text{GSI} > 50$	2.4m. Ver Tabla 3			Perno Helicoidal cementado
6.5m - 7m	2.1m / 2.4m	3.6m (12')	Ver la figura 13 y 14, los requisitos de sostenimiento en intersecciones y el número de pernos helicoidales por span.	Perno Helicoidal cementado (22mm ϕ) o perno Tipo Swellex (estándar)
7m - 8m	2.1m / 2.4m	4.5m (15')	Ver la figura 13, los requisitos de sostenimiento de la intersección, el número de pernos helicoidales por span.	Perno Helicoidal cementado (22mm ϕ), perno tipo Super Omega o Cable bolting cementado.
8m - 10m	2.1 m / 2.4m	6m	Ver figura 15 / figura 16 de acuerdo al FS	Cable bolting cementado o perno Super Omega (Conectable)
10m - 14m	2.1 m / 2.4m	8m		

Se recomienda que en intersecciones de todo tipo debe realizarse un sostenimiento mínimo con Shotcrete 2" + pernos 7' / 8' (de acuerdo con la especificación de cada mina) + Malla.

El espaciado de los pernos de sostenimiento primario (categorías de soporte temporal y permanente) debe mantenerse en un patrón cuadrado como máximo de 1.2m x 1.2m independientemente del FS. Un mayor patrón de empernado en ubicaciones específicas dentro de la intersección debe estar justificado por la condición de la roca y las consideraciones estructurales.

Tabla 20. *Diseño del sostenimiento primario*

Perno y Longitud	Span Máximo	Espaciado de Pernos	Condición
Swellex, 2.1m a 2.4m	Hasta 5.5m en roca competente	Patrón típico: 1mx1m hasta 1.2mx1.2m	Temporal
	Hasta 4.2m en roca de mala calidad		
Helicoidal, 2.4m	Hasta 6.5m en roca competente	Patrón típico: 1.2mx1.2m	Permanente

4.1.8. Elementos de Sostenimiento

Las tablas de sostenimiento y el método para su aplicación, de acuerdo con Índice G.S.I que deberá ser ejecutado en labores de desarrollo y labores principales, se elaboraron tomando como referencia la relación que existe entre las clasificaciones con la aplicación de los distintos tipos de soporte y los valores equivalente en el Índice Q, RMR y G.S.I. Estas labores tendrán un tiempo de vida operativo que cubra varios años, lo que condicionara el diseño de sostenimiento, debido a la presencia de aguas ácidas y a las condiciones de alterabilidad.

Para los sectores de aplicación del sistema Bench and Fill y Corte y Relleno Ascendente se diseñó un sistema de sostenimiento temporal como parte de las labores preparación y explotación. En estos casos los pernos deben tener un espaciado de 1.2 x 1.2 m con malla y 1.8 x 1.8m de forma sistemática antes de lanzar el shotcrete.

Para realizar esta labor se utilizan los siguientes elementos:

- Perno Split Set 7'
- Pernos tipo expansivo Swellex
- Malla electrosoldada de refuerzo
- Shotcrete;

En las operaciones de Carahuacra se emplea shotcrete con 2" a 3" de espesor, adicionalmente se dispone de pernos sistemáticos mediante un diseño de distribución, por otro lado, también se aplica sostenimiento pesado Shotcrete 2" + pernos con malla + Shotcrete de 1" que viene a ser de tipo estructural, en este caso la compresión uniaxial de este sistema alcanza los 300 Kg/cm².

Relleno

Para el caso de Bench and Fill (AVOCA), normalmente se emplea relleno detrítico con el fin de que se pueda generar un ángulo de reposo. En el minado de los cuerpos y/o mantos se pueda complementar el relleno detrítico con el relleno hidráulico. En caso de utilizarse relleno hidráulico, habría la necesidad de conformar diques y barreras para su inyección.

4.2. Discusión de resultados

Se llevaron a cabo trabajos en campo, laboratorios y gabinete con el objetivo de alcanzar los objetivos fijados inicialmente.

En la primera etapa la evaluación de los principales factores de control de estabilidad y para la estimación de los criterios Geomecánicos básicos los estudios se orientan a ejecutar investigaciones básicas con el objetivo de obtener la información que se necesitara.

En la segunda etapa, se procede a integrar toda la información relacionada con las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas de las investigaciones básicas, con el fin de elaborar las recomendaciones sobre las alternativas de minado subterráneo.

En la discusión y análisis de resultados podemos mencionar lo siguiente.

1. La Mina Carahuacra se ubica en el Anticlinal de Yauli hacia el flanco occidental como parte de su amplia estructura regional.
2. La Mina Carahuacra en términos políticos se encuentra localizada en la región Junín, en la provincia y distrito Yauli, geográficamente estas operaciones se encuentran en las coordenadas UTM (WGS84-18S): 8704006 N –382850 E y a una altura desde el nivel del mar de 4,300 y 5,000 msnm.
3. En términos estratigráficos, la litología se puede identificar en la extensión que alcanza entre los sectores pertenecientes al Paleozoico hasta el Cretácico Superior. El primero presenta dos formaciones, en la parte inferior se reconoce al Excelsior, y en la superior al grupo Mitú. La afloración del grupo Excelsior se ubica en toda la extensión del anticlinal de Chumpe, exactamente en el sector oeste del domo de Yauli, también aflora por el sector este en el anticlinal de Ultimátum. Por su parte, el grupo Mitu presenta floraciones en distintos sectores a lo largo del domo.

Por otra parte, las formaciones Mesozoicas conforman el margen, estas vienen a ser los grupos: Pucará, Goyllarisquizga, Machay y las Formaciones: Pariatambo y Jumasha. Adicionalmente, también se reconoce Cuerpos intrusivos y otras capas extrusivas que muestran la actividad ígnea presente en todos los sectores.
4. En cuanto a la geología estructural, la mina Carahuacra forma parte de la estructura mayor denominada Domo de Yauli, cuyo perfil estructural es el de una ventana tectónica o domal. En cuanto a sus dimensiones este cuerpo presenta 30 km de longitud y 15 km de en su parte más ancha. Se orienta en dirección andina NNWSSE. Las capas tectónicas Hercínicas y Andinas se encuentran superpuestas en el núcleo del Domo, las que tienen influencias en los cuerpos Excelsior hasta el Casapalca.

Las principales formaciones que afectan la zona del proyecto especialmente a los Grupos Pucará y Goyllarisquizga pueden identificarse como formaciones plegadas y alargadas con secciones muy apretadas de dimensiones muy grades, adicionalmente la compresión de fuerzas provoca escurrimientos en estas formaciones.

5. En relación con la geología local, las formaciones como los Grupos Excélsior, Metavolcánicos, Mitú, Pucará, Goyllarisquizga y las Rocas Intrusivas son las que dan origen al proceso de mineralización y vienen a ser los principales cuerpos rocosos.
6. Como cuerpo de rocas este presenta una complejidad a nivel geológico cuyo resultado es la formación de diferentes depósitos minerales. Entre las etapas de plegamientos se pueden identificar distintas formaciones entre ellas la última etapa se denomina "Quechua", posteriormente se produjeron las formaciones de las fracturas de tensión, y con ellos se produjo el proceso de mineralización; Adicionalmente el área fue invadida por soluciones residuales mineralizantes con un origen probable en los stocks de monzonita cuarcífera, de esta manera se produjo la formación de vetas, mantos y cuerpos; Pero se debe aclarar que en su origen estos cuerpos fueron rellenos y/o reemplazados de manera indistinta por soluciones hidrotermales, por medio de canales alimentadores (feeders).
7. En la Mina Carahuacra se pueden distinguir dos tipos de mineralización: a) sistemas de vetas y b) mantos y cuerpos. En el primer caso se distinguen las vetas como Mary, Ramal Mary, Yanina, María Luisa (ML), Ruth, Carmen, Lourdes y Penélope, entre las que presentan mayor importancia son las vetas Mary y ML, la explotación actual se realiza en ellas. Al segundo tipo de mineralización pertenecen los mantos; Principal, Paula Techo y Diana, y los cuerpos Huaripampa y Galáctico.

8. Los resultados del análisis de distribución de los sistemas de discontinuidades han mostrado que: o Para todas las estructuras mineralizadas en estudio, el sistema principal (Sistema 1) tiene rumbo y buzamiento paralelo al rumbo y buzamiento de la estructura mineralizada, y el caso de los otros sistemas principales y secundarios, se presentan con cierta correlación entre las distintas estructuras. O En los casos de la veta Mary y María Luisa existe buena correlación y algo menor en relación con la veta Diana. En estos casos el Sistema 1 tiene rumbo NE y buzamiento moderado a alto hacia el SE en los casos de Mary y María Luisa; y para Diana con alto buzamiento invertido hacia el NW. o El grupo de los cuerpos Huaripampa y Galáctico, así como en el manto Principal, el Sistema 1 tiene rumbo NW con buzamiento moderado a alto hacia el SW en los tres casos. Hay mayor correlación entre los distintos sistemas de Huaripampa y Principal.
9. La zonificación geomecánica indica como resultados que el yacimiento tiene una calidad diferenciada en estructuras mineralizadas. De esta manera se identifica que el dominio DE-IIIA es la calidad dominante para las vetas Mary y María Luisa, por otro lado, en las cajas inmediatas es del dominio DE-IIIA y en las cajas alejadas pasa al dominio DE-II.
- Las formaciones Huaripampa y Principal presentan como calidad dominante el dominio DE-IVB para la roca encajonante y en el mineral. Así mismo, el cuerpo Galáctico y la veta Diana presentan como calidad un dominio DE-IVA para el mineral y en las cajas aledañas. Finalmente, no se registra información para la veta Paula Techo.
10. A partir del logueo geotécnico de varios sondajes y de los datos del mapeo geomecánico se realizó la zonificación geomecánica de las labores subterráneas para cada estructura evaluada. Debido a que los sondajes fueron insuficientes no fue posible elaborar un modelo de bloques de

calidad. Por este motivo la zonificación geomecánica del cuerpo rocoso se conforma en plantas y secciones particulares a cada estructura mineralizada. Por ello, se puede concluir que con la información disponible, los resultados encontrados son significativos.

11. Por medio de ensayos de campo y de laboratorio fueron determinados los parámetros de resistencia tanto de la roca intacta como en las discontinuidades. Con ello pudo verificarse que los datos del campo y los resultados del laboratorio se corresponden positivamente. Se estimó en R4 y R5 50-100 y 100-250 MPa la resistencia compresiva en las rocas caliza y volcánica de buena calidad. Por otro, para otra roca caliza de mala calidad se estimó su resistencia en R2 y R3 (5-25 y 25- 50 MPa). Se empleó el criterio de falla de Hoek & Brown para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, (2002, 2007).
12. A partir de los mapeos Geomecánicos del yacimiento se puede observar que las condiciones de agua subterránea no tienen una presencia significativa. En ese sentido se puede considerar la condición como húmeda en todos los sectores. El estudio hidrogeológico muestra una precipitación de 873 mm/año como promedio anual para una altitud de 4,700 msnm. Además, se identifican tres unidades hidrogeológicas donde predominan las rocas intrusivas y volcánicas, y que se encuentran cubiertas por suelos fluvioglaciares. Debido a la profundización de mina el caudal anualmente fluctuará entre 143.9 l/s y 160.2 l/s para el año 2020 y 2023.
13. En cuanto a los esfuerzos, no se cuenta con mediciones de sus valores, Por ese motivo la estimación de su condición se realizó de forma tradicional en las diferentes vetas y zonas evaluadas, las que presentan profundidades diferentes que se ubican entre los 330 hasta 900 m. Tomando como referencia estos indicadores se puede decir que el esfuerzo vertical presenta una variación entre 8.9 y 24.3 MPa y el valor de k se ubicaría entre 0.5 y 2.1,

de esta manera se puede ubicar los esfuerzos horizontales entre 4.5 y 51 MPa.

14. Se elaboro un análisis de diseño que evalua las condiciones de estabilidad de las excavaciones que abarcan las diferentes vetas del minado por medio de información básica desarrollada y presentada anteriormente. De la misma manera, se pudo determinar la dirección preferente del avance de la excavación, la máxima dimensión de las aberturas para labores temporales o permanentes, el tamaño de los tajeos, el sistema de sostenimiento y otros factores que se asocian al método minado.
15. Se realizo modelamiento numérico en 3D por medio de software FLAC 3D en el caso de las labores en intersecciones con el objetivo de evaluar específicamente la estabilidad de estas excavaciones. Del mismo modo, previamente se elaboró un análisis relacionado con la secuencia del minado en profundidad de la veta Mary considerando diferentes opciones.

CONCLUSIONES

1. Utilizando toda la información desarrollada en este estudio se ha confirmado desde el punto de vista geomecánico los métodos de minado que se viene desarrollando en mina Carahuacra, las cuales son los siguientes: o “Corte y relleno” (Cut & fill – C&F) ascendente modalidad “breasting”, lo cual puede aplicarse en cualquier veta con masa rocosa de calidad Mala. o “Banqueo y relleno” (Bench & Fill – B&F), aplicable en las vetas de calidad Regular hacia superior, como es el caso de las vetas Mary y María Luisa. o “Galerías y relleno” (Drif & Fill – D&F), que es aplicable en los mantos y cuerpos de calidad Mala donde hay la necesidad de realizar el minado al costado de una tajeo ya minado. Debido a la calidad de masa rocosa que se tiene en la mina en las estructuras de calidad Mala, no existen muchas opciones para el minado de estas.
2. A partir del análisis geotécnico integrado del Nivel 1360 y 1410 de Veta Mary, es posible determinar que es técnicamente factible explotar estos niveles, aplicando el método B&F convencional o con relleno CRF, tomando en cuenta las dimensiones de tajos/pilares y la secuencia establecida para la Explotación, el relleno y un sostenimiento adecuado.
3. La condición estructural juega un rol predominante en las zonas profundas de Veta Mary, ya que fue posible evidenciar una correlación entre las estructuras relevantes (mayores e intermedias) y los eventos microsísmico registrados en el último periodo (desde el 2021 al presente).
4. La construcción de galerías y el minado de los tajos en este nivel - y en los posteriores –, es altamente sensible a los eventos de liberación de energía repentina tipo rockburst, debido a la regular (y buena) calidad de roca donde está emplazada la veta, tal como se ha evidenciado en el minado de los últimos periodos en la zona profunda de Carahuacra.

RECOMENDACIONES

1. El diagnostico geomecánico en operaciones mineras depende fundamentalmente de la cantidad y calidad de información disponible. Para asegurar dicha información se debe disponer de sondajes ejecutados como parte de la exploración. Con este objetivo se recomienda tomar las acciones necesarias para aprovechar toda la información disponible proveniente de los sondajes exploratorios que se ejecutaron en dirección a las estructuras mineralizadas, de manera que se pueda elaborar un modelo de bloques en función al RMR y poder tener mayor certeza de las zonas en relación a su calidad.
2. En cada una de las estructuras particulares se pueden identificar direcciones preferentes para el avance de las excavaciones según lo muestra los resultados del arreglo estructural de la masa rocosa. Aunque operativamente estas labores muestran orientaciones paralelas a las vetas, se recomienda necesario que se adopten las direcciones de avance propuestas, lo que asegura mejores condiciones de estabilidad en las excavaciones, así como un sistema de sostenimiento más eficiente.
3. Se recomienda usar un relleno de tipo detrítico en el B&F y relleno detrítico o el hidráulico en el C&F. En el caso que la calidad de la roca sea mala no se recomienda el uso de relleno hidráulico debido a la cantidad de agua que puede ingresar en los tajeos, lo que puede originar inestabilidad de las cajas, sin embargo, en el caso de mina Carahuacra, el uso del relleno hidráulico es sustentable ya que su uso permite mejorar el topeo de la caja techo debido al bajo buzamiento que tiene la veta, en tal sentido, el aspecto de un adecuado drenaje debe ser llevado a la par para minimizar la influencia adversa del agua.
4. También es relevante tener en cuenta la presencia del agua subterránea durante la etapa de minado. Se recomienda tener un control manteniendo preferentemente en estado seco los tajeos principalmente cuando la roca es de menor calidad ya que el impacto desfavorable del agua es mayor en relación con las rocas de mejor calidad.

Para dicho control de la estabilidad por presencia de agua, es recomendable un diseño e implementación de un sistema de drenaje adecuado al caudal específico del sitio. Otro hecho que contribuye a deprimir el nivel freático es la realización de niveles inferiores a los tajeos de producción, los cuales son labores que se realizan como parte de la profundización del minado.

5. Los sistemas de sostenimiento recomendados tanto para excavaciones permanentes como temporales deben ser tomados como guía para el sostenimiento de las excavaciones asociadas a los diferentes métodos de explotación propuestos. Es muy importante considerar el sostenimiento en los tajeos cuando se sobrepasa las longitudes máximas recomendadas sin sostenimiento

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ATENCIO , E. (2019). *Evaluación de la estabilidad Geomecánica del tajeo 2147 en la recuperación de mineral económico □ Unidad Arcata*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion] repositorio institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Pasco - Peru.
- BAENA , G. (2017). Metodologia de la investigacion. En G. E. PATRIA (Ed.).
- BERNAL, C. (2010). *Metodologia de la investigacion* (Tercera edicion ed.). (P. Educacion, Ed.)
- BIENIAWSKI, Z. (1989). *"Engineering Rock Mass Clasification"*. (W. -I. Publication, Ed.)
- Boletin Estadistico Minero. (2024). *Estadística del sector Minero N° 07 - 2023*.
- BROWN, E. (1981). *"Rock Caractterization Testing and Monitoring" ISRM Suggested Methods - Commission on Testing Methods*. (I. S. Mechanic., Ed.)
- BUJAICO, GONZALES, C. (2021). *Categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento*. [tesis de licenciamiento Universidad Continental] repositorio institucional Universidad Continental, Uancayo Peru.
- CAMACHO, O. (2017). *Aplicacion de la clasificacion geomecanica para mejorar el rendimiento de la voladura en la Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C*. [Tesis de licenciamiento Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann- Tacna] repositorio institucional Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann- Tacna, Tacna Peru.
- CONDOR, E. (2016). *"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MINADO SUBTERRÁNEO PARA MEJORAR LOS ESTÁNDARES DE SOSTENIMIENTO DE LA MINA SAN CRISTÓBAL - 2016"*. [tesis de licenciamiento de la Universidad Alas Peruanas] repositorio institucional Universidad Alas Peruanas, 2016.
- CUENCA, MONTANO, H. (2024). *"ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA DETERMINAR ESTABILIDAD DE MACIZO ROCOSO DE TAJEO, MÉTODO DE EXPLOTACIÓN TALADROS LARGOS, PAN AMERICA SILVER HUARÓN*

- S.A.”. [tesis de licenciamento Universidad Continental] repositorio de la Universidad Continental.
- DCR Ingenieros S.R. Ltda. (2017). *“Evaluación Geomecánica del Minado Subterráneo de Marcapunta Norte y Sur”*.
- HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, R. (2014). *Metodologia de la investigacion* (sexta edicion ed.). (M. e. S.A., Ed.)
- HERRERA, SILVA, V. (2022). *Estudio Geomecánico para determinar un adecuado sostenimiento en el Nivel Principal 2410 de la Unidad de producción Santa María- Pataz*. [tesis de licenciamento Universidad Cesar Vallejo] repositorio institucional Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo -Peru.
- HOEK, E. (s.f.). *Practical rock engineering - Rocscience*.
- HUSTRULID, BULLOCK, W. (2001). *Underground Mining Methods: Fundamentals and International Case Studies - SME*.
- Instituto de Seguridad Minera (ISM). (2013). *Clasificacion geomecanica de roca en mineria subterranea* . Lima Peru.
- LOPEZ JIMENO, C. (1987). *MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA*. (I. G. España, Ed.)
- Ministeri de Renergia y Minas, D.S. 024 -2016. (2016). Reglamento de seguridad y salud en el trabajo. Lima: Diario El Peruano .
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM). (2017). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en mineria , D.S. N° 024-2016-EM, MODIFICADO POR D.S. N° 023-2017-EM.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM). (2024). 2023 ANUARIO MINERO - Reporte estadístico.
- Organizacion Internacional del Trabajo (OIT). (2020). *Tasas de accidentes en mineria* .
- PANTALEON, CARBAJAL, H. (2017). *Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina*

- subterránea*. [tesis de licenciamiento Pontificia Universidad Catolica] repositorio institucional Pontificia Universidad Catolica, Lima - Peru.
- PAREDES, J. (2023). *Evaluación geomecánica para el minado subterráneo de la Zona Marcapunta Norte – Sociedad Minera El Brocal S.A.A.* [tesis de licenciamiento Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion] repositorio institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco - Peru.
- QUISPE, S. (2023). *“Modelo geomecánico para garantizar la estabilidad del minado subterráneo del cuerpo Salvadora, Mina Andaychagua, 2023”*. [tesis de licenciamiento Universidad de San Cristibal de Huamanga] repositorio institucional Universidad de San Cristibal de Huamanga.
- RAMIREZ, ALEJANO, P. (2004). *Mecánica de rocas fundamentos e Ingeniería de Taludes*. España.
- SALAZAR, E. (2020). *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A.* [tesis de licenciamiento Universidad Continental] repositorio institucional Universidad Continental.
- SANCHEZ, REYES, H. (2006). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica*. (E. V. Universitaria, Ed.) Lima.
- SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA PETROLEO Y ENERGIA. (2004). *Manual de geomecanica aplicada a la prevencion de accidentes por caida de rocas*.
- SOTO, A. (2018). *ESTUDIO GEOMECANICO Y DIMENSIONAMIENTO DE MINADO DEL CUERPO ESPERANZA DE MINA YAURICOCHA*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo - Peru.
- SULCA , K. (2022). *APLICACIÓN DE LA GEOMECAÁNICA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LABORES SUBTERRÁNEAS EN LA MINA SAN ANDRÉS - CIA. MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A., 2022*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga] repositorio

institucional Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho
Peru.

SUPO, CAVERO, F. (2014). *FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PROCEDIMENTALES DE
LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN CIENCIAS SOCIALES*. (E. Universitario,
Ed.)

ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos

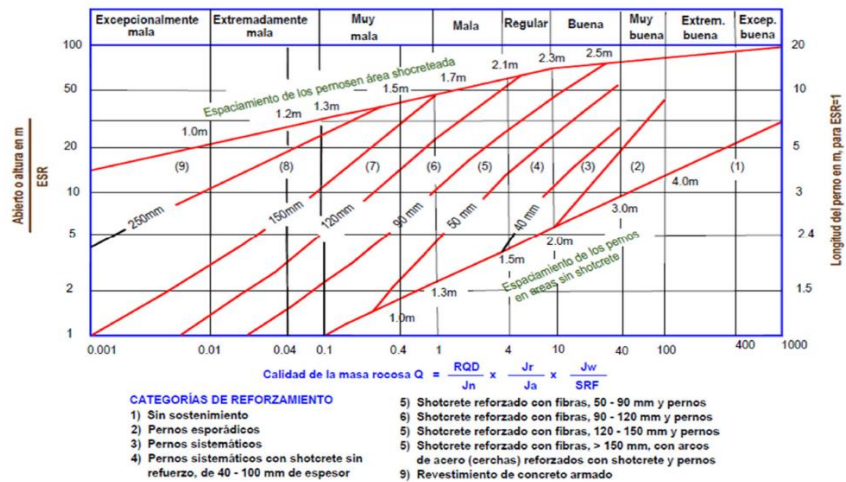
Unidades geotécnicas

UNIDADES GEOTECNICAS (UGT)							
VETA	NIVEL	ID UGT	Descripción	IRS	RQD (%)	RMR(b)89	
						Promedio	Rango
LOURDES	970	BX. VOL	Brecha Volcánica	R2.5 - R3.5	85 - 100	63	55 - 70
		AND	Andesita	R2.5 - R3.5	85 - 100	76	55 - 70
DIANA	1020	CLZ	Calizas	R1.5 - R2.0	50 - 60	37	35 - 40
		AND	Andesita	R2.5 - R3.5	85 - 100	76	55 - 70
MANTO PRINCIPAL	1070	CLZ	Calizas	R1.5 - R2.0	20 - 35	35	30 - 40
		ZAF	Zona de Alto Fracturamiento	R0 - R1	10 - 15	26	22 - 30
		DOL	Dolomías	R1.0 - R1.5	20 - 30	25	20 - 30
SUSANA	1180	BX-VOL	Brecha Volcánica	R2.0	95 - 100	66	65 - 70
		FLT	Filita	R2.5 - R3.5	85 - 100	40	55 - 70
	1280	BX-VOL	Brecha Volcánica	R2.0	95 - 100	66	65 - 70
		ZAF	Zona de alto fracturamiento	R0 - R1	0 - 16	25	15 - 30
MARY	1360 1420	FLT	Filita	R2.5 - R3.5	85 - 100	40	55 - 70
		BX-VOL	Brecha Volcánica	R3.5 - R4	95 - 100	70	65 - 75
		DAC	Dacitas	R2.5 - R3.5	90 - 100	60	55 - 65
		QZ-MONZ	Cuarzo Monzonitas	R3.5 - R4	95 - 100	70	65 - 75

Aberturas máximas de excavaciones según RMR

Dominio	Rango RMR	Promedio RMR	Abertura máxima
DE-II	> 60	65	8.1
DE-IIIA	51 - 60	55	5.2
DE-IIIB	41 - 50	45	3.3

Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993)



Sostenimiento para labores de avance permanentes

DOMINIO	RANGO RMR	SOSTENIMIENTO
DE - IIIA	51 - 60	Pernos Helicoidales sistemáticos de 7 – 8 pies de longitud, espaciados cada 1.5m. Donde se requiera añadir una capa de 2" de espesor de Shotcrete.
DE - IIIB	41 - 50	Pernos Helicoidales sistemáticos de 7 – 8 pies de longitud, espaciados cada 1.5m + 2" a 3" de espesor de shotcrete reforzado.
DE - IVA	31 - 40	Pernos Helicoidales sistemáticos de 7 – 8 pies de longitud, espaciados cada 1.0m a 1.5m + 2" de shotcrete reforzado. Donde se requerirá utilizar malla metálica
DE - IVB	21 - 30	Pernos Swellex sistemáticos de 7 - 8 pies de longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + Shotcrete de 4" de espesor. Alternativamente uso de cable bolting , cimbras tipo 6W20 espaciada reforzado de 2" a 3" de espesor.
DE - V	< 21	Cimbras tipo 6W20 espaciadas cada 1.0m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 2" de espesor preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes.

Sostenimiento para infraestructuras permanentes

ESTÁNDAR DE SISTEMAS DE FORTIFICACIÓN Y/O SOPORTE DE INFRAESTRUCTURAS PERMANENTES								
DOMINIO LITOLOGICO	CALIDAD DE MACIZO	Q DE BARTON		RMR		SISTEMA DE FORTIFICACIÓN Y/O SOPORTE DE INFRAESTRUCTURA		
		Min	Máx	Min	Máx	SSEE , COMEDORES, CAMARA Y POZAS DE BOMBEO, REFUGIOS MINEROS (6 m. x 5 m.)	TALLERES, POLVORINES, S. CAPACITACION (5 m. X 5 m.)	TODAS LAS INFRAESTRUCTURAS PERMANENTES
						SOPORTE PRIMARIO		SOPORTE SECUNDARIO
- Volcánico - Dacita - Andesita - Granodiorita - Qz. Monzonita	IA	1.79	4.3	51	60	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.7 m. x 1.7 m. longitud de empernado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 05 a 06 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.7 m. x 1.7 m. longitud de empernado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 05 a 06 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Instalacion de cable bolting de 4 m. de longitud como minimo espaciado a 2.5 m x 2.5 m.
- Metavolcánico - Filita Silisificada - Filita Areniscosa - Caliza Marmoleada - Areniscas - Hornfels	IIIB	0.71	1.69	41	50	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.5 m. x 1.5 m. longitud de empernado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 06 a 09 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.7 m. x 1.7 m. longitud de empernado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 05 a 06 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Instalacion de cable bolting de 4 m. de longitud como minimo espaciado a 2.0 m x 2.0 m.
- Filita Bituminosa Seca - Caliza alterada Seca - Margas Grises - Margas Ferruginosas	IVA	0.17	0.53	31	40	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.2 m. x 1.2 m. longitud de empernado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 09 a 12 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Perno Helicoidal sistematico espaciado a 1.2 m. x 1.2 m. longitud de empernado 2.4 m. y Shotcrete proyectado con esperor entre 09 a 12 cm. De espesor con refuerzo de fibra (E700)	Instalacion de cable bolting de 6 m. de longitud como minimo espaciado a 2.0 m x 2.0 m.
- Filita Bituminosa Saturada - Caliza alterada Saturada - Marga Grises Saturada	IVB	0.01	0.13	21	30	No es recomendable hacer una infraestructura permanente en esta calidad de roca	No es recomendable hacer una infraestructura permanente en esta calidad de roca	No es recomendable hacer una infraestructura permanente en esta calidad de roca

Matriz de consistencia

Título “DETERMINACION DE UN ADECUADO SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL ANALISIS GEOMECANICO DEL YACIMIENTO CARAHUACRA, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA”.				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Problema general ¿Al contar con estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento se podrá tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA? Problemas específicos Problema específico a ¿Cuáles son Los parámetros Geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero que ayuden a determinar el comportamiento de la roca del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA? Problema específico b ¿Con los parámetros Geomecánicos del yacimiento minero podremos tener un adecuado sostenimiento, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA?	Objetivo general Contar con un estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento que ayuden a tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA. Objetivos específicos Objetivo específico a Determinar los parámetros Geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero que ayuden a determinar el comportamiento de la roca del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA. Objetivo específico b. Determinar los parámetros Geomecánicos del yacimiento minero que ayuden a tener un adecuado sostenimiento, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA.	Hipótesis General Al contar con un estudio geomecánico del macizo rocoso del yacimiento podremos tener con un adecuado sostenimiento del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA. Hipótesis específicas Hipótesis específica a Al determinar los parámetros Geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero podremos determinar el comportamiento de la roca del yacimiento Carahuacra, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA. Hipótesis específica b Determinando los parámetros Geomecánicos del yacimiento minero podremos tener un adecuado sostenimiento, EN COMPAÑIA MINERA VOLCAN S.A.A. UNIDAD CARAHUACRA	Identificación de variables Variables para la hipótesis general Variable independiente Estudio geomecánico Variable dependiente Adecuado sostenimiento Variables para la hipótesis específicas Variables para la hipótesis específica a Variable independiente Parámetros Geomecánicos Variable dependiente Comportamiento de la roca Variables para la hipótesis específica b Variable independiente Parámetros Geomecánicos Variable dependiente Adecuado sostenimiento	-Tipo de l. aplicativo. -Nivel de l. Descriptivo, analítico Diseño de l.es no experimental La muestra comprende los datos Geomecánicos de las labores mineras conformados por los tajeos, galerías, cruceros de VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A. UNIDAD CARAHUCRA