

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación geomecánica para determinar el tipo de
sostenimiento en el XC 876, NV 21 - zona vetas, Unidad
Minera Americana**

Kevin Maykol Cunyas Sanchez
Berkely Rosulo Manrique Eulogio

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

A nuestro señor Dios por brindarnos salud y sabiduría.

A todos los ingenieros del área de Geomecánica – Compañía Minera Alpayana quienes nos apoyaron para la realización de la presente investigación.

A nuestros padres que estuvieron ahí presentes con su apoyo incondicional en todo momento de nuestras vidas.

A nuestros docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, por compartir sus conocimientos y permitirnos formarnos profesionalmente.

Al ingeniero Jesús Fernando Martínez Ildelfonso por su apoyo incondicional como asesor para el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, a la Universidad Continental, por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

DEDICATORIA

A Dios, a nuestros padres y familiares, quienes confiaron en nosotros y brindaron su apoyo en cada circunstancia de nuestra vida universitaria.

A nuestro asesor por guiarnos hacia la meta en esta investigación.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema	14
1.1.2.1. Problema general	14
1.1.2.2. Problemas específicos.....	14
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Justificación e importancia	15
1.4. Hipótesis	15
1.4.1. Hipótesis general	15
1.4.2. Hipótesis específicas	15
1.5. Operacionalización de las variables.....	15
1.5.1. Variable independiente	15
1.5.2. Variable dependiente.....	15
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	15
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes del problema	17

2.1.1	Antecedentes nacionales	17
2.1.2	Antecedente internacional	19
2.2.	Generalidades de la compañía minera Alpayana S. A.	20
2.2.1.	Ubicación y accesibilidad	21
2.2.2.	Geología regional	21
2.2.3.	Geología local	23
2.2.4.	Mineralización	25
2.2.5.	Geología estructural	26
2.2.6.	Geología económica	29
2.2.7.	Método de explotación	29
2.3.	Bases teóricas	30
2.3.1.	Sostenimiento en minería	30
2.3.2	Evaluación geomecánica	37
2.3.3.	Índice de designación de la calidad de la roca según Deere (RQD)	37
2.3.4.	Índice de designación de la calidad de la roca según Palmstrom	38
2.3.5.	Parámetros del RMR	38
2.3.6.	Condiciones de estabilidad.....	38
2.3.7.	Propiedades del macizo rocoso o parámetros de clasificación	42
2.3.9.	Diseño de sostenimiento	49
2.4	Definición de términos básicos.....	49
	CAPÍTULO III	51
	MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO.....	51
3.1.	Método y alcance de la investigación	51
3.1.1	Métodos de la investigación	51
3.1.2	Alcance de la investigación	51
b)	Nivel de investigación	52
3.2.	Diseño de investigación.....	52
3.3.	Población y muestra	52
3.3.1	Población.....	52

3.3.2. Muestra	52
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos	52
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	53
3.4.3 Metodología de trabajo	53
CAPÍTULO IV	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso	54
4.1.1. Caracterización geomecánica del XC 876 del nivel 21	54
4.1.2. Análisis y cálculo del RQD	56
4.1.3. Cálculo RMR según Clasificación Geomecánica de Bieniaswski.....	59
4.1.4. Determinación del tipo de sostenimiento	65
4.1.5. Precios unitarios de sostenimiento.....	67
4.1.6. Cálculo de costos de sostenimiento	67
4.2 Resultados y análisis de la información	68
4.3 Prueba de hipótesis	69
4.3.1. Validación de la Hipótesis N° 1.....	69
4.3.2. Validación de hipótesis N° 2	69
4.3.3. Validación de hipótesis N° 3	70
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	72
LISTA DE REFERENCIAS	73
ANEXOS.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables	16
Tabla 2. Rutas hacia la unidad minera Americana	21
Tabla 3. Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	42
Tabla 4. Índice de calidad según Palmstrom.....	43
Tabla 5. Clasificación en función al espaciamiento entre discontinuidades	43
Tabla 6. Clasificación en función a la persistencia de una discontinuidad	44
Tabla 7. Clasificación en función de la apertura de las discontinuidades.....	45
Tabla 8. Clasificación en función a la rugosidad de las discontinuidades	46
Tabla 9. Clasificación en función del relleno de las discontinuidades	46
Tabla 10. Clasificación en función de la intemperización de una roca	47
Tabla 11. Clasificación según la presencia de agua de las discontinuidades ..	48
Tabla 12. Clasificación en función a la orientación de las discontinuidades ...	48
Tabla 13. Estándar de sostenimiento – mina Alpayana	49
Tabla 14. Medición 1	54
Tabla 15. Medición 2	55
Tabla 16. Medición 3	55
Tabla 17. Medición 1	55
Tabla 18. Medición 2	56
Tabla 19. Medición 3	56
Tabla 20. Índice de calidad según Palmstrom.....	58
Tabla 21. Índice de calidad según Palmstrom.....	58
Tabla 22. Cálculo del RMR en la medición 1.....	59
Tabla 23. Cálculo del RMR en la medición 2.....	60
Tabla 24. Cálculo del RMR en la medición 3.....	61
Tabla 25. Cálculo del RMR en la medición 1.....	62
Tabla 26. Cálculo del RMR en la medición 2.....	63
Tabla 27. Cálculo del RMR en la medición 3.....	64
Tabla 28. Sostenimiento en la medición 1	66
Tabla 29. Sostenimiento en la medición 2.....	66
Tabla 30. Sostenimiento en la medición 3.....	66
Tabla 31. Sostenimiento en la medición 1	66
Tabla 32. Sostenimiento en la medición 2.....	66
Tabla 33. Sostenimiento en la medición 3.....	67

Tabla 34. Precios unitarios de sostenimiento	67
Tabla 35. Cálculo de costos de sostenimiento	67
Tabla 36. Evaluación según RMR estandarizado.....	68
Tabla 37. Resumen del cálculo de RMR	68
Tabla 38. Resumen del cálculo de RMR	69
Tabla 39. Propiedades evaluadas en campo	70
Tabla 40. Resumen de costos de sostenimiento	70
Tabla 41. Matriz de consistencia	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación de Alpayana S. A.	20
Figura 2. Plano geológico regional.	23
Figura 3. Mapa geológico.	25
Figura 4. Columna estratigráfica.	28
Figura 5. Perno de varilla corrugada.	31
Figura 6. Perno de fricción – split set.	32
Figura 7. Mecanismo de anclaje del split set.	32
Figura 8. Malla eslabonada o tejida.	33
Figura 9. Malla electrosoldada.	34
Figura 10. Aplicación de shotcrete.	35
Figura 11. Cimbras rígidas.	36
Figura 12. Instalación de cimbras.	37
Figura 13. Cuando la dirección de la labor es paralela a los estratos.	39
Figura 14. Cuando la dirección de la labor es perpendicular a los estratos.	39
Figura 15. Cartilla geomecánica de la Unidad Minera America.	40
Figura 16. Cartilla geomecánica de la Unidad Minera Americana.	41
Figura 17. Espaciado de una discontinuidad.	43
Figura 18. Persistencia de discontinuidades.	44
Figura 19. Apertura de una discontinuidad.	45
Figura 20. Grado de rugosidad de discontinuidades.	45
Figura 21. Relleno de discontinuidades.	46
Figura 22. Masa rocosa intemperizada.	47
Figura 23. Orientación de discontinuidades.	48
Figura 24. Condiciones del macizo rocoso después del disparo - XC 876.	77
Figura 25. Condiciones del macizo rocoso durante la perforación - XC 876.	77
Figura 26. Sostenimiento con shotcrete.	78
Figura 27. Pintado de malla para la instalación de pernos helicoidales.	79
Figura 28. Sostenimiento con cimbras metálicas.	80
Figura 29. Zonificación geomecánica, nivel 21 – unidad minera Americana.	81

RESUMEN

En la unidad minera Americana se realizó una evaluación geomecánica para la selección de los tipos de soporte para la zona de vetas, XC 876 nivel 21, basada en las propiedades del macizo rocoso y el costo unitario de soporte.

Dentro del objetivo general planteado es determinar el impacto de las evaluaciones geomecánicas en la elección de los tipos de soporte en la zona de vetas XC 876 nivel 21 de la unidad minera Americana.

Por lo tanto, el objetivo específico fue determinar cómo influyen las propiedades del macizo rocoso en el tipo de soporte en la zona vetas de la unidad minera Americana, XC 876 nivel 21.

Además de determinar la viabilidad del cálculo del costo de soporte unitario basado en la evaluación geomecánica del área de vetas nivel 21, XC 876 de la unidad minera Americana.

Esto llevó a la hipótesis general de que la evaluación geomecánica influyó en la determinación del tipo de soporte en XC 876, nivel 21 - vetas de la unidad minera Americana. Las hipótesis específicas fueron que las propiedades del macizo rocoso influyen positivamente en la determinación del tipo de soporte en XC 876, nivel 21 - vetas de la unidad minera Americana, y el cálculo de los costos unitarios de soporte en base a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona de veta de la unidad minera Americana es factible.

La evaluación geomecánica del macizo rocoso está comprendida por clasificaciones geomecánicas que se originan empíricamente, con el fin de evaluar el tipo de soporte en las actividades de explotación.

Palabras claves: evaluación geomecánica, tipo de soporte

ABSTRACT

In the American mining unit, a geomechanical evaluation was carried out to select the types of support for the vein zone, XC 876 level 21, based on the properties of the rock mass and the unit support cost.

Within the general objective proposed is to determine the impact of geomechanical evaluations in the choice of support types in the XC 876 level 21 vein zone of the American mining unit.

Therefore, the specific objective was to determine how the properties of the rock mass influence the type of support in the vein zone of the Americana mining unit, XC 876 level 21.

In addition to determining the feasibility of calculating the unit support cost based on the geomechanical evaluation of the vein area level 21, XC 876 of the American mining unit.

This led to the general assumption that the geomechanical evaluation influenced the determination of the type of support in XC 876, level 21 - veins of the American mining unit. The specific hypotheses were that the properties of the rock mass positively influence the determination of the type of support in XC 876, level 21 - veins of the American mining unit, and the calculation of unit support costs based on geomechanical evaluations in XC 876. , level 21 – vein zone of the Americana mining unit is feasible.

The geomechanical evaluation of the rock mass is comprised of geomechanical classifications that originate empirically, in order to evaluate the type of support in the exploitation activities.

Keywords: geomechanical evaluation, type of support

INTRODUCCIÓN

La presente tesis, denominada “*Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana*”, tiene su fundamento en definir el tipo de soporte en función de las propiedades del macizo rocoso y de los costos unitarios de sostenimiento.

Dentro del capítulo I, presentamos el planteamiento del problema, objetivos de la investigación, justificación e importancia; enseguida detallamos la hipótesis, y por último nuestras variables empleadas.

Dentro del capítulo II, presentamos el marco teórico, mencionando los antecedentes a la investigación, detallamos las generalidades de la unidad minera (accesibilidad, ubicación, clima, mineralización, etc.). Describimos las bases teóricas y finalmente definimos los términos que se emplean en la presente investigación.

Dentro del capítulo III, se desarrolló lo que corresponde a la metodología de la investigación, especificamos el tipo y nivel, detallando el diseño, delimitando la investigación con la población y muestra, por último, describimos los instrumentos de recolección de datos.

Dentro del capítulo IV, se desarrolló el análisis y la interpretación del resultado de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de soporte en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana en función del cálculo del *RMR* y *GSI*.

Para finalizar, se detallan las conclusiones y recomendaciones de la investigación, la lista de referencias y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La moderna minería necesita llevar cierto análisis y control geomecánico de estabilidad de las labores mineras dentro de su proceso de explotación y extracción. La unidad minera Americana actualmente viene explotando las labores de profundización a través del método de *sub level stoping*, con el que se tienen problemas de estabilidad de la masa rocosa en las labores mineras, debido a la presencia de flujo de agua en los hastiales (factor influyente).

De acuerdo a la frecuencia de accidentes e incidentes que se presentan por desprendimiento de rocas, es necesario un adecuado método de sostenimiento, para así mantener el equilibrio y estabilidad de las labores mineras.

En base a ello, el presente trabajo permite conocer y analizar los aportes de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de soporte en labores explotadas. La evaluación geomecánica permite tener conocimiento en técnicas sobre las características mecánicas del macizo rocoso, generando así alternativas o procedimientos para la prevención y control sobre el comportamiento de estructuras rocosas dentro de las labores mineras.

En temas operativos permite una mayor recuperación del mineral, incrementando la producción, reduciendo así paradas o interrupciones en el ciclo de minado, ocasionada, por problemas de estabilidad. Asimismo, minimiza la frecuencia de desprendimiento de roca, controla posibles daños a los equipos y personas.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

- ✓ ¿Cuál es la influencia de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cómo influyen las propiedades del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana?
- ✓ ¿Será factible el cálculo de costos unitarios de sostenimiento de acuerdo a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- ✓ Determinar la influencia de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar cómo influyen las propiedades del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana.
- ✓ Determinar la factibilidad del cálculo de costos unitarios de sostenimiento de acuerdo a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana.

1.3. Justificación e importancia

Para desarrollar la investigación se ha empleado metodologías propias, siguiendo procedimientos sistematizados, recopilando información de campo de forma ordenada, por ello la presente se justifica metodológicamente.

Esta investigación es importante porque busca crear estudios para que sirva como base para futuros proyectos de investigación y así tener alternativas de solución con respecto al desequilibrio de la masa rocosa que se genera por la explotación minera, asimismo, se logre reducir accidentes por desprendimiento de roca.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- ✓ La evaluación geomecánica influye significativamente para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana.

1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Las propiedades del macizo rocoso influyen positivamente para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana.
- ✓ El cálculo de costos unitarios de sostenimiento de acuerdo a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana es factible.

1.5. Operacionalización de las variables

1.5.1. Variable independiente

Evaluación geomecánica

1.5.2. Variable dependiente

Tipo de sostenimiento

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona de vetas de la unidad minera Americana.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
VI Evaluación geomecánica	Es el análisis detallado del comportamiento y el estudio de las características geomecánicas del macizo rocoso que conforman las rocas de formación.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo o calidad de la roca ▪ Factores influyentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RQD ▪ RMR ▪ GSI
VD Tipo de sostenimiento	Grupo de elementos estructurales que durante una abertura subterránea tiene con función principal equilibrar las condiciones de la cavidad.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estabilidad de las labores 	<ul style="list-style-type: none"> • Sostenimiento activo (pruebas de <i>pull test</i>) • Sostenimiento pasivo (pruebas de <i>pull test</i>)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes nacionales

En la tesis “*Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros Los Ángeles*” (1), el objetivo fue determinar el impacto de las evaluaciones geomecánicas en los tipos de soporte de roca para túneles carreteros Los Ángeles (1).

Se concluye que, la evaluación geomecánica influyó en la determinación de los tipos de soporte del macizo rocoso en el túnel carretero “Los Ángeles”, y además:

- ✓ Para roca tipo II - buena, como soporte se requieren pernos (anclajes) de 3 m de largo con un espaciado de 2,5 m x 2,5 m + hormigón proyectado de 5 cm de espesor (1).
- ✓ Para roca Tipo III – regular, pernos (anclajes) de 3 m de largo, 1,5 m x 1,5 m de espaciado + hormigón proyectado de 8 cm de espesor + malla electrosoldada (1).
- ✓ Para roca de alta calidad, se requieren pernos de 3,00 m de largo con un espaciado de 2,5 m x 2,5 m; para roca media, se requieren pernos de 3,00 m de largo con un espaciado de 1,5 m x 1,5 m + hormigón proyectado de 5 cm de espesor (1).

En la tesis “*Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente en la unidad minera Yauricocha - sociedad minera Corona S. A.*” (2), el propósito fue cómo afecta la evaluación geomecánica el tipo de soporte en el tajo minero determinado por el método de corte y relleno ascendente, tajeo 0337, inclinado RP, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo Mascota - unidad minera Yauricocha, 2018 (2).

Concluyendo que la evaluación geomecánica de tajeo 0337, inclinado RP, piso 0, nivel 1170, zona V, cuerpo Mascota - de la unidad minera Yauricocha; de acuerdo a la clasificación de Bieniawski, derivaron el tipo de soporte recomendado para la roca muestreada, una estimación de 74 puntos, que clasifica al macizo rocoso como buena, clase II (2).

Este resultado permitió utilizar pernos Split set de 3 m en la corona con una separación de 2,5 m, con malla electrosoldada y ocasionalmente con hormigón proyectado (2).

En la tesis “*Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7 – Chongoyape - Lambayeque*” (3), el objetivo fue desarrollar un análisis geomecánico de la estabilidad del macizo rocoso durante los trabajos de desarrollo y producción en la mina Santa Clotilde (3).

Se concluyó que el análisis geomecánico determina la estabilidad de las labores, la cual es inestable para los diferentes tipos de trabajos que se pueden realizar (3).

Los análisis de laboratorio realizados para este estudio permitieron determinar el grado de resistencia máxima de las rocas y el tipo de roca que se encuentra en las labores (3).

En la tesis “*Caracterización geomecánica del macizo rocoso en áreas de afluencia de agua, con la finalidad de impermeabilizar zonas de alto tránsito en la unidad minera Cobriza - 2019*” (4), el objetivo fue detallar

las características geomecánicas del macizo rocoso en la zona de afluencia de agua para impermeabilizar la zona tránsito alto, en la unidad minera Cobriza, Doe Run Perú, 2019 (4).

Se concluyó que los resultados de la caracterización geomecánica del área de afluencia de agua se establecieron a través de los registros históricos de la estación geomecánica y el tratamiento del agua circundante por parte del macizo rocoso, se reguló el cuidado de la matriz rocosa y el agua fue impermeabilizada en la labores de profundización (4).

En la tesis “*Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del nivel 720, sociedad minera Corona S. A.*” (5), el propósito fue detallar la influencia de la evaluación geomecánica en la elección del tipo de soporte en el túnel Yauricocha del nivel 720, sociedad minera Corona S. A. (5).

Se concluye que, la evaluación geomecánica efectuada en el túnel Yauricocha del nivel 720, con base en la clasificación RMR y clasificación GSI, determinaron que el tipo de soporte recomendado para cada estación, está en función de una evaluación geomecánica eficiente (5).

2.1.2 Antecedente internacional

En la tesis “*Evaluación geomecánica de estrategias de socavación en minería subterránea*” (6), el objetivo fue proporcionar una evaluación comparativa relativa de diferentes estrategias de socavación desde una perspectiva geomecánica (6).

Se concluyó que una revisión del arte de la socavación muestra que la mayor parte del conocimiento acumulado hasta la fecha proviene principalmente de operaciones mineras, la mina Henderson, una mina ubicada a profundidades de más de 1.000 metros, donde la minería se lleva a cabo a través de un sistema de hundimiento convencional eficiente en el que la voladura y la excavación se realizan a intervalos muy cortos, evitando la exposición de los pilares del nivel de producción debido a períodos prolongados de tiempo (6).

- ✓ Se presenta un método de comparación geotécnica entre estrategias de socavación. El trabajo académico que resultó ser el más receptivo en términos de destrucción es el desarrollado por Wattimena (2003), principalmente sobre el diseño de fortificaciones para minas de hundimiento masivas (6).
- ✓ En cuanto a la condición de la columna a nivel de asentamiento, la opción que brinda mayor factor de seguridad es el corte inclinado (6).

2.2. Generalidades de la compañía minera Alpayana S. A.

Empresa minera dedicada a la exploración, preparación, desarrollo y explotación de minerales polimetálicos (cobre, plomo, zinc y plata). Ubicada en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. Se localiza en la sierra limeña a una altitud de 4200 m s. n. m.

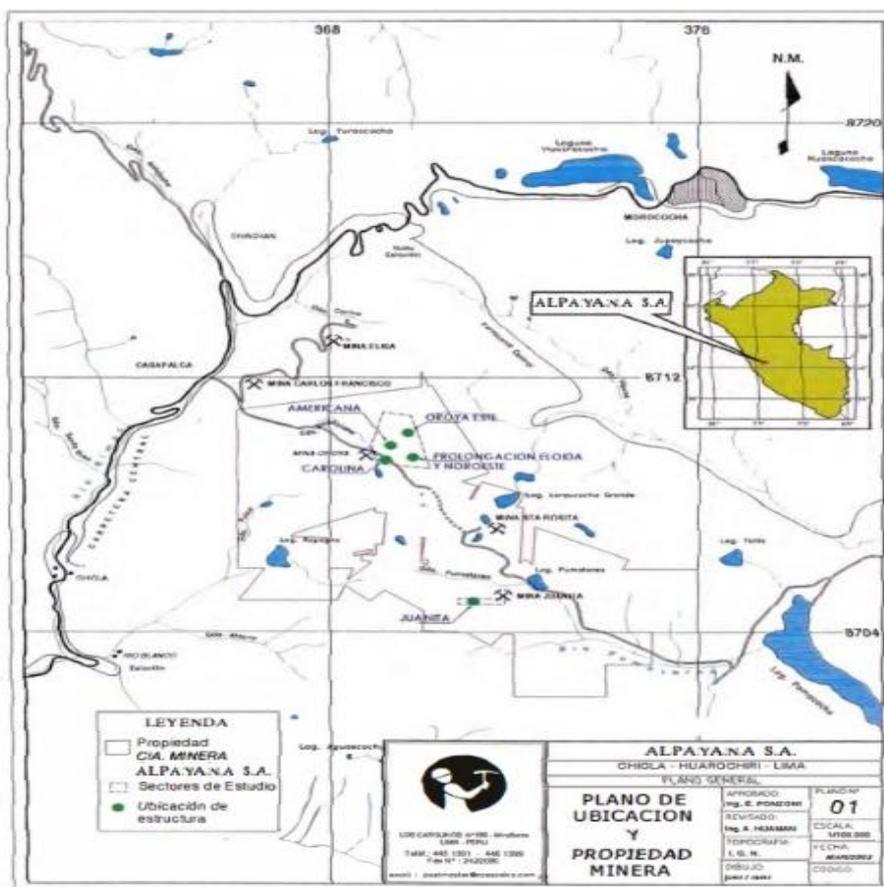


Figura 1. Plano de ubicación de Unidad Minera Americana. Tomada del Área de Planeamiento e Ingeniería de Compañía Minera Alpayana.

2.2.1. Ubicación y accesibilidad

A la unidad minera Americana se puede llegar de dos formas o por dos vías de acceso, los cuales son:

Tabla 2. Rutas hacia la Unidad Minera Americana

Tramo 1	Recorrido	Tramo 2	Recorrido
Lima – Casapalca	128km	Huancayo-La Oroya	65km
		La Oroya-Casapalca	35km
Tiempo promedio	3horas	Tiempo promedio	3horas

Nota: tomada del Área de Planeamiento e Ingeniería de Compañía Minera Alpayana

2.2.2. Geología regional

a) Formación Casapalca

Constituye el afloramiento estratigráfico más antiguo de la región, forma un anticlinal denominado Casapalca; formado por rocas sedimentarias de diversos ambientes continentales. La formación se ha dividido en los siguientes miembros (7):

- ✓ **Capas rojas:** se compone de capas intermedias de arenisca y esquisto calcáreo (7).
- ✓ **Conglomerado Carmen:** superpuesta con capas rojas, conglomerados y calizas intercaladas con areniscas y formaciones de lutitas calcáreas (7).

b) Formación Carlos Francisco

Fraccionada en tres piezas:

- ✓ **Volcánicos Tablachaca:** sobre el segmento del Carmen y separadas por lutitas de diferente dureza, se encuentra una serie de rocas volcánicas compuestas por tobas, brechas, conglomerados, aglomerados y pórfidos exhalativos (7).

- ✓ **Volcánicos Carlos Francisco:** Se encuentra sobre el mismo Tablachaca, está constituido por flujos de andesita color gris oscuro a verde y brecha volcánica (7).

- ✓ **Tufos Yauliyacu:** toba correspondiente sobre el volcánico Carlos Francisco y consiste en toba de grano fino (7).

c) Formación Bellavista

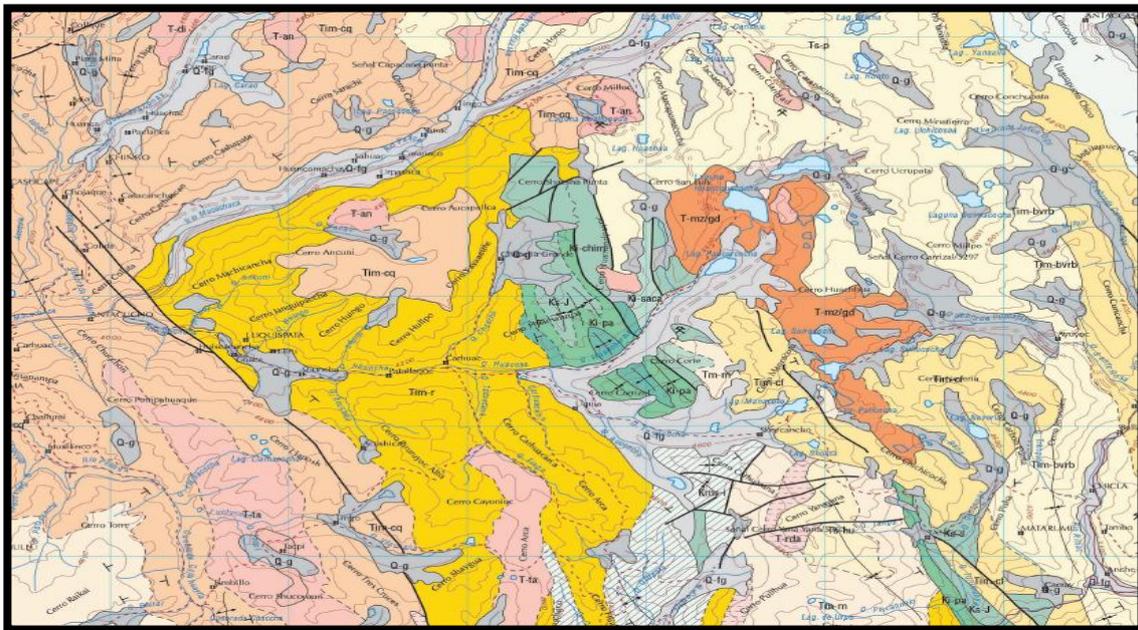
Compuesta por caliza, toba y lutita, y la formación también está compuesta por capas delgadas de caliza gris (7).

d) Formación Río Blanco

Se superpone a la formación Bellavista, que consta en rocas volcánicas ricas en capas compuestas de toba lapislázuli rojizo intercalada con brechas y riolita. Aflorando al sureste, y de mayor exposición entre Chicla y Río Blanco, 12 km al suroeste de Casapalca (7).

e) Formación Jumasha

Dicha formación no aflora dentro de la superficie de Casapalca; sin embargo, esta formación tiene una secuencia relacionada que consiste en caliza gris y algunas intercalaciones de lutita (7).



LEYENDA

ERA	SISTEMA		UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS					
			SECTOR OCCIDENTAL	SECTOR ORIENTAL	PLUTONICAS	HIPABISALES				
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Q-al	Depósitos aluviales						
		PLEHISTOCENO	Q-fg	Depósitos fluvio-glaciares						
			Q-g	Depósitos glaciares						
	TERCIARIO	SUPERIOR	Ts-p	Volc. Pacococho	Ts-p	Volc. Pacococho	T-g	Granito		
			Ts-hu	Fm. Huarochiri			T-to	Tonalita	T-ta	Traquiandesita
		MEDIO	Tm-m	Volc. Millotingo	Tm-m	Volc. Millotingo	T-gd	Granodiorita	T-a	Andesita
	INFERIOR	Tim-cq	Gpo. Colqui	Tim-bvrb	Fm. Bellavista RIO Blanco	T-to/gd	Tonalita Granodiorita	T-rda	Riodacita	
		Tim-r	Gpo. Rimac	Tim-cl	Fm. Carlos Francisco	T-mz/gd	Monzonita Granodiorita			
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Ks-q	Fm. Celendin	KTi-c	Fm. Casapalca				
			Ks-j	Fm. Jumasha	Ks-j	Fm. Jumasha			Ks-a	Andesita
			Ki-pa	Fm. Pariatambo	Ki-pa	Fm. Pariatambo				
			Ki-chu	Fm. Chulec	Ki-chu	Fm. Chulec				
	INFERIOR	Ki-saca	Fms. Santa Carhuaz	Ki-g	Gpo. Goyllarisquizga					
	Ki-chim	Fm. Chimu								
PALEOZOICO	JURASICO TRIASICO	SUPERIOR			JR-pu	Gpo. Pucara				
	PERMICO	SUPERIOR			Ps-mi	Gpo. Mitu				
	DEVONIANO	INFERIOR			Pi-e	Gpo. Excelsior				

Figura 2. Plano geológico regional.

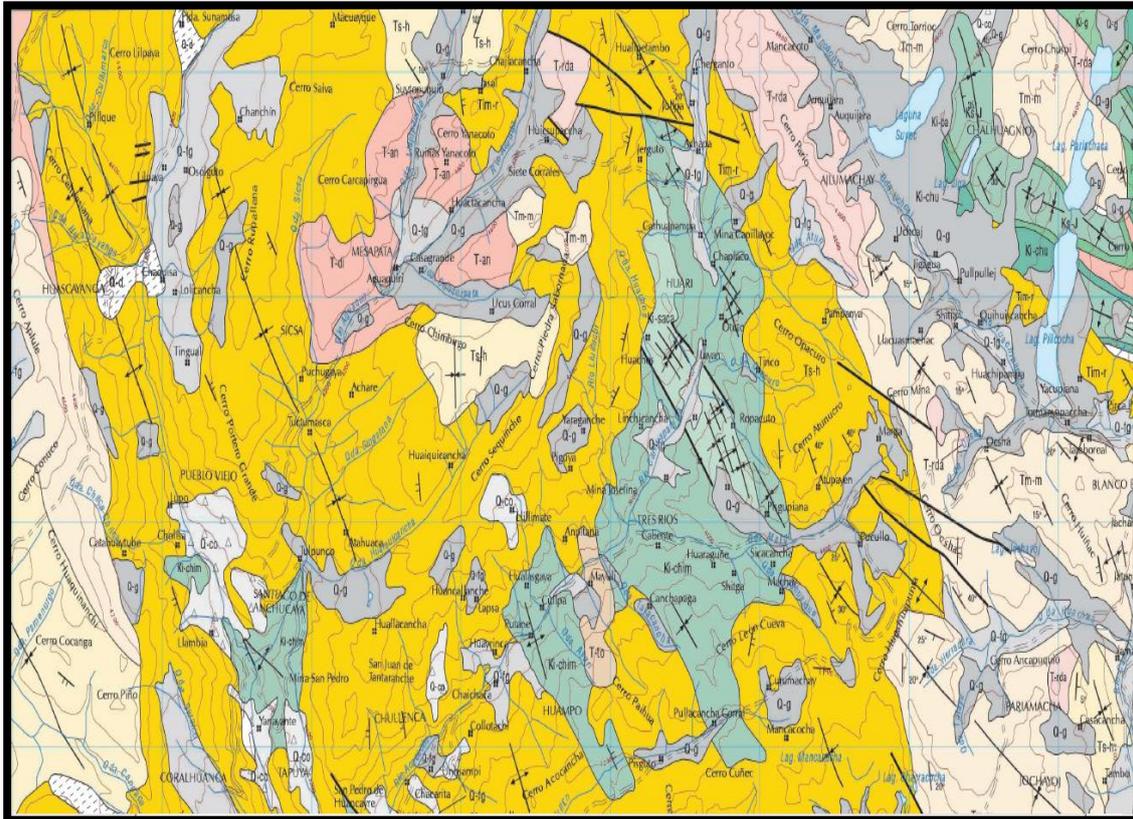
Tomada del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)

2.2.3. Geología local

“La roca que contiene las dos formas mineralizadas se formó a partir de sedimentos continentales del Cretácico, ubicada en los extremos de la mina (este y oeste), denominada formación Casapalca, constituida por dos miembros litológicos: el miembro inferior capas rojas Casapalca, conformada por arenisca rojiza, limonita y lutita, con cierto grado de caliza blanca y un segmento superior denominado conglomerado Carmen, conformado de arenisca arcillosa silicificada rojiza, que se tornó blanca por alteración hidrotermal, con algunas capas lenticulares de conglomerado” (7).

Las intrusiones profundas y poco profundas de diorita-pórfido a granodiorita ocurren en la parte central y noreste del cinturón de vetas y se denominan pórfidos de Taruca y pórfidos de Victoria. En estas rocas volcánicas de la formación Carlos Francisco y rocas intrusivas se encuentran vetas mineralizadas con ensanchamientos y ramificaciones mineralizadas (7).

Hacia el sur, en la parte alta del sinclinal, forma parte de esta, con afloramientos de caliza gris de la formación Bellavista. Estas rocas también facilitan la colocación de vetas de manera económicamente mineralizada (7).



LEYENDA

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS		
			SECTOR OCCIDENTAL	SECTOR ORIENTAL			
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Q-g	Depósitos de deslizamiento			
			Q-co	Depósitos coluviales			
		Q-al	Depósitos aluviales				
		PLEHISTOCENO	Q-fg	Depósitos fluvio-glaciares			
			Q-g	Depósitos glaciares			
	TERCIARIO	SUPERIOR	Ts-hu	Fm. Huarochiri		Ts-p	Volc. Pacococha
			Ts-h	Fm. Huarochiri		Ts-h	Fm. Huarochiri
		MEDIO	Tm-m	Volc. Millotingo		Tm-m	Volc. Millotingo
			Tim-r	Gpo. Rímac		Tim-r	Gpo. Rímac
		INFERIOR	Ti-t	Volc. Tantara			
MESOZOICO	SUPERIOR	Ks-q	Volc. Quilmana	Ks-j	Fm. Jumasha		
				Ki-pa	Fm. Pariatambo		
	INFERIOR	Ki-i	Fm. Imperial	Ki-chu	Fm. Chulec		
				Ki-p	Fm. Pariahuanca		
		Ki-saca	Fms. Santa-carhuaz	Ki-g	Gpo. Goyllarisquizga		
		Ki-f	Fm. Farrat				
			Ki-saca	Fms. Santa Carhuaz			
			Ki-chim	Fm. Chimu			

Figura 3. Mapa geológico.

Tomada del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)

2.2.4. Mineralización

Existen varios tipos de mineralización en el área de la Unidad Minera Americana, principalmente vetas rellenas de fracturas, mantos y

brechas hidrotermales con distintas características y grado de mineralización (7).

“La composición mineralizada de la veta incluye calcopirita, esfalerita, galena, tetraedrita y pequeñas cantidades de proustita, pirargirita, polibasita y electrum. La ganga es cuarzo, pirita y carbonato” (7).

- ✓ **Vetas:** “Son cuerpos tabulares, que van desde 0,20 m a 2,50 m de ancho, que se ensanchan localmente; a medida que atraviesan el conglomerado, forman un cuerpo de relleno de la brecha, formando un ‘cuerpo’ mineralizado más ancho. En el área minera de Casapalca existen cuatro estructuras mayores y otras estructuras menores, las cuales son principalmente carbonatos de manganeso (calcita y rodocrosita)” (7).

- ✓ **Cuerpos:** “forma parte de la estructura mineralizada del área minera y está ubicada al noreste del campamento El Carmen. Hay dos tipos de mineralización” (7):
 - **Relleno de fracturas**, “las vetas van en dirección a las vetas ‘madre’ y su mineralización es galena, tetraedro y carbonato” (7).
 - **Reemplazamiento**, “ocurre después del proceso de formaciones / estratos de arenisca calcárea o reemplaza la matriz clástica o calcárea en conglomerados, tiene minerales de galena y esfalerita” (7).

2.2.5. Geología estructural

El patrón de estructura regional sigue la ruta general de los Andes peruanos (N 10° - 30 °W). Las rocas se pliegan para formar anticlinales y sinclinales (7).

La falla Americana corresponde a este sistema. Las fallas laterales del sistema N 50° E a N 75 °W atraviesan la secuencia litológica y se

desplazan hacia la derecha. Las principales vetas en Casapalca están en su lugar en el sistema del noreste (7).

“Estructuralmente se encuentra formado, Esperanza - Mariana al norte, y la gran estructura Oroya - Oroya Piso - Oroya 1 al sur, exhibiendo mineralización económicamente explotable” (7).

En síntesis, “esta área muestra que los plegamientos están formando pliegues invertidos con ejes paralelos a la dirección general de los Andes”.

“Una de las estructuras más destacadas es el ‘Anticlinorio de Casapalca’, un pliegue moderadamente abierto en el centro de Casapalca, cercano al norte hasta que forma una falla inversa con buzamiento hacia el este” (7).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos aluviales			Arenas, gravas y limos.		
		PLEISTOCENA	Depósitos glaciares			Morrenas		
	NEÓGENO	PLIOCENA	Grupo Jaqui	Formación Mataula	50		Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.	
				Formación Ushno	100		Conglomerados fluviales.	
			Formación Ingahuasi	50		Tobas blancas calcáreas. Disc. eros.		
			Formación Yanacancha	250		Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.		
			Formación Huarochiri	400		Tobas riolíticas y riolíticas con intercalaciones de areniscas.		
	PALEÓGENO	MIOCENA		Formación Millotingo	400		Lava andesítica a dacítica, areniscas volcánicas	
				Formación Castrovirreyna	150		Volcánico - sedimentario con intercalaciones de tobas.	
		OLIGOCENA		Grupo Sacsacero	2015		Tobas riolíticas soldadas, lavas y areniscas volcánicas	
		EOCENA	SUP.					Andesita / Riolita
			MED.	Formación Tantarà	100		Derrames andesíticos a riolíticos, gris verdoso.	
	PALEOCENA					Disc. ang.		
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Formación Casapalca	4000		Lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados de color rojo. Dioritas.		
			Formación Celendin	400		Calizas pardo amarillentas con margas calcáreas, yeso.		
			Formación Jumasha	400		Calizas compactas en estratos gruesos a delgados.		
		INFERIOR	Formación Pariatambo	120		Calizas, lutitas de color negro fétido.		
			Formación Chùtec	220		Calizas gris pardo amarillentas y margas calcáreas.		
			Formación Pariahuanca	260		Calizas y margas calcáreas.		
			Grupo Goyllansquiza	Formación Farrat	700		Areniscas de grano medio blanco a gris rojo.	
				Formación Carhuaz	450		Areniscas con intercalaciones de lutitas violáceas.	
		Formación Santa		100		Caliza gris y arcillitas abigarradas.		
		JURÁSICO	MEDIA		Formación Chaucha	300		Lodolitas y limolitas calcáreas, calizas y dolomitas.
				Formación Cercapuquio	322		Areniscas de grano fino a grueso color blanco a gris.	
	INFERIOR		Grupo Pucará	Formación Condorsinga	1000		Calizas gris azulada con presencia de venillas de calcitas.	
				Formación Aramachay	400		Intercalaciones de caliza con nódulos calcáreos y limoarcillitas carbonosas.	
				Formación Chamberà	300		Calizas micríticas con nódulos de chert.	
	TRIÁSICO	SUPERIOR				Disc. ang.		
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR	Grupo Mitu	1700		Secuencia rítmica molásica, conglomerados con clastos de volcánicos. Intrusivos y brechas volcánicas.		
		INFERIOR	Grupo Copacabana	150		Areniscas, calizas y lutitas de color brunáceo.		
	CARBONÍFERO	SUPERIOR	Grupo Tarma	1300		Lutitas y limolitas grises con intercalaciones de areniscas. Monzogranitos, granitos.		
		INFERIOR	Grupo Ambo	900		Conglomerados, molasas rítmicas, areniscas feldespáticas.		
	DEVONIANO	SUPERIOR	Grupo Cabanillas	780		Secuencias tipo flysh con areniscas, lutitas y pizarras		
		MEDIA						
	INFERIOR							
	SILURIANO ORDOVICIANO		Metasedimentitas no diferenciadas	700		Filitas con escasas intercalaciones de cuarcita, negro grisáceas, basaltos, metatoba y mármoles. Disc. ang.		
	NEOPROTEROZOICA		Complejo Metamórfico	1000		Lutitas seritoesquistosas y paragneises, anfibolitas. Disc. ang.		

Figura 4. Columna estratigráfica.
Tomada del Área de Geología – Compañía Minera Alpayana

2.2.6. Geología económica

La Compañía Minera Alpayana y su unidad minera americana es un yacimiento polimetálico tipo 'Cordillerano' que contiene minerales de plata, plomo, zinc y cobre cuya mineralogía varía con respecto a los zoneamientos verticales y horizontales. Debido a la naturaleza mesotermal de las vetas, tendrán una gran extensión vertical que llegará por debajo de los 3.900 m s. n. m. (7).

Los cuerpos mineralizados se disponen de manera muy irregular, producto de soluciones hidrotermales reemplazando una matriz calcárea, y existe alteración y silicificación que va desde muy leve a regular (7).

Las principales vetas casi paralelas, son:

- Veta Esperanza – Mariana - Mercedes
- Veta Oroya principal (dos ramales)
- Ramal Norte, veta Oroya 1 u Oroya Este (misma veta)
- Ramal Sur, veta Oroya - Americana - prolongación Eloida
- Veta Don Reynaldo
- Veta Juanita con ramal Victoria
- Veta Escondida el cual corresponde a un *split* de la veta Mariana

2.2.7. Método de explotación

“El método de minado utilizado por la unidad minera Americana (Compañía Minera Alpayana) es sub level stoping, lo que permite una explotación continua a gran escala; bajos costos de operación en comparación con otros métodos de explotación, principalmente por su alta productividad” (7).

“Debido a las limitaciones de los métodos convencionales y la necesidad de aumentar la producción, Compañía Minera Alpayana y su unidad minera americana, introdujo la extracción por etapas, sub level stoping por taladros largos para bancos de perforación verticales de 15 m a 30 m” (7).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Sostenimiento en minería

- a) “El sostenimiento de labores subterráneas es una tarea difícil y compleja, cuyo objetivo principal es garantizar la seguridad y eficiencia de los métodos de explotación utilizados por quienes trabajan en la extracción de minerales. Al realizar excavaciones subterráneas, las tensiones naturales existentes pueden desequilibrarse y causar fracturas en ciertas áreas alrededor de la excavación, que deben controlarse utilizando métodos empíricamente respaldados” (8).
- b) “En minería subterránea, donde las actividades son de alto riesgo y los trabajadores enfrentan deslizamientos y derrumbes que pueden causar la muerte, se ven obligados a invertir en sistemas de soporte cada vez más seguros dadas las propiedades del macizo rocoso. El soporte de roca es un procedimiento y material utilizado para aumentar la estabilidad y mantener la resistencia a las cargas creadas cerca del perímetro de la excavación subterránea” (8).
- c) “Los diseños de soporte se han mejorado a lo largo de los años para incluir diseños de hormigón proyectado, pernos ranurados (pernos *split set*), pernos de expansión (pernos *swellex*), hidropernos (*hidrabolt*) y mallas. De esta manera, se puede reducir gradualmente la ocurrencia de accidentes por desprendimiento de rocas y se puede mejorar la tasa de recuperación de mineral en terrenos de calidad mala a extremadamente mala” (8).

“La estabilidad de la roca alrededor de excavaciones simples, tales como tajos (Tj), galerías(Gl), cruceros(Xc), piques, rampas(Rp), bypass (Bp) etc., depende de la tensión y las condiciones estructurales del macizo rocoso. La inestabilidad local se rige por los cambios de tensión locales, la presencia de características estructurales y el grado de daño al macizo rocoso causado por las voladuras. En esta escala local, el soporte es importante porque aborda la estructura del macizo rocoso y los problemas de tensión, controla el movimiento y reduce posibilidad de accidentes” (9).

Para minería se describen algunos de los tipos de sostenimiento más utilizados:

a) Pernos de varillas cementados o con resina

“Formado por una varilla de hierro o acero con un extremo biselados, que se encuentra confinada dentro del taladro mediante cemento (inyectado o cartucho) y resina (en cartucho). La adherencia entre ellos, que a su vez actúa como efecto anticorrosivo, aumenta la vida útil de los pernos. Según esta función, el agente cementante recomendado es la resina en presencia de agua, especialmente en agua ácida, y el cemento en ausencia de agua” (9).

“De este tipo de pernos, el más utilizado es el de fierro corrugado, que generalmente tiene un diámetro de 20 mm, con un diámetro de hélice de 22 mm y longitudes variables (de 5' a 12'). Entre otras cosas, su mayor diámetro le otorga mayor resistencia, y su rosca constante permite el reajuste de la placa a la pared de roca. La capacidad de anclaje del fierro corrugado es del orden de 12 TM, mientras que la capacidad de anclaje de la varilla helicoidal supera las 18 TM” (9).

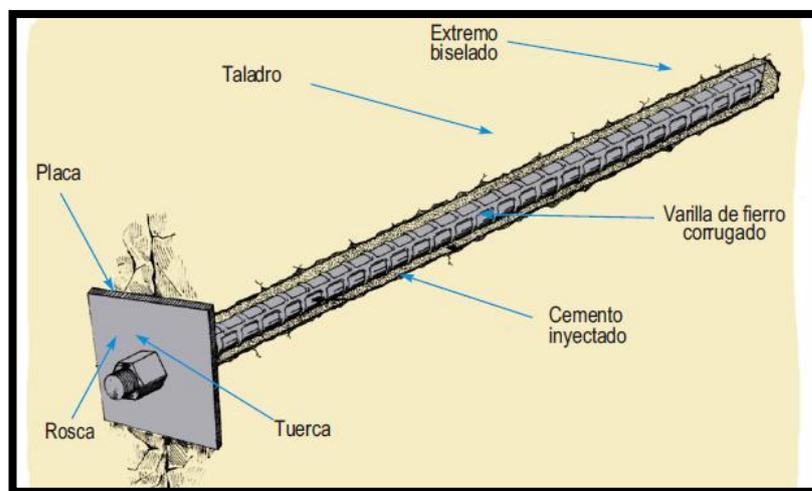


Figura 5. Perno de varilla corrugada.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

b) Split sets

“Consta de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, cónico en un extremo y un anillo soldado en el otro extremo para sujetar la platina. Cuando el perno a presión se inserta en el orificio de menor diámetro, ejerce una presión radial sobre la pared del orificio en toda su longitud, cerrando parcialmente la ranura en el proceso. La fuerza de fricción en contacto con la superficie del orificio y la superficie exterior del tubo

ranurado constituye el anclaje, que resistirá el movimiento o la separación de la roca alrededor del perno, ejerciendo así indirectamente la tensión de carga” (9).

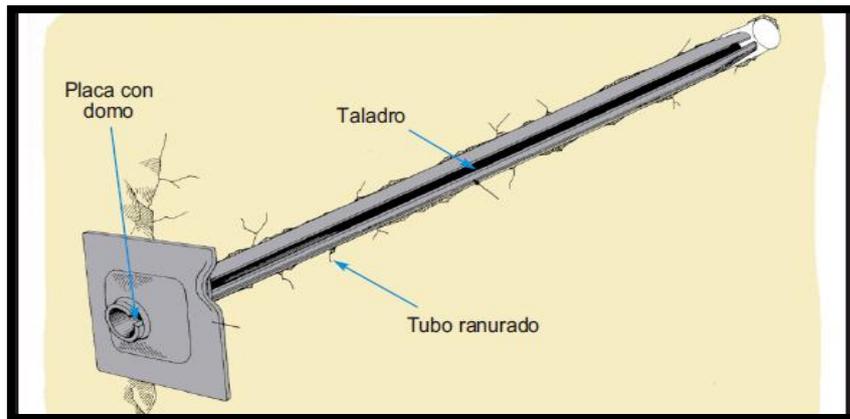


Figura 6. Perno de fricción – split set.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

“El Split Set se usa principalmente para el refuerzo temporal, generalmente formando un sistema de refuerzo combinado en el suelo de calidad media a baja. No se recomienda en rocas fuertemente fracturadas y frágiles” (9).

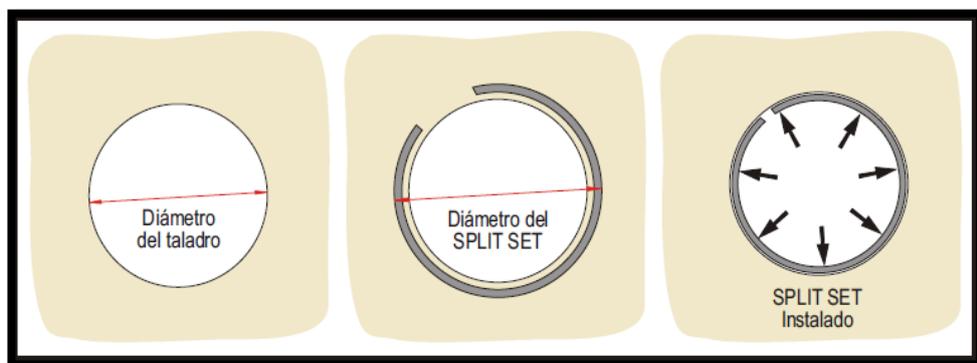


Figura 7. Mecanismo de anclaje del split set.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

c) Malla metálica

Sirve para los siguientes tres propósitos:

- ✓ Prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca.
- ✓ Retener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos, actuando en este caso como un elemento de seguridad.
- ✓ Refuerzo del shotcrete.

Hay dos tipos de mallas: eslabonadas y electrosoldadas.

- **La malla eslabonada o denominada también malla tejida**, “consiste en una malla de alambre, generalmente #12/10, con anillos de 2” x 2” o 4” x 4”, y está hecho de acero negro que se puede galvanizar para evitar la corrosión”.

“Debido a la forma de tejido, es muy flexible y duradero, pero no es adecuada para usarse como refuerzo para hormigón proyectado debido a la dificultad de hacer pasar el hormigón a través de la rejilla y no se recomienda para este fin” (9).

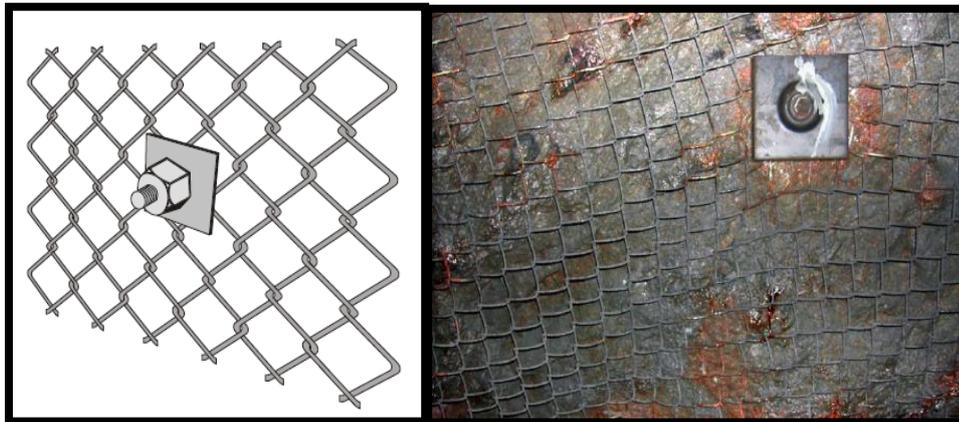


Figura 8. Malla eslabonada o tejida.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

- **La malla electrosoldada**, “consta de rejilla de alambres soldados en sus intersecciones, generalmente #10/08, con cocadas de 4” x 4”, y está hecha de acero negro galvanizado. Esta malla se recomienda como refuerzo de hormigón proyectado, viene en rollos o planchas. Los

rollos miden 25 m de largo x 2,0 m de ancho y la plancha suele tener 3,0 m de largo x 2,0 m de ancho” (9).

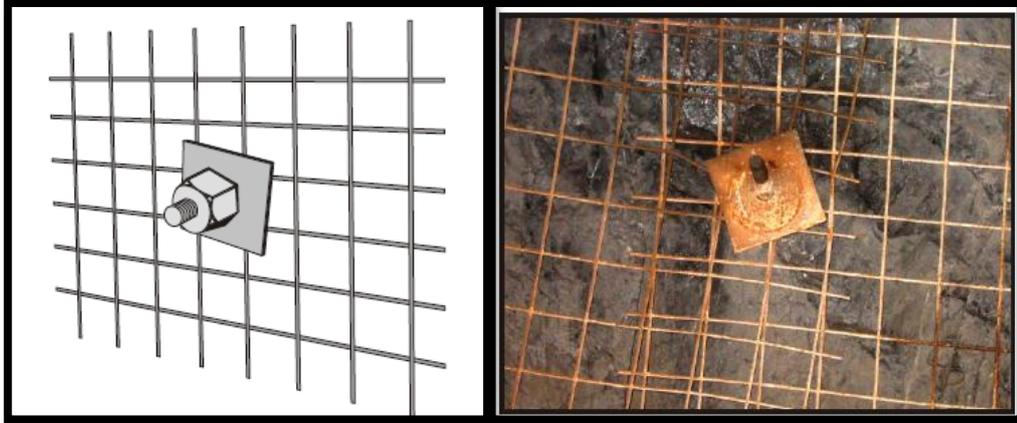


Figura 9. Malla electrosoldada.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

d) Concreto lanzado (*shotcrete*)

“Es un término genérico para el hormigón, donde los materiales empleados son cemento, áridos, agua, aditivos y elementos de refuerzo, son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre la superficie. El hormigón proyectado incluye procesos de mezcla seca y mezcla húmeda” (9).

- ✓ “En el proceso de mezcla seca, los componentes de hormigón proyectado secos o ligeramente prehumedecidos se introducen en una tolva y se mezclan continuamente. El aire comprimido se introduce a través de un tambor giratorio o caja de alimentación para entregar el material en un flujo continuo a la manguera de suministro. Se agrega agua a la mezcla en la boquilla” (9).

- ✓ “En el mezclado húmedo, los componentes del hormigón proyectado y el agua se mezclan antes de enviarse a una unidad de bombeo de desplazamiento positivo, donde la mezcla se entrega hidráulicamente a una boquilla donde se agrega aire para rociar el material sobre la boquilla” (9).

“El producto final del proceso de hormigón proyectado, húmedo o seco, es similar. Los sistemas de mezcla seca tienden a usarse más ampliamente en minería subterránea, porque generalmente usan equipos pequeños y compactos que se pueden mover alrededor de la mina con relativa facilidad. Los sistemas de mezcla húmeda son ideales para aplicaciones de gran volumen, como pozos profundos o trabajos de largo avance, donde el equipo de aplicación de hormigón proyectado puede operar de forma más o menos continua. La decisión de usar un proceso de hormigón proyectado húmedo o seco generalmente se toma según el sitio” (9).

“Los aditivos se utilizan para mejorar las propiedades del hormigón proyectado, estos pueden ser aceleradores, que no deben superar el 2 % en peso de cemento, reductor de agua y retardador. Más recientemente, se introdujo la microsílíce como aditivo para el cemento, una puzolana extremadamente fina que se usa en cantidades que van del 8 % al 13 % en peso de cemento para duplicar o incluso triplicar la resistencia del hormigón proyectado y, al mismo tiempo, reducir la recuperación elástica. Mejora capas de hasta 200 mm de espesor. Colocado en un solo paso debido a su calidad "pegajosa", pero en mezclas húmedas esta pegajosidad reduce la trabajabilidad y se requieren superplastificantes para restaurar esta facilidad de aplicación” (9).

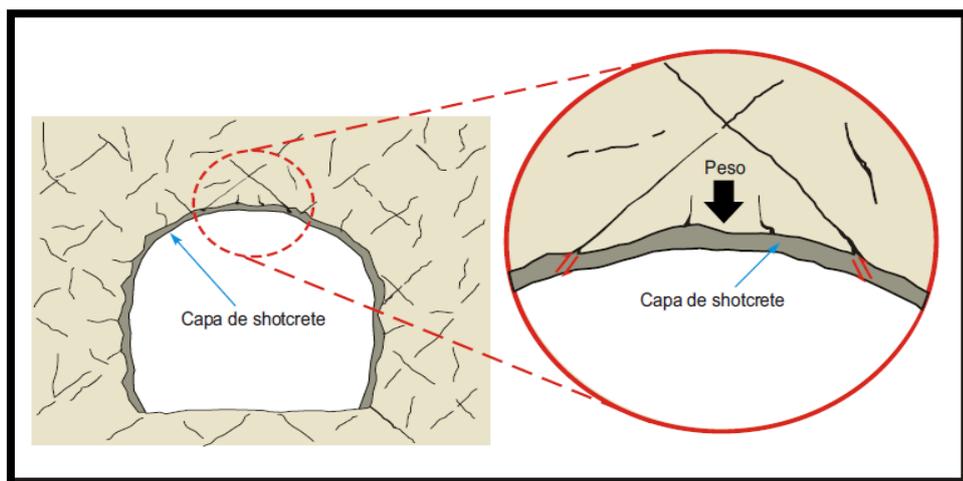


Figura 10. Aplicación de shotcrete.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

e) Cimbras metálicas

“Soportes pasivos que se utilizan a menudo para sostenimiento permanentes de labores de avance, que trabajan bajo condiciones del macizo rocoso muy fracturadas o muy débiles, sujetos a condiciones de alto esfuerzo” (9).

“El soporte está hecho de perfiles de acero. De acuerdo con los requisitos de la forma de la sección de excavación, es decir, la forma de un baúl, una herradura o incluso un círculo. Existen dos tipos de cimbras, los denominados "rígidos" y los "deslizantes". Los primeros perfiles de uso común como W, H e I, constan de dos o tres secciones, y están conectados por una placa y un perno con una tuerca. El segundo utiliza perfiles, como los de V y U, que suelen constar de tres partes que se deslizan entre sí, se sujetan y se ajustan con uniones de tornillo” (9).

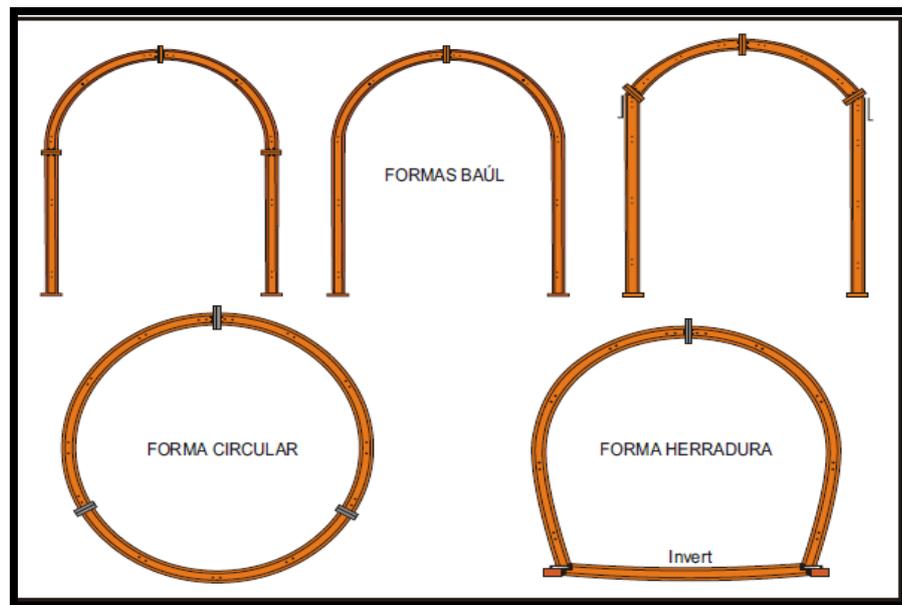


Figura 11. Cimbras rígidas.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

“Los accesorios de este sistema de soporte son los tirantes de unión (tirantes de conexión), el encostillado o enrejado y los elementos de bloqueo (muros). Los tirantes pueden consistir en varillas de hierro lisas o corrugadas, generalmente de 1 pulgada de diámetro, u otros elementos estructurales. El encostillado o enrejado se puede hacer de planchas metálicas y, en algunos casos, de tablas de madera. El elemento de

bloqueo puede de madera o bolsacretos, este último es una bolsa que contiene agregado de cemento, una vez colocado entre el encofrado y el muro de roca, se rocía agua para fraguar; el concreto débil así formado proporciona suficiente fuerza de bloqueo, para transferir la carga uniformemente a las cimbras” (9).



Figura 12. Instalación de cimbras.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

2.3.2 Evaluación geomecánica

“Según Cook, la geomecánica es el estudio de las propiedades mecánicas de las rocas, determinan su comportamiento en función de los cambios de tensión, presión, temperatura y otros parámetros ambientales” (2).

2.3.3. Índice de designación de la calidad de la roca según Deere (RQD)

Es una medida del porcentaje de roca en un pozo que normalmente se clasifica como "buena". Originalmente, el índice se utilizó para caracterizar el macizo rocoso para determinar si sería beneficioso para la construcción de túneles (10).

Tiene la ventaja de ser sencillo de aplicar, además de identificar zonas donde se encuentra roca de mala calidad, lo que puede afectar negativamente a la estructura realizada (10).

2.3.4. Índice de designación de la calidad de la roca según Palmstrom

El RQD se puede estimar mediante el número de discontinuidades por unidad de volumen que son observables en afloramientos rocosos o socavones.

También, la relación propuesta para el macizo rocoso libre de arcilla es:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

Dónde:

J_v: “es la suma de los números de discontinuidad por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades”.

2.3.5. Parámetros del RMR

El RMR realiza la clasificación del macizo rocoso y estima el tiempo de sostenimiento. Emplea los siguientes parámetros. (11)

- 1) Resistencia compresiva del material rocoso (MPa)
- 2) Designación de la calidad de la roca (RQD)
- 3) Espaciamiento de las discontinuidades
- 4) Condición de las discontinuidades
- 5) Condiciones del agua subterránea
- 6) Orientación de las discontinuidades

2.3.6. Condiciones de estabilidad

“Realizar la explotación en la dirección favorable del avance, significa tener más ventajas sobre las condiciones de estabilidad de la excavación y minar en la dirección menos favorable puede alterar y debilitar la estabilidad de la masa rocosa, generando un peligro constante de desprendimiento de roca” (9).

- Cuando las condiciones de excavación son desfavorables.

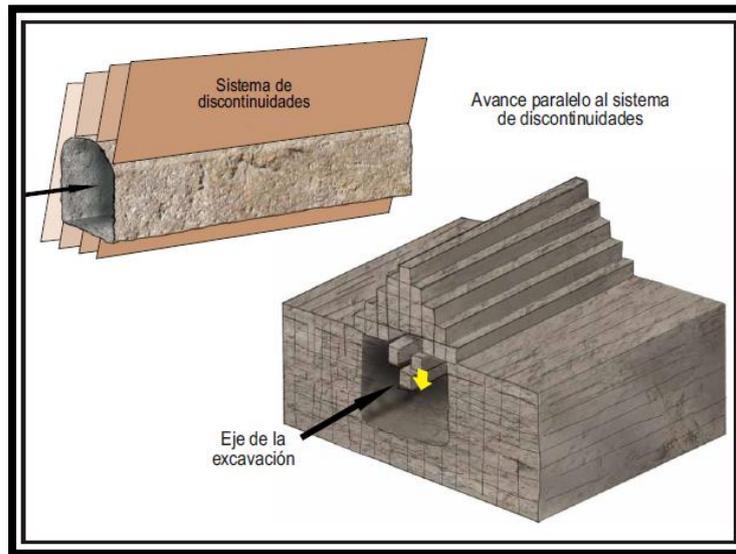


Figura 13. Cuando la dirección de la labor es paralela a los estratos. Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

- Cuando las condiciones de excavación son favorables.

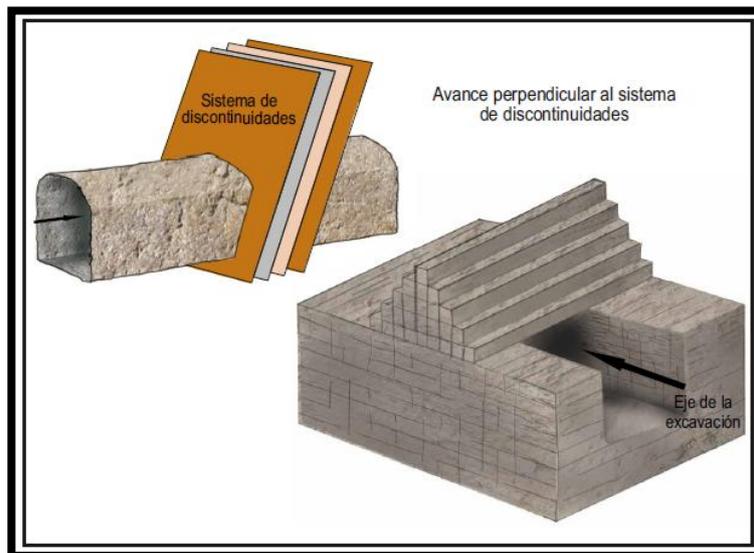


Figura 14. Cuando la dirección de la labor es perpendicular a los estratos. Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

A continuación, el manual geomecánico de GSI, utilizado en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Alpayana, se utiliza para estimar los tipos de soporte en función de las descripciones geológicas.

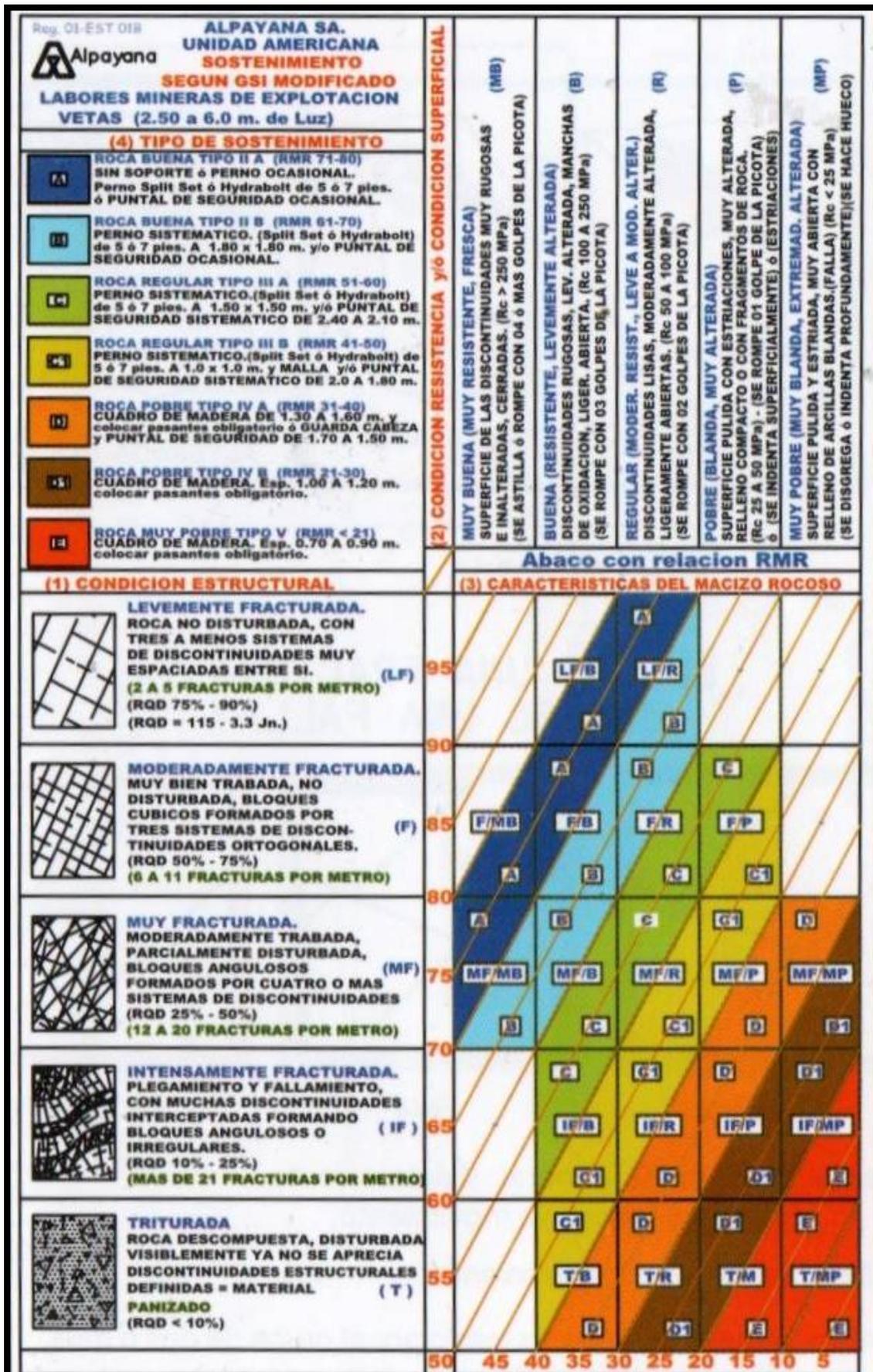


Figura 15. Cartilla geomecánica de la Unidad Minera America.
 Tomada del Departamento de Geomecánica – Compañía Minera Alpayana.

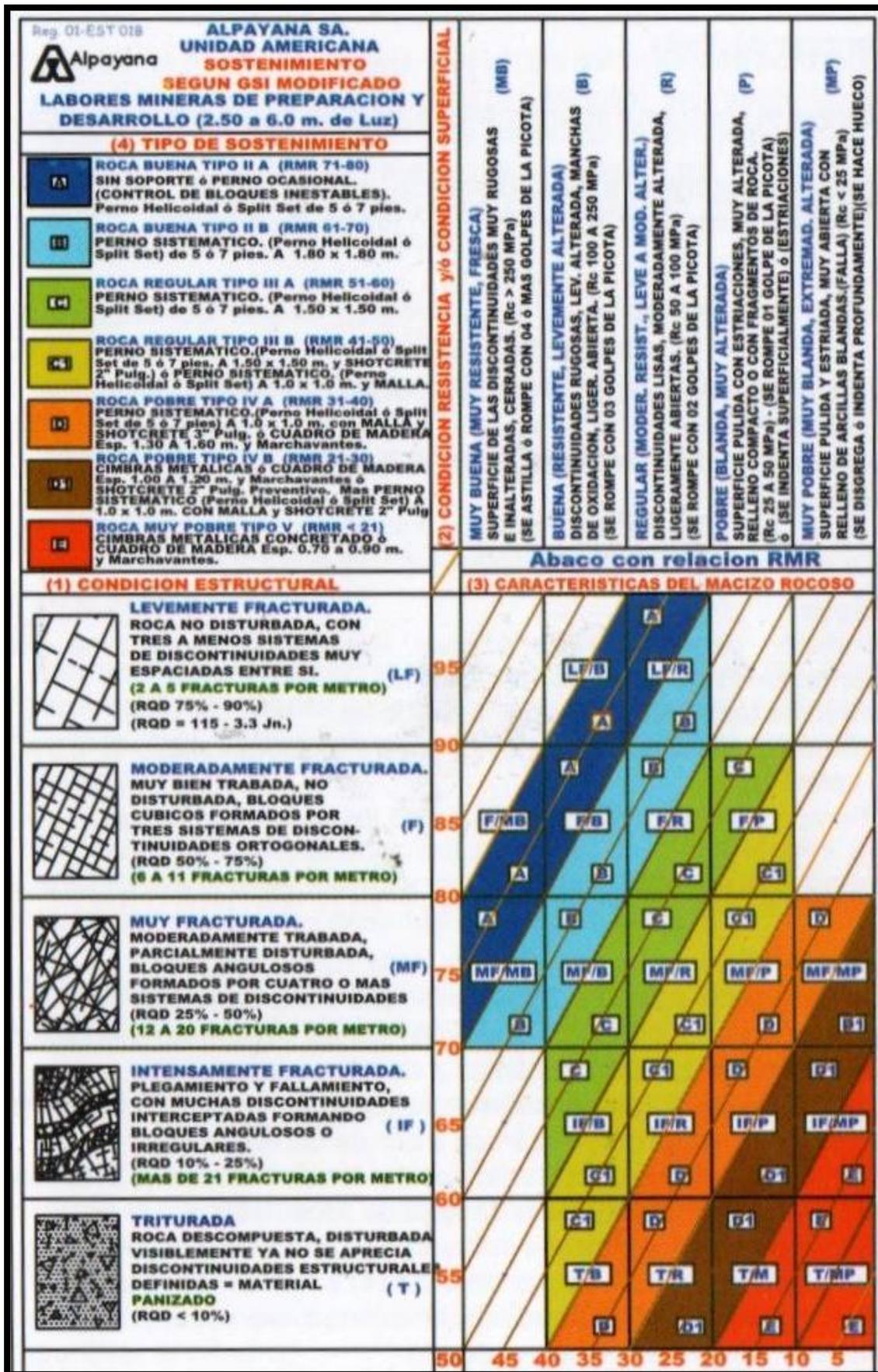


Figura 16. Cartilla geomecánica de la Unidad Minera Americana.
 Tomada del Departamento de Geomecánica – Compañía Minera Alpayana.

2.3.7. Propiedades del macizo rocoso o parámetros de clasificación

a. Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)

Llamamos resistencia a la compresión simple o uniaxial de una roca al esfuerzo medido sobre sí.

Es el parámetro que define los criterios de rotura y comportamiento geomecánico de un macizo rocoso.

Los ensayos de laboratorios requieren muestras preparadas y de un tiempo considerable para conocer su resultado, lo que representa un alto costo.

Los ensayos de compresión simple en laboratorios pueden ser estimados mediante índice de campo descrito.

Tabla 3. Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)

Descripción	Resistencia de la compresión	Golpes de picota
Muy alta	>250	Solo se astilla con varios golpes de picota
Alta	100-250	Se rompe con más de 3 golpes de picota
Media	50-100	Se rompe con 1 a 3 golpes de picota
Baja	25-50	Se indenta superficialmente con la punta de la picota
Muy baja	>25	Se indenta profundamente con la punta de la picota

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

b. Cálculo del RQD

Es estimado a partir de:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

Dónde: “ J_v es la suma del número de discontinuidades por unidad de longitud”.

Tabla 4. Índice de calidad según Palmstrom

RQD	Calidad de la roca
0-25 %	Muy mala
25-50 %	Mala
50-75 %	Regular
75-90 %	Buena
90-100 %	Excelente

Nota: tomada de la Estimación según Palmstrom

c. Espaciamiento entre discontinuidades

“Es la distancia entre discontinuidades adyacentes, que debe ser medido perpendicularmente. Esto influye en el comportamiento del macizo rocoso, cuanto más pequeños estén espaciados, más pequeños serán los bloques, cuanto más espaciados estén, más grandes serán los bloques” (9).

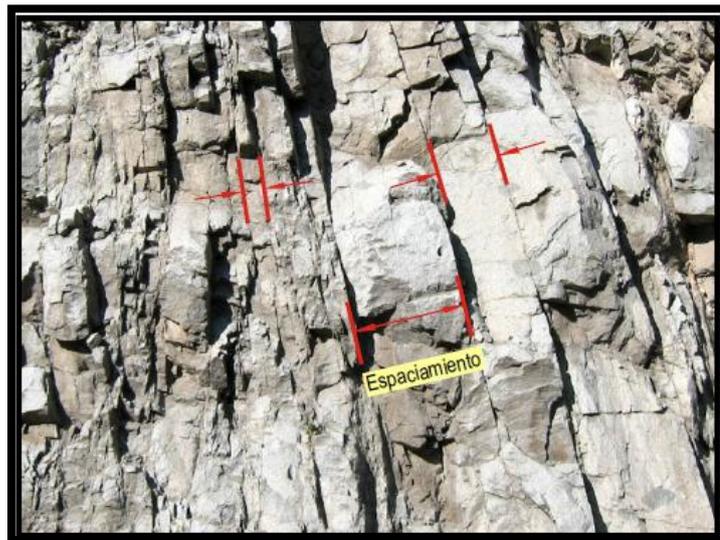


Figura 17. Espaciado de una discontinuidad.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 5. Clasificación en función al espaciamiento entre discontinuidades

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipos de macizo rocoso
Muy ancho	> 2 m	Sólido
Ancho	0.6 – 2 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0.2 - 0.6 m	En bloques
Cerrado	0.06 - 0.2 m	Fracturado
Muy cerrado	< 0.06 m	Machacado

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

d. Condición de las juntas

Permite describir ciertos parámetros de las discontinuidades, estas son:

- **La persistencia**, “es una extensión o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor es la persistencia, más estable es el macizo rocoso, cuanto mayor, más inestable es” (9).

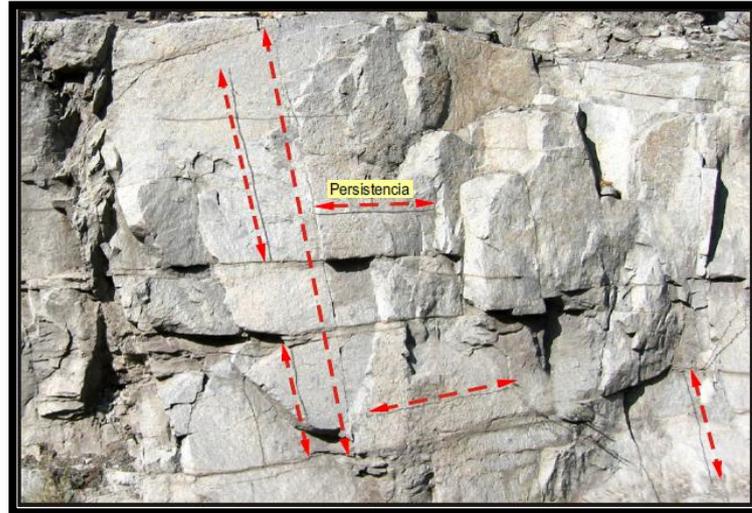


Figura 18. Persistencia de discontinuidades.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 6. Clasificación en función a la persistencia de una discontinuidad

Grado	Descripción	Separación de las caras	Rango RMR
1	Muy pequeña	<1m	6
2	Pequeña	1-3m	4
3	Mediana	3-10m	2
4	Alta	10-20m	1
5	Muy alta	>20m	0

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

- **La apertura**, “es la separación entre paredes rocosas discontinuas o el grado de apertura que presenta. Cuanto menor sea la apertura, mejor será la condición del macizo rocoso, y cuanto mayor sea la apertura, más desfavorable será la condición” (9).

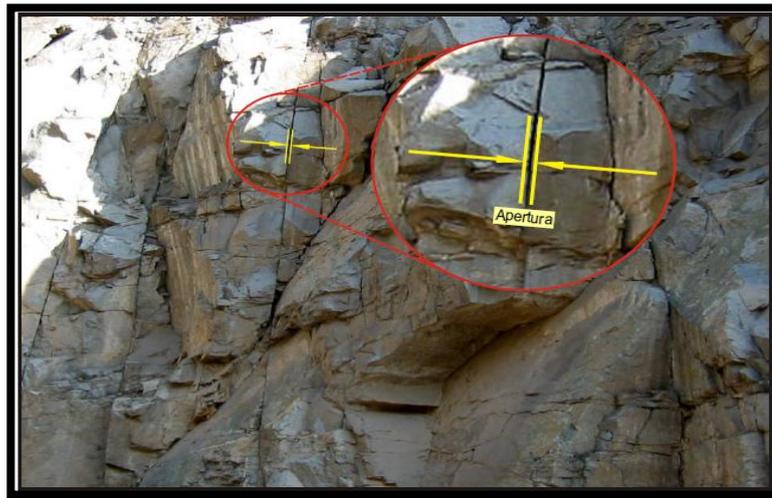


Figura 19. Apertura de una discontinuidad.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 7. Clasificación en función de la apertura de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Rango RMR
1	Abierta	>5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1-5 mm	2
3	Cerrada	0.1-1 mm	4
4	Cerrada	<0.1 mm	5
5	No tiene	0	6

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

- **La rugosidad**, “es el grado de aspereza en la superficie de la discontinuidad. A menor rugosidad, menos competente y cuanto mayor sea esta, el macizo rocoso será más competente” (9).

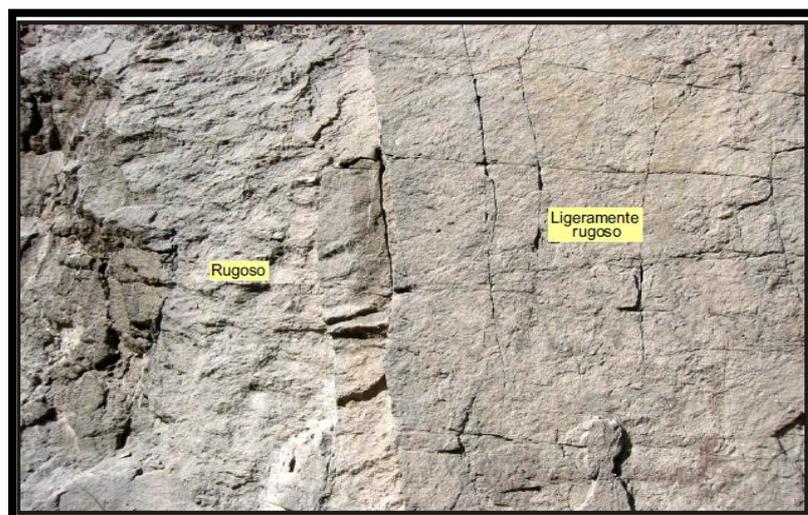


Figura 20. Grado de rugosidad de discontinuidades.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 8. Clasificación en función a la rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	4
3	Ligeramente rugosa	2
4	Suave	1
5	Espejo de falla	0

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

- **El relleno**, “es el material que está entre los bordes de una discontinuidad, existe una gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables” (5).

“Si este material es suave, es menos competente el macizo rocoso y cuando estos son duros, esta es más competente” (9).



Figura 21. Relleno de discontinuidades.
Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 9. Clasificación en función del relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Relleno suave > 5 mm	0
2	Relleno suave < 5 mm	1
3	Relleno duro > 5 mm	2
4	Relleno duro < 5 mm	4
5	Limpio	6

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

- **La intemperización de una roca**, “también conocido como meteorización, se relaciona con la modificación de la superficie de la roca a factores atmosféricos, condiciones climáticas, morfológicas y de la composición del macizo rocoso” (9).



Figura 22. Masa rocosa intemperizada.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 10. Clasificación en función de la intemperización de una roca

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Descompuesta	0
2	Muy intemperizada	2
3	Moderadamente intemperizada	3
4	Ligeramente intemperizada	5
5	Sana	6

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

e. Clasificación del RMR según la presencia del agua

“El agua tiene gran influencia en un macizo rocoso fracturado, en base a su comportamiento, procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades, aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa pueden ser también importantes” (5).

Tabla 11. Clasificación según la presencia de agua de las discontinuidades

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Seco	15
2	Húmedo	10
3	Mojado	7
4	Goteo	4
5	Flujo	0

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

f. Clasificación del RMR según la orientación de las discontinuidades

“Es la posición en el espacio de una discontinuidad, empleando su rumbo y buzamiento. Si el conjunto de discontinuidades son casi paralelas, forman una familia o sistema de discontinuidades” (9).



Figura 23. Orientación de discontinuidades.

Tomada de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (9).

Tabla 12. Clasificación en función a la orientación de las discontinuidades

Calificativo	Rango RMR
Muy favorable	0
Favorable	-2
Regular	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Nota: tomada de Eduin Michel Cáceres, 2017 (12).

2.3.8. Pasos para el cálculo del RMR (*Rock Mass Rating*)

Se realizó lo siguiente para calcular el RMR de Bieniawski:

- ✓ Al sumar las 5 variables calculadas da un resultado llamado “índice”.
- ✓ El parámetro 6 hace referencia a la dirección de la discontinuidad, considerando que es “regular”, por lo tanto, al obtener el valor índice de

la dirección discontinua, restarlo del valor obtenido por la suma de los 5 parámetros anteriores.

2.3.9. Diseño de sostenimiento

“Para un adecuado sostenimiento se establece el estándar empleado por la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Alpayana, en base al tipo de roca según el RMR”:

Tabla 13. Estándar de sostenimiento – Unidad Minera Americana.

Tipo de roca	RMR ajustado	Sostenimiento
II A	71 - 80	P. ocasional (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7')
II B	61 - 70	P. sistemático a 1.80 x 1.80 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7')
III A	51 - 60	P. sistemático a 1.50 x 1.50 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7')
III B	41 - 50	P. sistemático a 1.80 x 1.80 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') y <i>shotcrete</i> 2" o P. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') y malla
IV A	31 - 40	P. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') o malla y <i>shotcrete</i> 3" o cuadro de madera (Esp. 1.30 a 1.60 m) y marchavantes
IV B	21 - 30	Cimbras metálicas o cuadros de madera (Esp. 1.00 a 1.20 m) y marchavantes o <i>shotcrete</i> 2" más P. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla
V	< 21	Cimbra metálica concretada o cuadro de madera (Esp. 0.70 a 0.90 m) y marchavantes

Nota: tomada del Departamento de Geomecánica – Compañía Minera Alpayana

2.4 Definición de términos básicos

a) Concreto lanzado (*shotcrete*): “término general para el hormigón, donde los materiales constituyentes son cemento, áridos, agua, aditivos y elementos de refuerzo, que se aplican neumáticamente y se compactan dinámicamente a velocidad elevada sobre la superficie. La tecnología de hormigón proyectado incluye procesos de mezcla seca y mezcla húmeda” (11).

b) Geomecánica: “se basa en las teorías y conceptos de mecánica de rocas y mecánica de suelos, estudia las características mecánicas de los materiales geológicos que constituyen las rocas de formación” (11).

- c) **GSI:** “Es el índice de resistencia geológica, como complemento a su criterio generalizado de falla en roca, también estima la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diferentes condiciones geológicas” (13).
- d) **Índice de designación de la calidad de la roca (RQD):** desarrollado por Deere “brinda un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de la perforación diamantina” (10).
- e) **Macizo rocoso:** “es una colección de matrices rocosas y sus discontinuidades que exhiben un comportamiento heterogéneo, discontinuo y a menudo anisotrópico debido a la naturaleza, frecuencia y orientación de las discontinuidades que determinan su comportamiento geomecánico e hidráulico” (11).
- f) **Perno helicoidal:** “es un perno que actúa por adherencia o transmite su carga por adherencia, consta de una barra helicoidal de acero de sección ovalada con resaltes en forma de un hilo helicoidal izquierdo, funciona con un sistema de fijación formado por placas de acero perforadas y tuercas de fundición dúctil para complementar y reforzar la resistencia natural del macizo rocoso” (5).
- g) **RMR:** “*Rock Mass Rating*, clasificación de Bieniawski utilizado en todas sus modificaciones para estimar el tiempo de soporte de la labor”.
- h) **Sostenimiento:** “operación minera que resuelve problemas de esfuerzos de la estructura del macizo rocoso, controla el movimiento, reduce la probabilidad de falla de los perímetros de excavación y tiene como prioridad crear un ambiente de condiciones seguras para las personas en diferentes áreas” (5).
- i) **Split sets:** “tubo ranurado a lo largo que se estrecha en un extremo y tiene un anillo soldado en el otro extremo para sujetar la platina. Dichos pernos se usa principalmente para refuerzo temporal, generalmente formando un sistema de refuerzo combinado en el terreno de calidad media a mala. No se recomienda en rocas fuertemente fracturadas y frágiles” (11).

CAPÍTULO III

MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1 Métodos de la investigación

a) Método descriptivo

Se ha utilizado para describir y especificar todos los aspectos, contextos y situaciones relacionados a la evaluación geomecánica para determinar el tipo de soporte en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, de la unidad minera Americana.

b) Método inductivo

Se ha aplicado para inferir la información recolectada. En este contexto se ha inferido los resultados de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de soporte en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, de la unidad minera Americana.

3.1.2 Alcance de la investigación

a) Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque permite validar el conocimiento técnico y práctico sobre la aplicación de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de soporte en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, de la unidad minera Americana.

b) Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo - correlacional porque estudia la influencia de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de soporte en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, de la unidad minera Americana.

3.2. Diseño de investigación.

El diseño de investigación es de tipo descriptivo-simple, ya que se recopiló información de una situación determinada como objeto de estudio.

El diseño de investigación descriptiva simple es graficado de la forma siguiente:



Donde

- La M representa a la muestra final
- La O representa la información recopilada de la muestra

3.3. Población y muestra

3.3.1 Población

Labores mineras del nivel 21

3.3.2. Muestra

El XC 876 del nivel 21

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

a) Directas

A través de esta técnica se analizaron diversas fuentes informativas como libros, revistas, tesis, publicaciones, etc.

b) La observación directa e indirecta

Se hizo la observación directa sobre la presencia de discontinuidades en las cajas o hastiales y techo del macizo rocoso del XC 876 del nivel 21.

3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Se utilizó como instrumento de campo para la investigación, lo siguiente:

- Tesis
- Informes
- Planos
- Internet
- Laptop
- Libros

3.4.3 Metodología de trabajo

Se propone y detalla la siguiente metodología de trabajo para lograr los objetivos planteados:

- Evaluación geomecánica semanal para verificar el sostenimiento óptimo en la labor minera para el control del equilibrio del macizo rocoso.
- Reuniones diarias operativas para verificar el cumplimiento de observaciones geomecánicas.
- Implementar alternativas de sostenimiento mecanizado para evitar la exposición de personal a zonas muy fracturadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso

4.1.1. Caracterización geomecánica del XC 876 del nivel 21

Registro de datos sobre características geomecánicas, un método por el cual las discontinuidades se miden sistemáticamente.

La presente medición se realizó en la **Progresiva 40 – Progresiva 50** del XC 876 del nivel 21.

Tabla 14. *Medición 1*

	Medición 1
Labor	XC 876
Tipo de labor	Permanente
Fracturamiento	21 fracturas/metro
Sección	3 x 3 m
Resistencia	Se rompe con 2 golpes de la picota
Espaciamiento	0.1 m
Persistencia	6 m
Apertura	1 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Goteo
Ajuste por orientación	Regular -5

Tabla 15. Medición 2

Medición 2	
Labor	XC 876
Tipo de labor	Permanente
Fracturamiento	24 fracturas/metro
Sección	3 x 3 m
Resistencia	Se rompe con 2 golpes de la picota
Espaciamiento	0.1 m
Persistencia	3 m
Apertura	0.8 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Goteo
Ajuste por orientación	Regular -5

Tabla 16. Medición 3

Medición 3	
Labor	XC 876
Tipo de labor	Permanente
Fracturamiento	26 fracturas/metro
Sección	3 x 3 m
Resistencia	Se rompe con 2 golpes de la picota
Espaciamiento	0.1 m
Persistencia	4 m
Apertura	2 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Goteo
Ajuste por orientación	Regular -5

La presente medición se realizó en la **Progresiva 80 – Progresiva 90** del XC 876 del nivel 21.

Tabla 17. Medición 1

Medición 1	
Labor	XC 876
Tipo de labor	Permanente
Fracturamiento	23 fracturas/metro
Sección:	3 x 3m
Resistencia	Se indenta con 1 golpe de picota
Espaciamiento	0.1 m
Persistencia	6 m
Apertura	3 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Goteo
Ajuste por orientación	Regular -5

Tabla 18. *Medición 2*

Medición 2	
Labor	XC 876
Tipo de labor	Permanente
Fracturamiento	25 fracturas/metro
Sección	3 x 3 m
Resistencia	Se indenta con 1 golpe de picota
Espaciamiento	0.3 m
Persistencia	4 m
Apertura	3 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Goteo
Ajuste por orientación	Regular -5

Tabla 19. *Medición 3*

Medición 3	
Labor	XC 876
Tipo de labor	Permanente
Fracturamiento	27 fracturas/metro
Sección:	3 x 3 m
Resistencia	Se indenta con 1 golpe de picota
Espaciamiento	0.2 m
Persistencia	5 m
Apertura	2 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa.
Relleno	Suave mayor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Goteo
Ajuste por orientación	Regular -5

4.1.2. Análisis y cálculo del RQD

A) Punto de medición: Progresiva 40 – Progresiva 50 del XC 876 del nivel 21

▪ **Medición 1: (hastial derecho)**

– Durante la medición se registró 21 f/m, por lo que aplicaremos la teoría de Palmstrom para calcular el RQD.

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 J_v}$$

$$RQD = 115 - 3.3 (21)$$

$$RQD = 115 - 69$$

$$RQD = 46 \%$$

▪ **Medición 2: (hastial izquierdo)**

- Durante la medición se registró 24 f/m, por lo que aplicaremos la teoría de Palsmtrom para calcular el RQD.

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 Jv}$$

$$RQD = 115 - 3.3 (24)$$

$$RQD = 115 - 79$$

$$RQD = 36 \%$$

▪ **Medición 3: (techo)**

- Durante la medición se registró 26 f/m, por lo que aplicaremos la teoría de Palsmtrom para calcular el RQD.

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 Jv}$$

$$RQD = 115 - 3.3 (26)$$

$$RQD = 115 - 86$$

$$RQD = 29 \%$$

B) Punto de medición: Progresiva 80 – Progresiva 90 del XC 876 del nivel 21

▪ **Medición 1: (hastial derecho)**

- Durante la medición se registró 23 f/m, por lo que aplicaremos la teoría de Palsmtrom para calcular el RQD.

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 Jv}$$

$$RQD = 115 - 3.3 (23)$$

$$RQD = 115 - 75$$

$$RQD = 40 \%$$

▪ **Medición 2: (hastial izquierdo)**

- Durante la medición se registró 25 f/m, por lo que aplicaremos la teoría de Palsmtrom para calcular el RQD.

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 Jv}$$

$$RQD = 115 - 3.3 (25)$$

$$RQD = 115 - 79$$

$$RQD = 33 \%$$

▪ **Medición 3: (techo)**

- Durante la medición se registró 27 f/m, por lo que aplicaremos la teoría de Palmstrom para calcular el RQD.

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 Jv}$$

$$RQD = 115 - 3.3 (27)$$

$$RQD = 115 - 89$$

$$RQD = 26 \%$$

Según los cálculos realizados en las estaciones de medición como son: Progresiva 40 - 50 y Progresiva 80 – 90 en el techo y los hastiales respectivamente del XC 876 del nivel 21, se puede determinar que la calidad de la roca según el RQD es de tipo **mala**, ver tabla 20.

A) Calidad de la roca: Progresiva 40 – Progresiva 50 del XC 876 del nivel 21

Tabla 20. Índice de calidad según Palmstrom

RQD	Calidad de la roca
0-25 %	Muy mala
25-50 %	Mala
50-75 %	Regular
75-90 %	Buena
90-100 %	Excelente

Nota: tomada de la Estimación según Palmstrom

B) Calidad de la roca: Progresiva 80 – Progresiva 90 del XC 876 del nivel 21

Tabla 21. Índice de calidad según Palmstrom

RQD	Calidad de la roca
0-25 %	Muy mala
25-50 %	Mala
50-75 %	Regular
75-90 %	Buena
90-100 %	Excelente

Nota: tomada de la Estimación según Palmstrom

4.1.3. Cálculo RMR según Clasificación Geomecánica de Bieniaswki.

A) Punto de medición: Progresiva 40 – Progresiva 50 del XC 876 del nivel 21

Tabla 22. Cálculo del RMR en la medición 1

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIASWKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R.COMPRESIÓUNIAIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2), <5 (2), <1 (0)		7
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		8
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long (6)	1-3m long (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm (5)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	1
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig.Intemp (5)	Mod.Intemp (3)	Muy Intemp (2)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		4
AJUSTE POR ORIENTACIÓN	Muy Favorb (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorb (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valores 1 a 6) =							34
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		IV-A
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 23. Cálculo del RMR en la medición 2

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIASWKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R.COMPRESIÓ. UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2), <5 (2), <1 (0)		7
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		8
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long (6)	1-3m long (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm (5)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	1
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig. Intemp (5)	Mod. Intemp (3)	Muy Intemp (2)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		4
AJUSTE POR ORIENTACIÓN	Muy Favorb (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorb (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valores 1 a 6) =							36
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		IV-A
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 24. Cálculo del RMR en la medición 3

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)								
CLASIFICACIÓN DE BIENIASWKI (1989)								
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN	
	VALOR ESTIMADO							
R.COMPRESIÓ. UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2), <5 (2), <1 (0)		7	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	25 (3)		8	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		8	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long (6)	1-3m long (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	2	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm (5)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	1	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	1	
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig.Intemp (5)	Mod.Intemp (3)	Muy Intemp (2)	Descompuesta (0)	2	
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		4	
AJUSTE POR ORIENTACIÓN	Muy Favorb (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorb (-12)		-5	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valores 1 a 6) =							31	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								IV-A
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

B) Punto de medición: Progresiva 80 – Progresiva 90 del XC 876 del nivel 21

Tabla 25. Cálculo del RMR en la medición 1

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIASWKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R.COMPRESIÓUNIAIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2), <5 (2), <1 (0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		8
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long (6)	1-3m long (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm (5)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	1
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig.Intemp (5)	Mod.Intemp (3)	Muy Intemp (2)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		4
AJUSTE POR ORIENTACIÓN	Muy Favorb (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorb (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valores 1 a 6) =							28
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		IV - B
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 26. Cálculo del RMR en la medición 2

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIASWKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R.COMPRESIÓ. UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2), <5 (2), <1 (0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long (6)	1-3m long (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm (5)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	1
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig.Intemp (5)	Mod.Intemp (3)	Muy Intemp (2)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		4
AJUSTE POR ORIENTACIÓN	Muy Favorb (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorb (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valores 1 a 6) =							30
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		IV - B
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 27. Cálculo del RMR en la medición 3

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIASWKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R.COMPRESIÓ. UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2), <5 (2), <1 (0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		8
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long (6)	1-3m long (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm (5)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	0
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig.Intemp (5)	Mod.Intemp (3)	Muy Intemp (2)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		4
AJUSTE POR ORIENTACIÓN	Muy Favorb (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy desfavorb (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valores 1 a 6) =							27
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		IV - B
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

4.1.4. Determinación del tipo de sostenimiento

Está dado tomando en cuenta el modelo de sostenimiento estandarizado de la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Alpayana en base al RMR mencionado en la tabla 13 y a la clasificación GSI como complemento para determinar el tipo de soporte a utilizar.

Entonces, según lo establecido de acuerdo al RMR obtenido, el sostenimiento sería:

A) Progresiva 40 – Progresiva 50 del XC 876 del nivel 21

- ✓ Estación de medición 1: RMR 34
- ✓ Estación de medición 2: RMR 36
- ✓ Estación de medición 3: RMR 31

Por lo tanto, se concluye que el RMR de la roca es de clase **IV A – mala** y el tipo de sostenimiento a emplear es:



Sostenimiento con perno sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o *split set* de 5' o 7') y *shotcrete* 3".

B) Progresiva 80 – Progresiva 90 del XC 876 del nivel 21

- ✓ Estación de medición 1: RMR 27
- ✓ Estación de medición 2: RMR 30
- ✓ Estación de medición 3: RMR 29

Por lo tanto, se concluye que el RMR de la roca es de clase **IV B – mala** y el tipo de sostenimiento a emplear es:



Sostenimiento con cimbras metálicas (Esp. 1.00 m a 1.20 m) y marchavantes.

Como una comparativa a la recomendación de acuerdo al RMR estandarizado, el tipo de sostenimiento en base a la cartilla geomecánica GSI de la Unidad Minera America sería:

A) Progresiva 40 – Progresiva 50 del XC 876 del nivel 21

Tabla 28. Sostenimiento en la medición 1

Medición 1	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturamiento 21 f/m • Resistencia: se rompe con 2 golpes de la picota • Factores influyentes: agua subterránea (goteo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paso 1: intensamente fracturada (IF) • Paso 2: regular (R) • Paso 3: Intensamente fracturada / regular (IF/R) • Paso 4: P. sistemático a 1.0X1.0m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla y <i>shotcrete</i> 3" o cuadro de madera (Esp.1.30 a 1.60 m) y marchavantes • GSI: intensamente fracturada / regular

Tabla 29. Sostenimiento en la medición 2

Medición 2	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturamiento 24 f/m • Resistencia: se rompe con 2 golpes de la picota • Factores influyentes: agua subterránea (goteo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paso 1: intensamente fracturada (IF) • Paso 2: regular (R) • Paso 3: intensamente fracturada / regular (IF/R) • Paso 4: P. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla y <i>shotcrete</i> 3" o cuadro de madera (Esp.1.30 a 1.60 m) y marchavantes • GSI: intensamente fracturada / regular

Tabla 30. Sostenimiento en la medición 3

Medición 3	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturamiento 26 f/m • Resistencia: se rompe con 2 golpes de la picota • Factores influyentes: agua subterránea (goteo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paso 1: intensamente fracturada (IF) • Paso 2: regular (R) • Paso 3: intensamente fracturada / regular (IF/R) • Paso 4: P. sistemático a 1.0X1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla y <i>shotcrete</i> 3" o cuadro de madera (Esp.1.30 a 1.60 m) y marchavantes • GSI: intensamente fracturada / regular

B) Progresiva 80 – Progresiva 90 del XC 876 del nivel 21

Tabla 31. Sostenimiento en la medición 1

Medición 1	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturamiento 23 f/m • Resistencia: se indenta con 1 golpe de picota • Factores influyentes: agua subterránea (flujo de agua) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paso 1: intensamente fracturada (IF) • Paso 2: pobre (P) • Paso 3: intensamente fracturada / pobre (IF/P) • Paso 4: cimbras metálicas o cuadros de madera (esp. 1.00 a 1.20 m) y marchavantes o <i>shotcrete</i> 2" más P. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla. • GSI: intensamente fracturada / pobre

Tabla 32. Sostenimiento en la medición 2

Medición 2	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturamiento 25 f/m • Resistencia: se indenta con 1 golpe de picota • Factores influyentes: agua subterránea (flujo de agua) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paso 1: intensamente fracturada (IF) • Paso 2: pobre (P) • Paso 3: intensamente fracturada / pobre (IF/P) • Paso 4: cimbras metálicas o cuadros de madera (esp. 1.00 a 1.20m) y marchavantes o <i>shotcrete</i> 2" más p. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla • GSI: intensamente fracturada / pobre

Tabla 33. Sostenimiento en la medición 3

Medición 3		Cálculo de GSI
• Fracturamiento f/m	27	• Paso 1: intensamente fracturada (IF) • Paso 2: pobre (P)
• Resistencia: se indenta con 1 golpe de picota		• Paso 3: intensamente fracturada / pobre (IF/P) • Paso 4: cimbras metálicas o cuadros de madera (esp. 1.00 a 1.20 m) y marchavantes o <i>shotcrete</i> 2" más p. sistemático a 1.0 x 1.0 m (perno helicoidal o <i>split set</i> de 5' o 7') con malla.
• Factores influyentes: agua subterránea (flujo de agua)		• GSI: intensamente fracturada / pobre

4.1.5. Precios unitarios de sostenimiento

Tabla 34. Precios unitarios de sostenimiento

Precios unitarios de sostenimiento		
Tipo de sostenimiento	Costo total (\$)	Unidad
Instalación de perno helicoidal 7'	20.62	unidad
Lanzado de <i>shotcrete</i> 3"	38.43	m ²
Instalación de cimbras metálicas	346.57	unidad

Nota: tomada del Departamento de Costos – Compañía Minera Alpayana.

4.1.6. Cálculo de costos de sostenimiento

Evaluamos que según el RMR estandarizado el tipo de sostenimiento a emplear es *shotcrete* con espesor de 3" + pernos helicoidales de 7 pies, en la Progresiva 40 – Progresiva 50.

Tabla 35. Cálculo de costos de sostenimiento

Datos		Unidad
Sostenimiento recomendado	Shotcrete de 3"	pulgadas
Sección de la labor	3 x 3 m	metros
Longitud de la corona	6.54	metros
Precio unitario de <i>shotcrete</i>	38.43	dólares (\$)
Cálculo de sostenimiento con <i>shotcrete</i> de 3"		
m ² a sostener	60*6.54	392.4
Costo total de sostenimiento	392.4*38.43	15,080 dólares
Datos		Unidad
Sostenimiento recomendado	Perno helicoidal de 7'	pies
Espaciamiento	1 x 1	metros
Sección de la labor	3 x 3	metros
Longitud de arco	6.54	metros
Distancia por sostener	60	metros
Precio unitario por perno helicoidal	20.62	Dólares (\$)
Costo total de sostenimiento de <i>shotcrete</i> + pernos helicoidales		23,740 dólares
Cálculo de sostenimiento con perno helicoidal de 7'		
N.º de pernos por fila	6.54/1	7
Total de filas en la Progresiva 40 - 50	60 /1	60
N.º de pernos en 60 m	60*7	420
Costo total de sostenimiento	420*20.62	8,660 dólares

Se evalúa que según el RMR estandarizado el tipo de sostenimiento a emplear es cimbra metálica, en la Progresiva 80 – Progresiva 90.

Tabla 36. Evaluación según RMR estandarizado

Datos		Unidad
Sostenimiento recomendado	Cimbra	pza.
Tipo de cimbra	H6	Metros
Sección de la labor	3 x 3	Metros
Espaciamiento	1.2 x 1.2	Metros
Distancia por sostener	40	Metros
Precio unitario de cimbra metálica	346.57	Dólares (\$)
Cálculo de sostenimiento con cimbras		
N.º de cimbras	40/1.20	34 cimbras
Costo de sostenimiento	34*346.57	11,783 dólares

4.2 Resultados y análisis de la información

El resultado de la evaluación geomecánica del XC 876 del nivel 21, varían según la clasificación geomecánica de Bieniaswski, se puede señalar que la calidad de la masa rocosa es mala VI-A con un RMR 34, 36 y 31 en la Progresiva 40 – Progresiva 50 y RMR 28, 30 y 27 en la Progresiva 80 – Progresiva 90.

Para la presente evaluación geomecánica del XC 876 se usó el sistema de clasificación de macizos rocosos RMR de Bieniawski y dio como resultado el cuadro siguiente.

A) Progresiva 40 – Progresiva 50 del XC 876 del nivel 21.

Tabla 37. Resumen del cálculo de RMR

Parámetros	M1	M2	M3	
1 Resistencia a la compresión uniaxial de roca intacta	7	7	7	
2 RQD	8	8	8	
3 Espaciamiento de las discontinuidades	8	8	8	
	• Persistencia	2	4	2
	• Apertura	4	4	1
4 Condición de discontinuidades	• Rugosidad	3	3	3
	• Relleno	1	1	1
	• Intemperismo	2	2	2
5 Agua subterránea	4	4	4	
6 Ajuste por orientación de estructuras	-5	-5	-5	
	RMR	34	36	31
	Roca tipo	IVA	IVA	IVA

B) Progresiva 80 – Progresiva 90 del XC 876 del nivel 21

Tabla 38. Resumen del cálculo de RMR

Parámetros		M1	M2	M3
1	Resistencia a la compresión uniaxial de roca intacta	4	4	4
2	RQD	8	8	8
3	Espaciamiento de las discontinuidades	8	10	8
	• Persistencia	2	2	2
	• Apertura	1	1	1
4	Condición de discontinuidades			
	• Rugosidad	3	3	3
	• Relleno	1	1	0
	• Intemperismo	2	2	2
5	Agua subterránea	4	4	4
6	Ajuste por orientación de estructuras	-5	-5	-5
	RMR	28	30	27
	Roca tipo	IVB	IVB	IVB

4.3 Prueba de hipótesis

4.3.1. Validación de la Hipótesis N° 1

▪ Progresiva 40 – Progresiva 50

Se hizo la evaluación geomecánica en la progresiva 40 – progresiva 50, ubicada en el XC 876 y según el RMR estandarizado y la cartilla geomecánica GSI de la Unidad Minera Americana, el tipo de sostenimiento recomendado es con pernos helicoidales de 7' a intervalos (espaciados) de 1 m x 1 m + hormigón proyectado (shotcrete) por un promedio 60 metros lineales.

▪ Progresiva 80 – Progresiva 90

Se hizo la evaluación geomecánica en la progresiva 80 – progresiva 90, ubicada en el XC 876 y según el RMR estandarizado y la cartilla geomecánica GSI de la Unidad Minera Americana, el tipo de sostenimiento recomendado es la instalación de cimbras metálicas con un espaciado de 1.2 x 1.2 m en un promedio de 40 metros lineales.

4.3.2. Validación de hipótesis N° 2

La naturaleza del macizo rocoso tiene una influencia importante en la determinación del tipo de soporte en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, de la unidad minera Americana, dichas propiedades evaluadas en campo fueron:

Tabla 39. Propiedades evaluadas en campo

• Resistencia a la compresión
• Espaciamiento entre discontinuidades
• Persistencia
• Apertura
• Rugosidad
• Relleno
• Intemperismo

4.3.3. Validación de hipótesis N° 3

La determinación de los costos unitarios de sostenimiento del XC 876 del nivel 21 es factible y viable, para lo cual se presenta la tabla siguiente.

Tabla 40. Resumen de costos de sostenimiento

Resumen de costos de sostenimiento	
Progresiva	Costos de sostenimiento
40 - 50	23,740 dólares
80 - 90	11,783 dólares

CONCLUSIONES

1. De una evaluación geomecánica en el nivel 21 XC 876, se concluyó que el tipo de apoyo recomendado para cada progresión se determinó con base en clasificación RMR y GSI, por lo que se determinó que en las estaciones 40-50 se deben utilizar soportes de pernos helicoidales de 7', con un espaciamiento de 1 m x 1 m + hormigón proyectado (shotcrete) a un promedio de 60 metros lineales. Mientras que en Progresiva 80 – Progresiva 90 el mejor soporte es la instalación de cimbras metálicas con un intervalo (espaciado) de 1,2 x 1,2 m a un promedio de 40 metros lineales.
2. Se concluyó que las propiedades del macizo rocoso influyeron de manera relevante en la selección del tipo de soporte para el nivel 21 XC 876, estas propiedades fueron: resistencia a la compresión, espaciamiento entre discontinuidades, persistencia, aperturas, rugosidad, relleno y meteorización nuevamente, se concluyó que las propiedades de la roca son críticas para especificar la calidad del macizo rocoso al momento de determinar el tipo de soporte requerido.
3. A la hora de elegir el tipo de soporte para la XC 876, el coste por unidad de soporte juega un papel muy importante, ya que, si bien es cierto que se recomienda la reducción de costes, para el apoyo se debe preferir el tipo de sostenimiento seleccionado en el campo de la Geomecánica. Para evitar el riesgo de desprendimiento de rocas, afectando las operaciones mineras y la seguridad de las personas, los equipos y el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar evaluaciones geomecánicas constantes al macizo rocoso para precisar su calidad, además se recomienda aplicar pruebas *pull test* al sostenimiento instalado, así mismo, de ejecutar cargas puntuales a los testigos de *shotcrete* para cumplir los estándares de la mina. Finalmente, se recomienda realizar medidas de control sobre el drenaje para no complicar aún más la estabilidad del macizo rocoso.
2. Debido a la calidad mala de la roca se recomienda utilizar tres tipos de sostenimiento (*shotcrete* + pernos helicoidales + malla electro soldada en un cruce de labores debido al incremento de esfuerzos verticales y horizontales lo cual generan una mayor inestabilidad de la masa rocosa.
3. La Unidad Minera Americana de Compañía Minera Alpayana presenta un alto índice de accidentes e incidentes, por el tipo de roca y las condiciones que presenta, por ende se recomienda no reducir costos en sostenimiento, porque ello tendría como consecuencia el incremento de eventos por caída de rocas, lo que directamente afectaría a la productividad de la empresa.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **RIOS BARTOLO, Ricardo.** *Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros Los Ángeles.* Piura : Universidad Nacional Federico Villarreal, 2019.
2. **SALAZAR ISLA, Edgar.** *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente, Unidad Minera Yauricocha.* Huancayo : Universidad Continental, 2020.
3. **ACOSTA MEDINA, Irwin.** *Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.* Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2019.
4. **ORIHUELA JURADO, Issac.** *Caracterización geomecánica del macizo rocoso en áreas de afluencia de agua, con la finalidad de impermeabilizar zonas de alto tránsito en la Unidad Minera Cobriza-2019.* Huancayo : Universidad Continental, 2019.
5. **QUISPE MATOS, Anthony Kenlly.** *Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del Nv 720, Sociedad Minera Corona S.A.* Huancayo : Universidad Continental, 2018.
6. **RIVERO ABARCA, Victor Sandrino.** *Evaluación geomecánica de estrategias de socavación en minería subterránea.* Santiago : Universidad de Chile, 2008.
7. **SULLA FLOREZ, Aly Oscar.** *Análisis técnico económico y de seguridad del método sub level stoping utilizado en la explotación del tajo 574 veta esperanza mina Casapalca.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2013.
8. **RUIZ CASTILLO, Marco & BUIZA MENDOZA, Carlos.** *Sostenimiento de labores subterráneas.* Cajamarca : Universidad Privada Del Norte, 2019.
9. **SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA, PETRÓLEO Y ENERGÍA.** *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.* Lima : 1ra. Edición, 2004.
10. **DEERE.** índice de designación de la calidad de la roca (RQD) Rock Quality Design. 1984.
11. **MENDIETA BRITTO, Luis Alberto.** *Optimización de los costos operativos en la Unidad Cerro Chico.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.
12. **CÁCERES MALCA, Eduin Michel.** *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en la mina San Cristóbal-Compañía Minera Volcan, Nazca, Ica, Perú.* Nazca : Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, 2017.

13. **HOEK, E.** Rock engineering course notes: tinnels in weak rock. Canadá : North Vancouver B. C., 2002.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 41. Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Cuál es la influencia de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana?	Determinar la influencia de la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana.	La evaluación geomecánica influye significativamente para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
¿Cómo influyen las propiedades del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana?	Evaluar cómo influye las propiedades del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – Zona vetas, Unidad Minera Americana.	Las propiedades del macizo rocoso influyen positivamente para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana.
¿Será factible determinar el cálculo de costos unitarios de sostenimiento de acuerdo a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana?	Determinar la factibilidad del cálculo de costos unitarios de sostenimiento de acuerdo a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana.	El cálculo de costos unitarios de sostenimiento de acuerdo a la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21 – zona vetas, unidad minera Americana es factible.

Anexo 2

Condiciones del macizo rocoso - XC 876



Figura 24. Condiciones del macizo rocoso después del disparo - XC 876



Figura 25. Condiciones del macizo rocoso durante la perforación - XC 876

Anexo 3
Sostenimiento con *shotcrete*



Figura 26. Sostenimiento con *shotcrete*

Anexo 4

Pintado de malla para la instalación de pernos

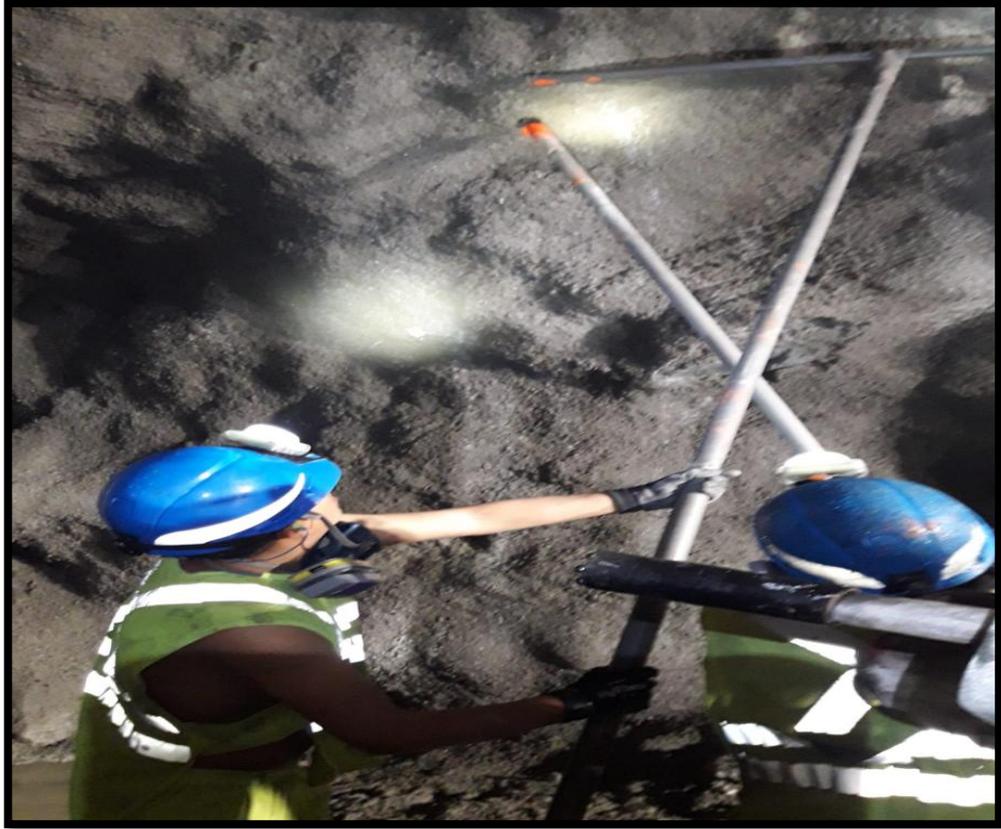


Figura 27. Pintado de malla para la instalación de pernos helicoidales

Anexo 5

Instalación de cimbras metálicas



Figura 28. Sostenimiento con cimbras metálicas

