

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



TESIS

**ZONIFICACIÓN GEOMECANICA PARA EL
SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA
EXPANSION DEL NIVEL 23 DE LA ZONA ESPERANZA -
COMPAÑIA MINERA CASAPALCA S.A.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
Geomecánica**

PRESENTADO POR:

**Bach. FERNANDEZ SINCHE, Hector Raúl
Bach. SOTO SALAZAR, Rodrigo**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**HUANCABELICA, PERÚ
2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

AV. CENTENARIO N°1200 TELÉF. 952847104
LICENCIADA BAJO RESOLUCIÓN N° 086-2019-SUNEDU/CD
ACTA DE SUSTENTACIÓN



EN LA CIUDAD DE LIRCAY DEL DIA 07 DE OCTUBRE DEL 2021, SIENDO LAS 4:00 P.M; EN CUMPLIMIENTO A LA **DIRECTIVA N° 001-VRAC-UNH**, APROBADO CON **RESOLUCIÓN N° 355-2020-CU-UNH (20/07/2020)**, MEDIANTE LA PLATAFORMA VIRTUAL MEET SE REUNIERON LOS MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADO CON RESOLUCION N° 055- 2021 – FIMCA – UNH (04/02/2021) CONFORMADO EN LA SIGUIENTE MANERA

PRESIDENTE : Dr. ENRIQUEZ DONAIRES AMADEO

SECRETARIO : Dr. HUAMANCAJA ESPINOZA RODRIGO

VOCAL : MSc, CANTA CARLOS PAUL PERCY

ACCESITARIO : DR. JORGE WASHINGTON RODRIGUEZ DEZA

QUIEN EN VIDA FUE NOMINADO COMO JURADO DE TESIS EN CALIDAD DE VOCAL AL MSC, CANTA CARLOS PAUL PERCY Y POR SU AUSENCIA POR FALLECIMIENTO ASUME EN CALIDAD DE JURADO DE TESIS DE VOCAL EL **DR. JORGE WASHINGTON RODRIGUEZ DEZA** POR SER CONSIDERADO EN LA RESOLUCIÓN N° 253- 2021 – FIMCA – UNH (24/09/2021).

Y EN CUMPLIMIENTO A LA RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD VIRTUAL N° 253-2021-FIMCA-UNH (24/09/2021), DE HORA Y FECHA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS TITULADO: **ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA EXPANSIÓN DEL NIVEL 23 DE LA ZONA ESPERANZA-COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A.**

CUYOS AUTORES GRADUADOS SON:

BACHILLER (S):

FERNANDEZ SINCHE HECTOR RAÚL

SOTO SALAZAR RODRIGO

A FIN DE PROCEDER CON LA SUSTENTACION DE LA TESIS FINAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA ACTO SEGUIDO SE INVITA A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL ABANDONAR LA PLATAFORMA DEL MEET POR UNOS MINUTOS PARA LA **DELIBERACIÓN DE LOS RESULTADOS**; LUEGO SE INVITÓ A PASAR NUEVAMENTE A LA PLATAFORMA DEL MEET A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL, EN LA QUE SE DA EL RESULTADO FINAL, **APROBADO POR UNANIMIDAD**, DANDO POR CULMINANDO A LAS 6.00 P.M

BACHILLER: FERNANDEZ SINCHE HECTOR RAÚL

MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR UNANIMIDAD
SECRETARIO	
VOCAL	

BACHILLER: SOTO SALAZAR RODRIGO

MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR UNANIMIDAD
SECRETARIO	
VOCAL	

EN CONFORMIDAD A LO ACTUADO FIRMAN AL PIE DEL PRESENTE.

Presidente
Dr. ENRIQUEZ DONAIRES
AMADEO

Secretario
Dr. HUAMANCAJA ESPINOZA
RODRIGO

Vocal
DR. JORGE WASHINGTON
RODRIGUEZ DEZA.

Sustentante
FERNANDEZ SINCHE HECTOR RAÚL

Sustentante
SOTO SALAZAR RODRIGO



TITULO

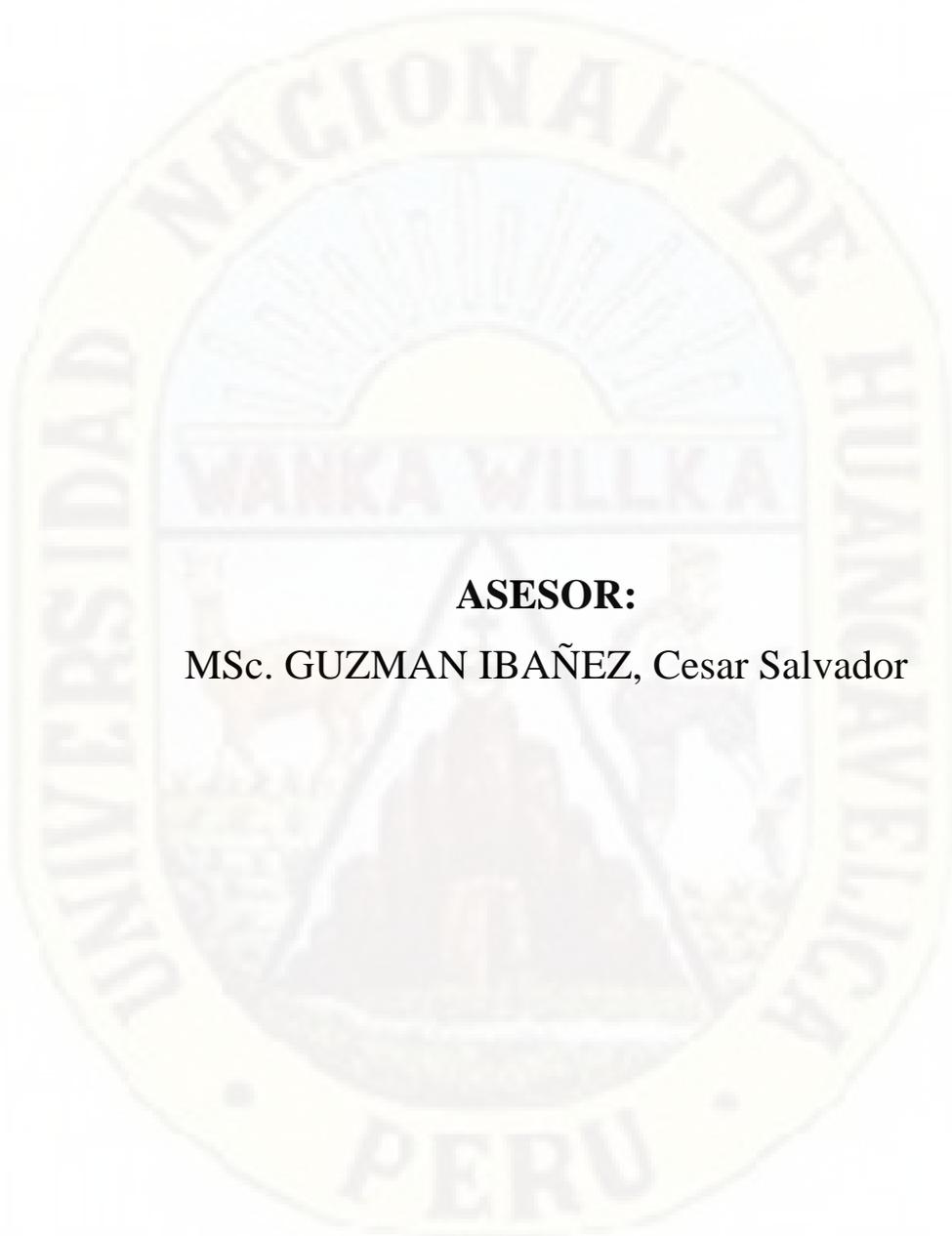
**ZONIFICACIÓN GEOMECANICA PARA EL
SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA
EXPANSION DEL NIVEL 23 DE LA ZONA ESPERANZA –
COMPAÑIA MINERA CASAPALCA S.A.**



PRESENTADO POR:

Bach. FERNANDEZ SINCHE, Héctor Raúl

Bach. SOTO SALAZAR, Rodrigo



ASESOR:

MSc. GUZMAN IBAÑEZ, Cesar Salvador

DEDICATORIA

A mis padres Humberto y Julia por brindarme su apoyo incondicional en cada momento y siempre alentándome a seguir adelante y cumplir mis metas y objetivos trazados en mi vida profesional.

Héctor

DEDICATORIA

A mis padres Nicolás y Lorenza por haberme enseñado los valores para ser una buena persona. De igual forma agradecer por su apoyo constante que he recibido durante los años de estudio.

Rodrigo

AGRADECIMIENTO

Hago llegar un profundo gratitud por terminar esta etapa maravillosa de nuestra vida, a todas aquellas personas que nos hicieron este sueño, aquellas personas humildes que encaminaron al lado de nosotros en todo momento y fueron la inspiración, el apoyo y fortaleza de nuestra vida de estudiante. Hago mención a nuestro Dios Todopoderoso, nuestros padres, hermanos, y los parientes. Muchas gracias a ustedes por todo.

De igual manera apreciamos a área de Geomecánica de la Compañía Minera Casapalca S.A. Unidad Americana, a los Ingenieros: Néstor Valdez y José Díaz, quienes con su apoyo incondicional nos brindaron informaciones valiosas que nos sirvió para el desarrollo de nuestra investigación.

Con mucho aprecio a la Escuela de Ingeniería de Minas, nuestro más humilde agradecimiento al asesor de mi tesis, MSc. Guzman Ibañez, Cesar Salvador, gracias a cada docente de la escuela de minas quienes con su gran esfuerzo, enseñanza y conocimiento científico y técnico influyeron la base de nuestra vida profesional. Gracias a todos de todo corazón.

Héctor y Rodrigo

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACION	ii
TITULO	iii
PRESENTADO POR:.....	iv
ASESOR:.....	v
AGRADECIMIENTO	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.1.1. Descripción del Problema.....	17
1.1.2. Formulación del Problema	18
1.1.2.1. Problema general	18
1.1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. Objetivo general	18
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	20
2.1.1. A nivel internacional	20
2.1.2. A nivel nacional.....	25
2.1.3. A nivel regional	30
2.2. BASES TEÓRICAS SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACION	34

2.1.1.	Mecánica de rocas	34
2.1.2.	Geomecánica.....	34
2.1.3.	Propiedades geomecánicas de las discontinuidades de la masa rocosa	36
2.1.4.	Condiciones de la masa rocosa.....	44
2.1.4.1.	Clasificación geomecánica de la masa rocosa.....	47
2.1.4.2.	El criterio RMR de Bieniaswski (1989).....	48
2.1.4.3.	El índice de resistencia geológica GSI de Hoek y Marinos (2000) ..	52
2.1.5.	Tensiones del macizo rocoso	56
2.1.6.	Zonificación Geomecánica.....	57
2.1.7.	Análisis de Factor de Seguridad para el autosostenimiento	61
2.1.8.	Mapeo por celdas.....	63
2.1.9.	Tipos de sostenimiento.....	63
2.3.	BASES CONCEPTUALES	67
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	68
2.5.	HIPÓTESIS	71
2.1.31.	Hipótesis general	71
2.1.32.	Hipótesis específicas.....	71
2.6.	VARIABLES.....	72
2.7.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	72

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL.....	73
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	73
3.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.4.	DISEÑO DE INVETIGACION	74
3.5.	POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	75
3.5.1.	Población	75
3.5.2.	Muestra.....	75
3.5.3.	Muestreo	75
3.6.	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	76
3.7.	TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	76

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

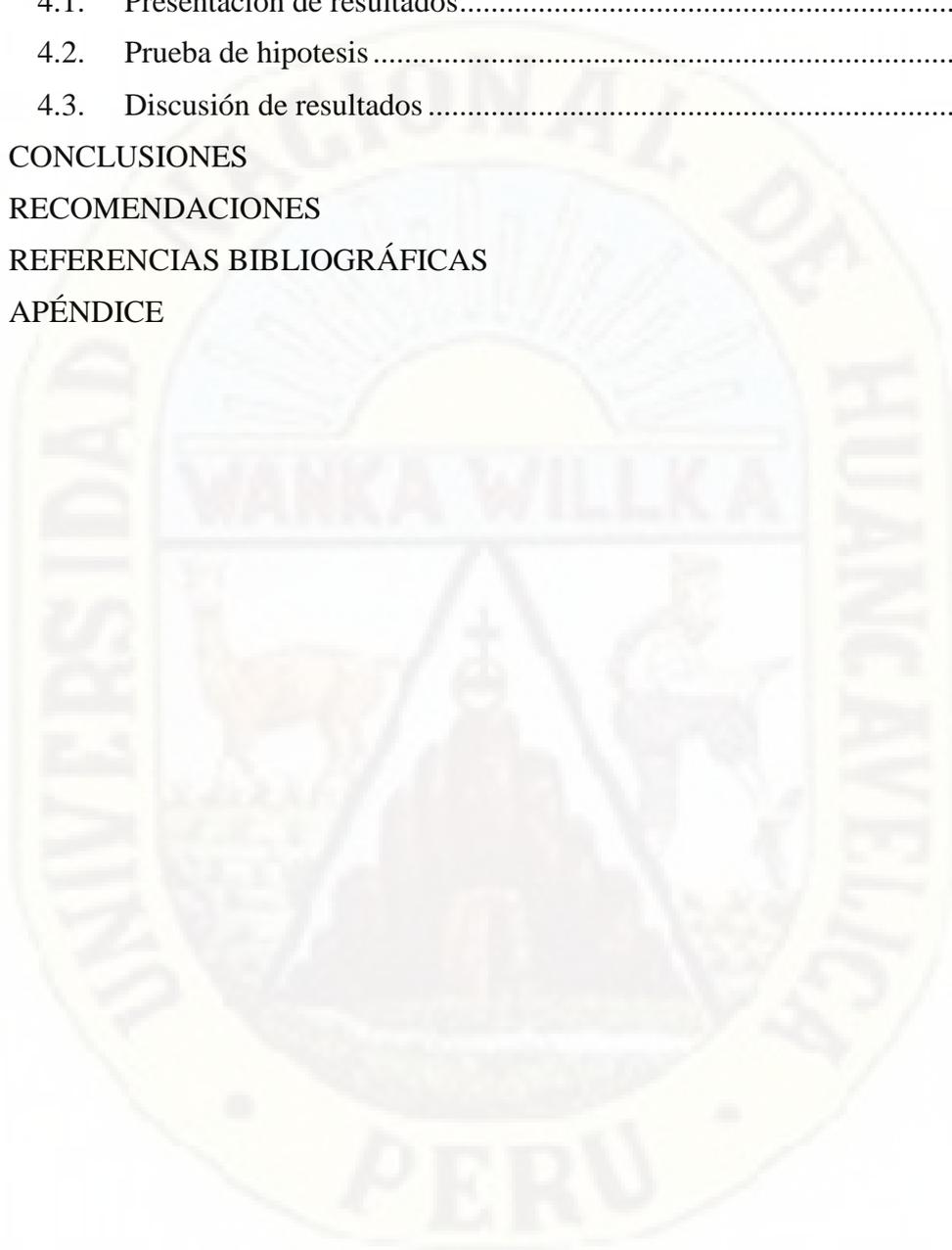
4.1. Presentación de resultados.....	77
4.2. Prueba de hipótesis	92
4.3. Discusión de resultados	95

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÉNDICE



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores de espaciado.....	40
Tabla N° 2: Terminología de continuidad recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.....	41
Tabla N° 3: Terminología de abertura recomendada por la SIMR.....	43
Tabla N° 4: Resistencia de la roca.....	48
Tabla N° 5: Valoración de RQD.....	49
Tabla N° 6: Espaciamiento de las discontinuidades.....	50
Tabla N° 7: valoración de las condiciones de las discontinuidades.....	51
Tabla N° 8: Valoración de Aguas Subterráneas.....	51
Tabla N° 9: Abaco de GSI modificado de acuerdo a la estructura y condición superficial.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Representación de datos de orientación en un diagrama de rosetas	40
Figura N° 2: Medida del espacio en una cara expuesta del afloramiento	41
Figura N° 3: Rugosidad según JRC	42
Figura N° 4: Abertura de las paredes rocosas	43
Figura N° 5: Ejemplo de testigos de perforación diamantina	50
Figura N° 6: Ejemplo de Zonificación Geomecánica según Mapeo RMR	60
Figura N° 7: Gráfico de barras de RMR logueo agrupado	78
Figura N° 8: Zonificación geomecánica según logueo	82
Figura N° 9: Resultados en barras para la interpretación de RMR según mapeo geomecánico	83
Figura N° 10: Principales discontinuidades en Crucero 212	84
Figura N° 11: Diagrama de Rosetas en crucero 212	85
Figura N° 12: Sección transversal del XC-212 NW del Nv. 23, mostrando el nivel freático de la mina Casapalca	86
Figura N° 13: Se muestra una mayor concentración de areolas con esfuerzos horizontales indicando relajamiento del macizo rocoso a largo plazo	86
Figura N° 14: Grafica de Sheorey	88
Figura N° 15: Zonificación geomecánica requerida	91

RESUMEN

El trabajo de investigación titulado: ZONIFICACIÓN GEOMECANICA PARA EL SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA EXPANSION DEL NIVEL 23 DE LA ZONA ESPERANZA – COMPAÑIA MINERA CASAPALCA S.A., se desarrolló con el objetivo de definir la zonificación geomecánica y su influencia en el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.

Teniendo el conocimiento sobre los problemas que ocurren en el crucero 212, se elaboró una serie de actividades en la que se determinó, el mapeo geomecánico, logeo geotécnico, utilizando software para el procesamiento de datos y así obtener la calidad y el tipo de roca para prevenir o anticipar la caída de bloques de rocas aplicando un sostenimiento adecuado que requiera la labor.

Las actividades realizadas para una buena zonificación geomecánica, se realizó por tramos las evaluaciones con el método de mapeo por celda, con ello delimitar las zonas de la labor como se muestra en la figura N° 15.

La obtención del valor de la T calculada (T_c) es de $-5,057$, lo que nos indica el valor de la T calculada se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula, así mismo la significancia bilateral, porque el valor P fue 0.000, siendo menor a 0.05, significando que la diferencia entre el pre test y el post test existe diferencia significativa en las puntuaciones obtenidas. El resultado obtenido nos permite concluir que la zonificación geomecánica influye significativamente para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.

Palabras clave:

Zonificación geomecánica, sostenimiento, mapeo geomecánico y tipo de roca.

ABSTRACT

The research work titled: GEOMECHANICAL ZONING FOR THE SUSTAINING OF MINING WORK IN THE EXPANSION OF LEVEL 23 OF THE ESPERANZA ZONE – COMPAÑIA MINERA CASAPALCA SA, was developed with the objective of defining the influence of geomechanical work and its influence mining companies in the expansion of level 23 in the Esperanza zone – Compañía Minera Casapalca SA

Having the knowledge about the problems that occur in the 212 cruise, a series of activities was carried out in what was determined, the geo-mechanical mapping, geotechnical logging, using software for data processing and thus obtain the quality and type of rock for prevent or anticipate the fall of rock blocks applying adequate support required by the work.

The activities carried out for a good geomechanical zoning, the evaluations were carried out in sections with the mapping method per cell, thereby delimiting the areas of the work as shown in the plan.

The obtaining of the value of the calculated T (tc) is $-5.057, 10$ which does not indicate the value of the calculated T is located in the region of rejection of the new hypothesis, as well as the significance bilaterally, because the value of the P was 0.000, being less than 0.05, meaning that the difference between the pre-test and the post-test there is a significant difference in the scores obtained. The result 0 obtained n0s allows us to conclude that the geomechanical zoning has a significant influence on the maintenance of mining activities in the expansion of level 23 of the Esperanza zone – Compañía Minera Casapalca S.A.

Words clave:

Geomechanical zoning, support, geomechanical mapping and rock type.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las empresas mineras formales donde se desarrolla actividades de explotación minera, cuentan con el área de departamento de Geomecánica, la cual se encarga de realizar el estudio de macizos rocosos, con el objetivo de determinar las propiedades geomecánicas, caracterización de la roca, y así encontrar la calidad del material rocoso para su posterior análisis y llegar a una conclusión.

En la Compañía Minera Casapalca, para explotar los recursos minerales es primordial que se realice la profundización de la mina, especialmente a partir del nivel 23 de la zona esperanza, que no se tiene datos geomecánicos para su posterior profundización, sin embargo, con la expansión del cruce, aumenta los posibles problemas de inestabilidad para el normal desarrollo de las actividades mineras. Para ello se tiene que ir a la mano con la seguridad en todo aspecto, se tiene el caso del soporte oportuno y eficaz de las excavaciones mineras. La presencia de agua genera inestabilidad en el macizo rocoso por presiones o filtraciones, que son peligros altos que puede causar la caída de rocas afectando el ciclo de minado.

Con la presente investigación, pretendemos dar solución a uno de estos problemas de inestabilidad generados por la expansión de la zona Esperanza en la Compañía Minera Casapalca, por tal motivo, hemos visto por conveniente definir la zonificación geomecánica para que, en base a esto, se pueda llegar a realizar un mejor sostenimiento de las labores mineras y reducir los peligros que se pueden dar en el avance de las labores mineras. Por lo que el objetivo principal es Determinar la zonificación geomecánica y su influencia en el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.

El presente trabajo de tesis está dividido en cuatro capítulos de la manera siguiente:

- El capítulo I: Planteamiento del Problema de la investigación, trata de la Descripción y Formulación del Problema, objetivos y Justificación.
- El capítulo II: Marco Teórico, trata sobre los Antecedentes (internacionales, nacionales y regionales), Bases Teóricas sobre el tema de la Investigación, Bases Conceptuales, Definición de Términos, Formulación de Hipótesis, Variables y operacionalización de Variable.

- El capítulo III: Materiales y Métodos; se realiza el Ámbito temporal y espacial, Tipo de Investigación, Nivel de Investigación (población, muestra y muestreo), Instrumentos y Técnicas para recolección de datos, Técnicas y Procesamiento de datos.
- El Capítulo IV: Discusión de Resultados; Presentación de Resultados, Prueba de Hipótesis y la Discusión de los Resultados.

Esperamos cumplir con las expectativas de la investigación y que sea de mucha utilidad para la Compañía Minera Casapalca.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del Problema

En la actualidad el área de geomecánica, cumple roles importantes en la ingeniería de túneles, específicamente en el mundo de la minería. Dicho esto, la Geomecánica aporta en el aspecto de seguridad minera, la aplicación de esta ciencia nos garantiza el análisis correcto del macizo rocoso para una buena estabilidad de las excavaciones.

La explotación subterránea en el Perú y a nivel internacional son las actividades que ocasiona un alto riesgo de accidentes e incidentes durante el ciclo de minado, en su gran mayoría es por el desprendimiento de mismo mineral o el desmonte que alberga la mineralización; para estos problemas es necesario inspeccionar oportunamente las labores subterráneas y el método de explotación que consienta trabajar en un estado de equilibrio del material rocoso y minimizar el alto índice de seguridad para desarrollar las distintas operaciones mineras. (Sosa P. J., 2016).

La caracterización geomecánica en la actualidad es de suma primordial para la estabilidad de excavaciones subterráneas, esta es la que controla la estabilidad de un socavón, el sobredimensionamiento y el tipo de sostenimiento que se aplica mediante la utilización de métodos empíricos, numéricas y analíticas. (Nina C. J., 2017).

Teniendo la profundización de la zona Esperanza del Nivel 23, se tiene el avance del Crucero 212 SW, es importante definir el comportamiento del macizo rocoso para el buen control estructural como la orientación de las discontinuidades, la resistencia del macizo rocoso y para luego ser modelado, para el análisis de factor de seguridad con todos los parámetros obtenidos en laboratorio y los criterios obtenidos en el logeo geomecánico.

Las labores mineras se desarrollan a mayores profundidades, donde ocurren diferentes tipos de problemas de inestabilidad de la masa rocosa. Ya sea estallido de rocas, crujidos, aguas subterráneas, deslizamientos, caída de rocas, etc. dichos problemas puede suscitar, en el Nivel 23, Crucero 212, Donde los trabajadores y equipos están expuestos día a día a alto riesgo de sufrir accidentes.

Por lo expuesto el problema principal que se ha identificado en la Cia Minera Casapalca S.A. la aplicación no muy efectiva del sostenimiento de las labores mineras, esto a causa de la poca información geomecánica que se tiene en la expansión y profundización del nivel 23 de la zona esperanza. Asimismo, en la evaluación geomecánica existente en la mina, solo se cuenta con los tipos de calidad de roca según la clasificación geomecánica aplicada a la mina en mención. Sin embargo, faltan actualizar los planos geomecánicos y por ende determinar las zonas de mayor riesgo o menor riesgo, para escoger el mejor tipo de sostenimiento que se debe aplicar.

Además, cuando se aplica la clasificación geomecánica en todos los frentes de avance, nos damos cuenta que en muchos casos la realidad es otra, es decir en el terreno no se refleja la calidad de roca que dice el plano de zonificación, por estas razones, que nos hemos propuesto investigar y realizar la mejor zonificación geomecánica para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Cia Minera Casapalca S.A.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la zonificación geomecánica para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.?

1.1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo influye el mapeo geomecánico del macizo rocoso para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.?
- b) ¿Cómo influye las características del macizo rocoso para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Determinar la zonificación geomecánica y su influencia en el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Realizar y determinar el mapeo geomecánico del macizo rocoso y su influencia en la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.
- b) Determinar las características del macizo rocoso y cómo influye en la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Compañía Minera Casapalca S.A. En la Unidad Americana, zona Esperanza – Nivel 23, donde ocurren problemas de inestabilidad de la roca, que afecta a los trabajadores y equipos, por ello se plantea una zonificación geomecánica del macizo rocoso, teniendo en cuenta la proyección del avance propuesto por planeamiento. La zonificación geomecánica es con la finalidad de definir los valores de calidad de masa rocosa donde se debe plotearse en el plano y debe tomar o adoptar códigos de colores para señalar cada zona geomecánica o dominio estructural del crucero 212.

El siguiente estudio se realizó tanto en campo como en gabinete y se utilizan pruebas de resistencia (carga puntual digital), logueo geomecánico y mapeo de celdas, para el desarrollo de la investigación, que tiene el objetivo de determinar la zonificación geomecánica que permitirá tomar decisiones correctas para diferentes aspectos relacionados, como la dirección en la cual se debe avanzar la excavación, el tipo de roca, el tamaño que se debe excavar, el tiempo de exposición de la labor, y en especial el tipo de sostenimiento que se utilizará, en tal sentido se justifica la presente investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. A nivel internacional

(Cisterna, 2018). Realizó un trabajo de investigación geológica, presentó a la Universidad de Concepción – Chile titulado: “Caracterización geomecánica en faenas subterráneas de pequeña minería, caso de estudio mina los Pequeños, región de Coquimbo – Chile”. Su objetivo fue: Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso en un yacimiento de pequeña minería de la Región de Coquimbo, tipo vetas magnetita-apatito mediante el Índice Q de Barton (2000) y proponer modificaciones en el cálculo aplicables al sector, generar un mapa de zonificación geomecánica y proponer medidas correctivas. Llegando así a las siguientes conclusiones: Determinar calidad del macizo rocoso en una faena subterránea siempre ha sido catalogado como una actividad propia de profesionales, y los conocimientos básicos, no llegan a quienes no poseen los recursos para contratar un servicio de esta naturaleza. Si bien se trata de un área que no puede ser tomada ligeramente por las repercusiones que trae consigo en la seguridad de la explotación y por tanto de la vida de los trabajadores, existir métodos que puedan

aplicarse de manera sencilla, tratando en lo posible de reducir el factor de la subjetividad que la mayoría de los métodos simplificados trae (como por ejemplo el conocido GSI Geological Strenght Index). Esto permite que un productor minero pueda realizar un seguimiento del estado de la roca, y pueda prevenir accidentes por caída de rocas, derrumbes y “planchoneos”, que son los motivos principales de accidentes y muertes en pequeña minería. Es por ello que resulta lógico poder aplicar la metodología utilizada por Barton, y así determinar una calidad del macizo rocoso de manera simple, y sin estudios ni herramientas costosas. A pesar de que reduce significativamente la subjetividad, este factor es imposible eliminarlo completamente, ya que corresponde a descripciones netamente visuales. No obstante, lo anterior, se ha propuesto en este estudio simplificar aún más el método de Barton, y así sea más fácil el entendimiento de su elaboración e interpretación. Así, mientras Barton utiliza siete clasificaciones de roca, en este estudio se ha reducido sólo a tres (buena, mala y regular), que es lo necesario para que un minero tome medidas del caso cuando fuese necesario. Además, Barton aplica estos resultados en un gráfico que entrega recomendaciones de fortificación mediante pernos, hormigón proyectado, entre otros; lo cual se ha simplificado a la enmaderación, sistema de fortificación por excelencia en pequeña minería, y que permite sostener la misma roca con menores costos. Como la madera sin lugar a dudas tiene una resistencia a la compresión y la tensión menores al acero y al hormigón, es necesario recalcar que su eficiencia tendrá una menor vida útil, por lo que se debe reemplazar cada cierto tiempo según sea el tipo de roca y el tipo de fortificación implementada. Además, existen compuestos químicos que se pueden utilizar para prolongar su vida útil (FNa, Cl₂Zn y Na₂SF₆).

(Solano, 2016). En su línea de investigación Geológico, presentó a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia titulado: “Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos

aplicado a explotación minera a tajo abierto, (minas paz del río s.a.)”. Su objetivo fue desarrollar un enfoque que permita la caracterización y zonificación geomecánica de macizos rocosos durante las labores de desarrollo, preparación y explotación de una mina a cielo abierto, llegando a las siguientes conclusiones: Se realizó de manera satisfactoria una guía para la zonificación geomecánica de macizo rocoso, la cual puede ser empleada dentro del desarrollo, preparación y explotación de cualquier proyecto minero a tajo abierto. La guía para la descripción de parámetros geotécnicos desarrollada dentro del enfoque, permiten generar un conocimiento claro y detallado de las características principales a evaluar dentro de la clasificación geomecánica y su codificación estandarizada. La descripción de las actividades necesarias para el desarrollo de una zonificación geomecánica, se describen de manera sencilla y clara de modo que pueden ser entendida con facilidad para obtener los mejores resultados de las mismas. Los formatos generados permiten recopilar la información necesaria para la clasificación geomecánica de manera ordenada y concisa. Los resultados se evidencian que la calidad del macizo rocoso, de acuerdo a la calificación RMR (Rock Mass Rating) corresponde a clase II y III, las cuales se clasifican en bueno y medio respectivamente, presentando cohesión de 3–4 Kpa/cm³.y ángulos de fricción de 35°– 45° para la clase II y cohesión de 2–3 Kpa/cm³ con ángulos de fricción de 25°–35° para la clase III. La calidad de macizo rocoso obtenida tanto en afloramiento como del análisis de los núcleos de perforación presenta una clasificación II, denomina como calidad buena presentando pequeña variación dentro de los parámetros descritos en afloramiento que se encuentran ligados a los planos de discontinuidad, esto debido a la actividad antrópica propia dentro de desarrollo, preparación y explotación del proyecto minero el Santuario.

(Orellana, 2018). En su línea de investigación geológica, presentada a la Universidad Central del Ecuador: “Zonificación geomecánica

aplicando el método SMR-C (slope mass rating) en la cantera cerro Quinde, Cantón otavalo”. Donde su objetivo fue realizar la zonificación geomecánica aplicando el método del SMR-C (Continuo) en la cantera Cerro el Quinde de la concesión Selva Alegre, Cantón otavalo. Llegando a las siguientes conclusiones: El diagnóstico bibliográfico y el levantamiento de campo permitió definir dentro del área de estudio dos unidades litoestratigráficas. Donde las rocas cretácicas de ambiente volcanoclástica conocidas como la unidad Pilatón y las rocas eocénicas de ambiente marino denominadas como la unidad el Laurel. Realizó recorridos expeditivos dentro de la cantera Cerro Quinde, donde definió dos litologías de tipo metamórfico y volcanoclástico. Como rocas metamórficas que tenemos dos mármoles y hornofels, siendo los mármoles la litología más recurrente con una distribución espacial dominante que se encuentran ubicada en las estribaciones sur oriental del Cerro Quinde, específicamente al margen derecho del afluente principal río Quinde. Estas rocas de composición calcárea recrystalizadas presentan un bandeamiento típico posiblemente asociado a la deposición del mineral con presencia de material arcilloso. Su espesor ha disminuido por la explotación continua, actualmente se estima una potencia variable entre 70 y 400 m. En el macizo rocoso se observa tres familias de diaclasas y dos aleatorias, el origen de estas disyunciones se le atribuye al tectonismo al que estuvo sometido los mármoles por la presencia de fallas regionales como el Sistema de Falla Huayrapungo y la intrusión de Batolito de Apuela. Por otro lado, las rocas volcanoclásticas están representadas por rocas de composición intermedias: tobas, areniscas recrystalizadas y alteradas; en general presentan tonalidades verdosas en superficies frescas con una incipiente alteración propilítica. La unidad Pilatón presenta hasta tres familias de discontinuidades y en sectores se presenta localmente masiva (cantera). El contacto entre las dos unidades es discordante (773428; 30019; 1513) y en ciertos sectores es tectónico (774012; 31270; 1924), observándose la unidad el Laurel a la unidad Pilatón.

Para determinar la calidad del macizo rocoso se caracterizó 7 taludes donde se levantó 35 estaciones geomecánicas con el uso de una plantilla estandarizada obteniéndose aproximadamente 1800 datos con información de la matriz rocosa, el estado de las 84 discontinuidades y contenido del agua. Los datos fueron procesados mediante el uso de la geoestadística con el fin de sectorizar la calidad del macizo rocoso en los taludes de la cantera. Los valores obtenidos varían en un rango entre 49 y 59 definiéndola como roca clase III o calidad media. La geometría entre los 7 taludes sectorizados y las familias de discontinuidades tanto para la unidad el Laurel como para la unidad Pilatón permitió identificar tres tipos de rotura mediante el análisis cinemático de las discontinuidades obteniéndose como resultado una mayor frecuencia de rotura tipo cuña (45%), continuando con roturas tipo vuelco (33%) y en menor recurrencia la rotura planar (22%). En las rocas volcanoclásticas de la unidad Pilatón la rotura más inestable es la planar (Talud: N60E/45SE; Discontinuidad: N49E/48SE). Al aplicar el SMR-A, SMR-P y el SMR-C en los taludes del macizo rocoso de la cantera Cerro Quinde, se obtuvo valores mínimos entre 34 y 38 ubicándole una clase de estabilidad IV (Mala) y valores máximos entre 62 y 67 considerándole como una clase de estabilidad II (Buena). Hay que considerar que la rotura de mayor frecuencia en la unidad el Laurel es la rotura en cuña (50%) ubicándole entre valores parcialmente estables, de roca clase III, considerándoles como taludes normales. Además, la rotura predomina en las rocas de la unidad Pilatón es la planar (22%) ubicándola entre los valores parcialmente estables, de roca clase III. Los resultados obtenidos del cálculo del Slope Mass Rating ponderado y el realizado analíticamente, son similares o en algunos casos iguales, hay que considerar que las ponderaciones de los valores son establecidas mientras que para los valores calculados analíticamente varían en decimales por ser cálculos matemáticos; además para esta metodología solo se aplican los factores F1, F2 establecidos por Romana 1993. Al aplicar el Slope Mass Rating

mediante funciones continuas empleando los factores de F1, F2 y F3, considerado el tipo de rotura se asemejan a los valores de SMR calculados analíticamente y por ponderación, por lo tanto, se considera que es válido para ser aplicado en los taludes de la cantera. Al realizar el cálculo del SMR-C en el SIG, se establecen varios factores determinantes para que los valores sean aceptables como son: la topografía a detalle determina la dirección y el buzamiento del talud que es necesario para el cálculo de las variables (A y C), el tamaño de la celdas tiene que ser en función del detalle de la topografía para que se obtengan buenos resultados en cada pixel, la profundidad de cada pixel tiene que ser la misma para cada imagen raster obtenida, caso contrario no se realizan las operaciones para calcular el SMR-C. Hay que considerar que la variación de los resultados en cada talud calculados en el SIG, se deben a que el proceso realizado es para cada pixel que se encuentra en la imagen ráster, por lo tanto, se calcula un SMR-C para cada pixel.

2.1.2. A nivel nacional

(Nina G. , 2017). Realizo un trabajo de investigación presentada en la Universidad Nacional del Altiplano: “Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura”. Cuyo objetivo fue evaluar las características geomecánicas y la estabilidad de las labores en el proyecto San Gabriel CIA de minas Buenaventura. Llegando a las siguientes conclusiones: La evaluación geomecánica y estabilidad de las labores se determinó siguiendo una metodología de campo, laboratorio y gabinete, obteniéndose óptimos resultados que ayudaran en el proceso constructivo de las labores de exploración del Proyecto San Gabriel. Tambien realizó la evaluación de las características geomecánicas del sitio, a través de la realización de ensayos de laboratorio y mapeo de campo de 40 estaciones geomecánicas por el método de celdas o

ventanas, obteniéndose las características típicas del macizo rocoso presente en el Proyecto San Gabriel. Se caracterizan en 5 familias de discontinuidades relevantes, con un RQD de valor medio a bueno, espaciados muy junto a extremadamente junto, persistencia media a alta, con superficies rugosa, apertura angosta, relleno típico de óxido y condición de humedad. La clasificación geomecánica nos muestra que el Proyecto San Gabriel presenta un tipo de roca regular a buena calidad. Se realizó la evaluación de estabilidad por métodos empíricos, obteniéndose condiciones de estabilidad, tiempo de autosostenimiento, tipo de sostenimiento. Las excavaciones de sección 3.5 x 3.5 m como son las Cortadas de exploración en gran parte no requerirán sostenimiento, sin embargo, de presentarse un terreno de mala calidad será necesaria la evaluación de sostenimiento. Las excavaciones de sección 4.5 x 4.5 m como es el caso de la Rampa San Gabriel, requerirá un sostenimiento de tipo permanente que puede ser pernos helicoidales distribuidos de manera sistemática y finalmente las excavaciones de sección 7.0 x 7.0 m destinadas a ser Cámaras de perforación diamantina requerirán un sostenimiento más robusto como es el caso del Shotcrete más empernado sistemático. Finalmente, realizaron modelamientos numéricos por el método esfuerzo deformación para validar la estabilidad de las excavaciones.

(Aquino, 2018). Realizo un trabajo de investigación geológica, presentado en la Universidad de Ingeniería: “Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la unidad de producción orcopampa– Mina Chipmo, para determinar un método de minado alternativo para la explotación en vetas angostas”, Su objetivo fue: realizar una evaluación geológica y geomecánica del yacimiento en los blocks de minado más representativos de las zonas de Nazareno y Prometida. Llegaron a las siguientes conclusiones: Las características litológicas simplificadas de la masa rocosa involucrada con las estructuras mineralizadas en el presente estudio, indican que estas son vetas fallas que están ubicadas

dentro de una roca volcánica. Las estructuras Lucías se hallan dentro de dacita principalmente, riodacita y andesita en menor porcentaje. Para el caso de la veta Prometida R1 la litología que predomina es riodacita seguida de dacita. La veta Nazareno está hospedada en roca andesita mayormente y una pequeña proporción en dacitas. El análisis de distribución de discontinuidades estructurales, ha indicado que el arreglo estructural de la masa rocosa en las tres zonas de estudio: Prometida, Lucías y Nazareno, es aproximadamente similar, tanto para la roca encajonante como para el mineral, presentándose como sistemas principales aquellos que son aproximadamente paralelos al rumbo de las vetas (NEE) con buzamientos moderados a altos hacia el SE y al NW. Debido a las variaciones o giros en el rumbo de las vetas y fallas aparece un tercer o hasta un cuarto sistema que presentan rumbo aproximadamente EW y buzamiento al S y N. Los sistemas secundarios presentan por lo general rumbos aproximadamente perpendiculares al rumbo de las vetas y tienen buzamiento moderado al NE y SW. Las características estructurales de las discontinuidades se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geomecánico de las labores subterráneas y en el logueo geotécnico de los testigos de los sondajes diamantinos, la que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ. Según el criterio adoptado (Bieniawski, 1989), han indicado la presencia de varias calidades de masa rocosa, en general se observa rocas desde calidad Mala B (IIIB) hasta calidad Buena (II). Las rocas de menor calidad, generalmente IVA y IIIB, están asociadas a las vetas y sus cajas inmediatas y las de mayor calidad, generalmente IIIA, están en las cajas alejadas de las mismas. Los parámetros de resistencia tanto de la roca intacta, de las discontinuidades como de la masa rocosa se presentan en el Apendice 5.1 de esta tesis. En general, los diferentes tipos de rocas asociados a las vetas en estudio de Chipmo tienen resistencia de moderada a baja (R3), tanto el mineral como las cajas inmediatas. En relación a las características de presencia de agua subterránea en el

interior de la masa rocosa asociada a las estructuras mineralizadas, se ha observado en las labores mineras características que corresponden mayormente a condiciones de seca a húmeda, pero también se han observado sectores localizados donde hay condiciones de goteo e incluso flujo, habiéndose cortado en algunos sitios aguas termales. La presencia del agua en la roca de mala calidad influye adversamente en la estabilidad de las excavaciones y en la corrosión de los elementos metálicos del sostenimiento. Se ha estimado que el esfuerzo in situ vertical en Nivel 3050 (800 m de profundidad) es del orden de 21.6 MPa y el esfuerzo horizontal también se ha considerado del mismo orden, siendo la constante "k" (relación esfuerzo in-situ horizontal / esfuerzo in-situ vertical) aproximadamente igual a la unidad (1.0). Estos parámetros fueron establecidos mediante la aplicación de diferentes técnicas como el concepto de carga litostática, el criterio de Sheorey y el Mapa Mundial de esfuerzos (WSM). Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada previamente se han llevado a cabo los análisis de diseño sobre las condiciones de estabilidad local y global de las excavaciones asociadas al minado de las vetas en estudio. Los resultados de estos análisis, presentados en el Capítulo 7, sustentan y dimensionan los métodos de minado propuestos en esta tesis.

(Sosa J. , 2016). Realizo un trabajo de investigación, presentada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: “Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo”, teniendo como objetivo general realizar la evaluación geomecánica de la masa rocosa para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo Cia. Minera Milpo. Llegaron a los siguientes resultados: La clasificación geomecánica de la masa rocosa debajo del Nv. 1820, efectuada a partir de la información registrada en el mapeo geomecánico de labores subterráneas; en el oB5 y oB6, las masas rocosas de calidad Buena (II)

representan el 34 %, las de calidad Regular A (IIIA) representan el 33 %, las de calidad Regular B (IIIB) representan el 20 %, las de calidad Mala A (IVA) representan el 6 % y las de calidad Mala B (IVB) representan el 7 %. Los parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa, determinados a partir de ensayos realizados en campo y en laboratorio y a partir de la utilización de criterios de falla apropiados. En la Mina Cerro Lindo no es muy significativa la presencia de agua subterránea, generalmente las condiciones naturales son de secas a húmedas. La presencia de agua está relacionada principalmente a la operación minera: agua de las perforaciones de producción, el agua de las perforaciones diamantinas, y el agua del relleno, que se infiltran en la masa rocosa y percolan hacia las labores inferiores.

(Marquez, 2018). Realizo un trabajo de investigación presentada en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo: “Geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad del nivel 730 – unidad minera San Cristóbal – Volcan 2016. Su objetivo principal fue: Aplicar la geomecánica al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad del Nivel 730 de la Unidad Minera San Cristóbal Volcan – 2016. Donde llegaron a las siguientes conclusiones: la geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento mejora la estabilidad del Nivel 730 de la UM San Cristóbal Volcán, puesto que de acuerdo a la aplicación del Phase2 se puede observar que no existen muchas deformaciones en los nodos respectivos. La caracterización del macizo rocoso, realizado en el Nivel 730 nos cuantifica como una calidad de macizo rocoso que nos garantizara la estabilidad de la mina en el Nivel 730.

(Tacuri, 2017). Realizo un trabajo de investigación presentada en la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga: “Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en

la mina Hércules – cia minera Lincuna S.A.” Su objetivo principal fue: Determinar el estado Geomecánico del macizo rocoso de la Mina Hércules. Llegando a las siguientes conclusiones: Conforme a la aplicación de sistemas Geomecánicos el RMR del macizo rocoso en el nivel 4300 está comprendido entre 21 a 75 y el Q entre 3 a 9. La clasificación Geomecánica tiene dos aplicaciones, la primera es para seleccionar el tipo de sostenimiento que debe aplicarse a una determina labor subterránea y la segunda es un parámetro para diseñar adecuadamente la malla de perforación – voladura. Los tipos de sostenimiento aplicados en la mina Hércules son: Shotcrete, pernos helicoidales, malla electrosoldada, pernos de fricción, pernos expansivos, cuadros de madera, pilares de madera y puntales. Se ha visto que una selección inadecuada de sostenimiento puede resultar costoso en la excavación de la labor. La clasificación Geomecánica practicada en el nivel 4300 de la Mina Hércules al conocimiento de tres tipos de rocas que a su vez ha determinado el sostenimiento a utilizarse para su estabilidad como también la formulación de los costos unitarios de excavación. Teniendo en cuenta el proceso constructivo y el RMR hallado, las rocas a su vez se clasifican en roca tipo I, II, III y IV respectivamente. De acuerdo a la clasificación Geomecánica GSI, las rocas existentes en el nivel 4300 de la Mina Hércules, tienen calidad: buena ($RMR > 70$) regular ($RMR = 51$ a 70), calidad mala ($RMR = 21 - 40$). Las rocas que constituyen las cajas del yacimiento son principalmente tufos, brechas, andesitas y dacitas.

2.1.3. A nivel regional

(Fabian & Jhoel, 2017). Realizó un trabajo de investigación presentada en la Universidad Nacional de Huancavelica: “Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la Cía. minera Reyna Cristina – Ancash”. Cuyo objetivo es determinar la influencia de la

aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina. Llegando a las siguientes conclusiones: Con la aplicación de la geomecánica, los resultados durante los meses de trabajo de enero a octubre del 2015, se tuvo 29.2% accidentados, logrando disminuir los accidentes por desprendimientos de rocas, como se muestra en el cuadro estadístico de accidentes con una diferencia de 70.8% accidentados desde enero a octubre del 2015. Con la aplicación de la geomecánica y el uso de las tablas (RMR y GSI) dieron resultados positivos minimizando los accidentes leves en 53.9% en el año 2015, con una diferencia de 46.1% accidentados del acumulado en el año 2014. Con la aplicación de la geomecánica, se tiene estos resultados de 20% accidentes incapacitantes, con una diferencia del 80% de accidentes observando resultados claros en la disminución de accidentes incapacitantes en los trabajadores en los años 2014 y 2015 en las operaciones mineras. Con la aplicación de la geomecánica en la Cía. Minera Reyna Cristina – Ancash se ha demostrado que después de la aplicación del proyecto en los frentes de avances de carbón, los accidentes mortales se han reducido al 100% en el periodo de enero a octubre del 2015 con una diferencia de dos mortales que corresponden al año 2014.

(Gaspar & Illanes, 2015). Realizó un trabajo de investigación presentada en la Universidad Nacional de Huancavelica: “Estudio comparativo entre la clasificación geomecánica de índice de resistencia geológica (GSI) y rango del macizo rocoso (RMR) en el sostenimiento de la masa rocosa del nivel 720– Sociedad Minera Corona S.A.” cuyo objetivo principal es: Determinar la relación que existe entre la clasificación geomecánica de índice de resistencia geológica (GSI) y el rango de macizo rocoso (RMR) en el sostenimiento de la masa rocosa del nivel 720 de la Sociedad minera Corona de la unidad de producción Yauricocha. Las conclusiones a las que llegaron son: De acuerdo a la

prueba de coeficiente de Pearson nos determina que la relación es 0.62 esto indica que hay una relación entre la clasificación geomecánica y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis prueba. Con el estudio comparativo de índice de Resistencia Geológica (GSI) y Rango de Macizo Rocosos (RMR) los trabajos de sostenimiento se aplican de acuerdo a la evolución si es de tipo activos reforzados. El caso del presente, debe considerarse como el desarrollo de un trabajo a nivel de un reconocimiento rápido de la zona donde se desea realizar posibles obras civiles, tales como túneles o cortes para carreteras. El GSI debido a su sencillez y fácil medición proporciona datos de primera mano que serán tomados como punto de partida para estudios cada vez más detallados. Debido a que el GSI solo toma dos parámetros, este siempre debe estar sujeto a correcciones dadas por el ambiente geológico y naturaleza de la obra, tales correcciones por lo general son: por presión, por orientación, presencia de agua y por trabajos en zonas de falla. El diseño del sostenimiento se realizó en base a toda la información que se ha tenido disponible, información que ha sido desarrollada mediante mapeos geotécnicos de las excavaciones existentes en el Nv. 720 en los alrededores del área del nuevo pique y del logeo geomecánico del Sondaje PQ-12-03 realizado desde superficie hasta los 1003.6 m de profundidad. Durante la construcción, de ser necesario, se realizó los ajustes del caso, según las condiciones geomecánicas reales que sean encontradas en la masa rocosa teniendo presente que este sondaje se halla a 70 m del eje del nuevo pique

(Quinto & Huamanyalli, 2017). Realizó un trabajo de investigación presentada en la Universidad Nacional de Huancavelica: “Análisis geomecánica para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad”. Cuyo objetivo principal es: Seleccionar el método de explotación óptimo mediante el análisis geomecánica para la explotación de la Veta Almiranta – Zona

Profundización de la Mina Quiruvilca. Llegando a las conclusiones siguientes: En función a la geometría, potencia, inclinación, profundidad a la que se trabajó, distribución de leyes y las características geotécnicas del mineral y las paredes (Colgante y Yacente) que presentaron la veta Almiranta y su entorno físico el método “Cut and Fill Stopping” este método es aplicable para la explotación de la veta Almiranta. La caracterización geomecánica de macizo rocoso de la Veta Almiranta y sus cajas (Caja techo y caja piso) se concluyó que el macizo rocoso según el sistema de valoración RMR en sus distintos dominios estructurales se clasifica como un macizo rocoso tipo IVA en la veta y IIIA, IIIB para la caja techo y caja piso respectivamente. De la comparación y evaluación realizada a los diferentes métodos de explotación, no se optó por elegir el método de explotación que se ubica en el ranking uno (1) de los resultados de la metodología de D.E. Nicholas, porque el yacimiento es en forma de veta y se trabajó a profundidades mayores a 450m. Del dimensionamiento geomecánico para la explotación se ha empleado la técnica del “Método Grafico de Estabilidad”, se tiene que las dimensiones máximas de los tajeos en la veta Almiranta, teniendo en consideración que en la mina Quiruvilca se trabaja de forma convencional, la altura máxima de los tajeos serán de cinco metros (5 m), y en función a ello el largo de 45m y ancho igual a potencia de veta, con estas dimensiones las superficies del tajeo se encuentran en la zona estable sin sostenimiento. Del acuerdo al RMR 89 que tenga la roca encajonante (caja techo y caja piso) se usará las secuencias de minado en “Realce masivo”, “Realce por tramos en avanzada” y “Breasting en avanzada”, para lo cual se tienen los planos 03, 04, 05, en donde se tiene la secuencia de minado al detalle. La resistencia a la compresión simple de la roca intacta realizada con el martillo de Schmidt en algunos puntos disminuye significativamente, esto es debido a la presencia de fallas geológicas locales en el área en estudio (Plano geológico de la veta Almiranta).

2.2. BASES TEÓRICAS SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACION

2.1.1. Mecánica de rocas

“Esta área siempre esta aplicada a la práctica de ingeniería minera y civil, que forma parte de la ingeniería mecánica clásica, como un curso es la ciencia teórica, que detalla el comportamiento de las rocas y de los macizos rocosos. Es una rama de la ingeniería que se dedica al estudio del material rocoso que interactúa en su alrededor de la masa rocosa”. (Ramirez P. A., 2004)

“La mecánica de rocas se dedica al estudio tanto teórico y práctico de las características de las fracturas y el comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y se aplica en su ambiente físico de la roca. Esta ingeniería tiene una relación con otras áreas; como la geología estructural, mecánica de suelos.” (González de Vallejo & Ferrer, 2002)

“Es toda estructura de ingeniería mecánica, que se desarrolla en macizo rocoso, que necesita un buen diseño y una técnica de estudio para un buen análisis, realización y una operación en túneles tanto minería e ingeniería civil.” (Guzman I. C., 2017)

“La mecánica de rocas es la ciencia teórica aplicada al comportamiento mecánico del material rocoso, es una especialidad que da respuesta a los movimientos de fuerzas que existe en su entorno de la masa rocosa.” (Comite Nacional de Mecanica Rocas, 1974)

2.1.2. Geomecánica

“La geomecanica tiende a tener una perspectiva de dar respuesta al campo de estudio en los aspectos geológicos, considerando los suelos. Es la unión de ideas, conocimiento del comportamiento mecánico de los materiales geológicos, que constituye la estructura de la roca.” (Guzman I. C., 2017)

“Es una disciplina que contempla de detallar el comportamiento mecánico del material rocoso, y de las cargas empujadas sobre un túnel”. (Berrocal, 2015)

“La geomecánica integra en la actualidad el sustento científico de la ingeniería minera, a diferencia de la ingeniería civil que tiene sus propios particulares, orientado por una idea “vida económica”, junto con el favor económico con márgenes ajustados de seguridad, lo cual genera problemas para el diseño de explotación de minas. Para esta situación la geomecánica implica la seguridad y economía.” (Guzman I. C., 2017)

“La geomecánica es la ciencia que se encarga de indagar las propiedades mecánicas de los materiales geológicos que constituye la formación de roca. Esta materia se justifica en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, que se relacionan con el comportamiento de los esfuerzos existentes.” (Ramirez P. A., 2004)

“La Geomecánica es una disciplina que se utiliza en la mecánica clásica para caracterizar el comportamiento de los materiales geológicos bajo distintas circunstancias de los esfuerzos. Involucra a grandes escalas geométricas como son tectónica global y la interacción de las placas continentales.” (López, Pérez, & Reyes, 2007)

2.1.3. Propiedades geomecánicas de las discontinuidades de la masa rocosa

Las propiedades geomecánicas de las fracturas que más sobresalen en el comportamiento de la roca, se detallan los tipos de discontinuidades y se especifican los factores físicos y geométricos que influye en las propiedades y el comportamiento mecánico. Se tiene propiedades de las discontinuidades, como la rugosidad, persistencia, apertura y relleno, que determinan el comportamiento mecánico de la roca y de las discontinuidades.

2.1.3.1. Orientación

Es la postura de la discontinuidad en la superficie y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un conjunto de discontinuidades se muestra con semejante dirección o en otras palabras son aproximadamente correlativo, se dice que estas conforman un sistema o una familia de discontinuidades. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004)

Las orientaciones son homogéneas y la distancia de los diferentes sistemas del material rocoso se conceptualiza en el aspecto de bloques que constituye el macizo rocoso. En cambio, la orientación de una fractura en el espacio queda definida por la posición de la línea inclinada en el plano de estructura respecto al rumbo, y por una línea de buzamiento. Para realizar la medición se utiliza la brújula. (González de Vallejo & Ferrer, 2002)

En función a la gráfica, la orientación de los diferentes sistemas de discontinuidades se desarrolla de la siguiente manera:

- Proyección estereográfica; son representaciones de polos para las distintas familias de fracturas.

- Diagramas de rosetas; son representaciones de las orientaciones de mayor número de familias en forma cuantitativa (Figura 1).
- Bloques diagrama; define una visualización general de sistemas de fracturas y su dirección correspondiente.
- Símbolos en mapas geológicos; son valores de orientación y buzamiento para las diferentes discontinuidades.

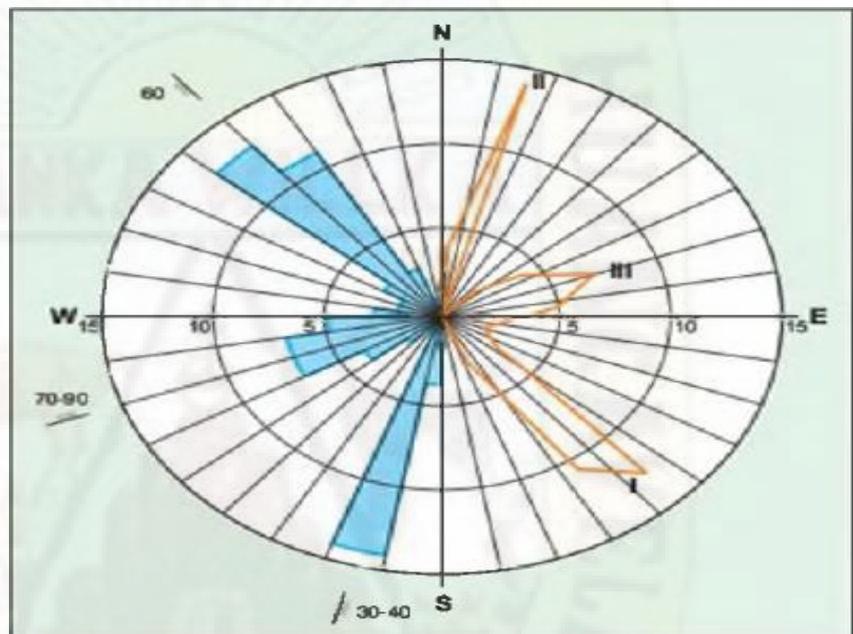


Figura N° 1: Representación de datos de orientación en un diagrama de rosetas

Fuente: ISRM 1981

La dirección e inclinación de las fracturas estructurales del macizo rocoso son factores importantes a tomar en cuenta para el diseño de una excavación subterránea. Por tanto, a pesar de que un equipo especializado de perforación haya alcanzado bastante éxito en la recuperación del testigo, se perderá mucha información interesante por no hacer un buen estudio de testigos de perforación para el caso de orientación. (Ramírez, Lain, & Grijalbo, 1991).

En esta área de geotecnia lo más común es explicar las fracturas utilizando el buzamiento y la pendiente del plano. Se tiene un

ejemplo, 210/45 nos indica que la orientación de buzamiento se posiciona en 210° del norte verdadero en la dirección de las agujas del reloj y el plano cuenta con una pendiente de 45°. Para realizar las mediciones de dirección de rumbo se utiliza la brújula sobre la discontinuidad. (Ramírez P. A., 2004)

2.1.3.2. Espaciado

Es una amplitud entre dos planos de fracturas de una misma familia, la medición se realiza en sentido vertical hacia el plano. La separación de dos planos determina la importancia de escala de las estructuras del macizo rocoso, y se tiene la respuesta del comportamiento mecánico de la roca y de las fracturas. Para los bloques de longitudes, el comportamiento de la roca tendrá el equilibrio estable. en cambio, cuando los bloques tienen menor longitud, el comportamiento será débil. Para realizar las mediciones en los afloramientos no se puede emplear de forma vertical sino se debe utilizar espaciados aparentes y así obtener la distancia real. En la siguiente figura se muestra las caras de una superficie de un bloque para realizar la medición aparente de tres sistemas de fracturas, para ello se usa la cinta métrica se mide verticalmente las trazas de la estructura de las familias. Con ello obtener la longitud d , que posteriormente será corregido para el cálculo de espaciado real:

$$e = d \cdot \text{sen} \alpha$$

Siendo e el espaciado real, d la distancia media y α el ángulo entre la línea de medición y la dirección de la familia. (González de Vallejo & Ferrer, 2002)

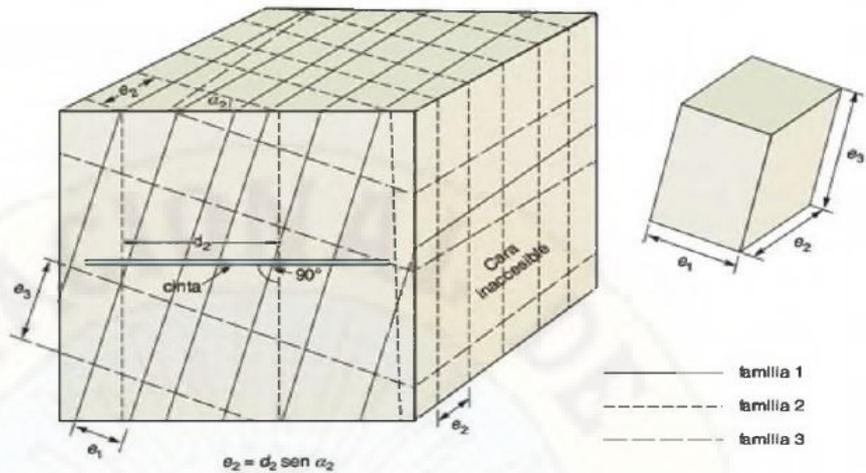


Figura N° 2: Medida del espacio en una cara expuesta del afloramiento
Fuente: ISRM (1981)

“Es la longitud vertical en medio de discontinuidades contiguas. Este especifica la dimensión de los bloques de roca intacta. Cuanto menor exista el espaciado el bloque de rocas será menor, y cuanto más grande sea el espaciado, los bloques serán de grandes dimensiones.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

Se le conoce espaciado, a unos sistemas de fracturas sub paralelas a una distancia media entre ellas. La separación de las discontinuidades es el factor que más afecta en la dimensión de los bloques que conforma el material rocoso. También influye otros factores en la deformabilidad de los bloques de la roca. Para la medición de espaciado se utiliza flexómetro perpendicularmente a las juntas que se encuentran en la estructura de la roca. (Ramírez P. A., 2004)

Cuando no se puede hacer la medida de separación de fracturas se procede hacer corrección para tener el espaciado verdadero con la siguiente fórmula.

$$S = d_m \cdot \text{sen} \alpha$$

S = espacio real

d_m = distancia aparente

a = ángulo q forma el rumbo de las discontinuidades a la dirección del talud.

Tabla N° 1: Valores de espaciado

Descripción	Espaciado en mm
Extremadamente cerrado	< 20
Muy cerrado	20–60
Cerrado	60–200
Moderado	200–600
Abierto	600–2000
Muy abierto	2000–6000
Extremadamente abierto	>6000

Fuente: ISRM (1981)

2.1.3.3. Persistencia

Es la longitud en superficie o dimensión de una discontinuidad. Cuanto menos sea la continuidad, la masa rocosa será más seguro y cuanto mayor sea esta, será inestable. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

La continuidad de una junta de discontinuidad es la distancia superficial, la medición se realiza según orientación que continua la extensión de la fractura y según su buzamiento. Es un factor muy fundamental para cuantificar la calidad de la masa rocosa, aunque es considerado complicado la cuantificación, para la visualización directa del plano de discontinuidad se tiene que ver la dirección aparente. (González de Vallejo & Ferrer, 2002).

Se conceptualiza la persistencia como una longitud que se extiende a lo largo de la discontinuidad. La dimensión de una estructura continua del material rocoso se debe cuantificar examinando su longitud en los afloramientos superficiales de la roca, puede ser en la dirección de rumbo y del buzamiento. (Ramírez & Leandro, 2004)

Tabla N° 2: Terminología de continuidad recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

Término	Continuidad en m
Muy pequeña	< 1
Pequeña	1–3
Media	3–10
Grande	10–20
Muy Grande	> 20

Fuente: ISRM (Brown, 1981)

2.1.3.4. Rugosidad

La rugosidad es la aspereza de una junta de roca de una fractura, a menor rugosidad de superficie del macizo rocoso será inestable la roca y a mayor rigidez la masa rocosa tendrá mayor equilibrio. (Rodríguez, 2017).

La rigidez de una discontinuidad se caracteriza por dos causas que son la ondulación y aspereza. La ondulación es alterada a mayor escala que produce una fuerte dilatación de la discontinuidad a causa del ensayo de desplazamiento cortante. En tanto la aspereza tiende a menor escala que al final pueden desaparecer con el desplazamiento cortante de la discontinuidad. Para determinar el valor de la resistencia al corte se obtiene en el laboratorio ensayando muestras de rugosidad de fracturas, si es a gran escala el experimento será de corte directo in situ. (Ramirez & Leandro, 2004)

La SIMR (Brown, 1981) presenta la clasificación de dos escalas para cuantificar la aspereza de las discontinuidades:

- Escala intermedia; Es para examinar la distancia de rugosidad y tiene tres grados: escalonada, ondulada y plana.
- Escala pequeña; para esta escala la distancia es menor: rugosa, lisa o suave y pulida o espejo de falla.

Se puede calcular el JRC mediante el peine de Bartón y un ábaco que principalmente sirve para determinar la rugosidad. Para lo cual se estimará la longitud máxima de rugosidad en milímetros, con este dato se procederá en el ábaco para obtener un resultado de JRC.

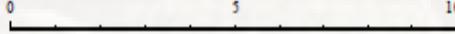
	JRC	Rugosidad RMR
1 	0 - 2	Espejo de falla
2 	2 - 4	Lisa
3 	4 - 6	
4 	6 - 8	
5 	8 - 10	Ligeramente Rugosa
6 	10 - 12	
7 	12 - 14	Rugosa
8 	14 - 16	
9 	16 - 18	Muy Rugosa
10 	18 - 20	
		

Figura N° 3: Rugosidad según JRC
Fuente: ISRM (Brown, 1981)

2.1.3.5. Apertura

La abertura es la longitud transversal que distancia las paredes de la estructura rocosa, cuando no existe relleno alguno. Este es una de los parámetros que puede presentar distintas zonas de abertura en la roca, la medición se efectúa con una regla graduada en milímetros. Cuando la abertura es muy pequeña se utiliza calibre. (González de Vallejo & Ferrer, 2002)

La conceptualización de la apertura es la longitud vertical que divide las paredes de las discontinuidades de la roca, el intermedio puede estar rellena por agua o aire. Como se muestra en la siguiente figura. (Ramirez P. A., 2004)

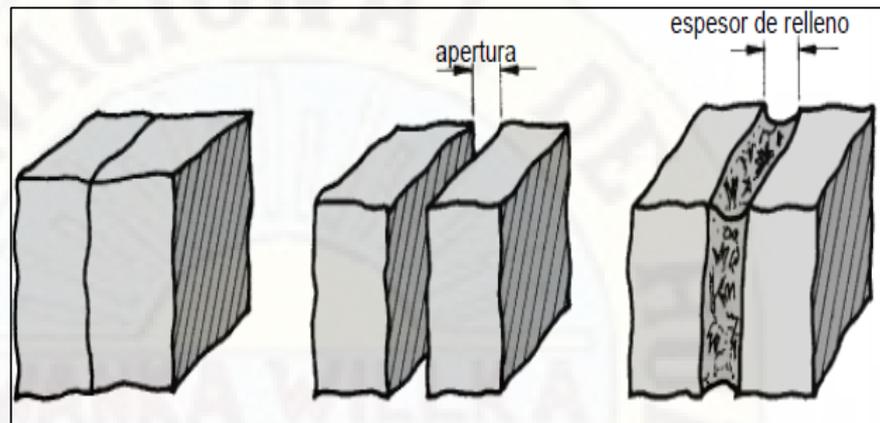


Figura N° 4: Abertura de las paredes rocosas
Fuente: Ramirez & Alejano (2004)

“Es el grado de abierto que expone la apertura de la roca. También es definido como la separación de la pared rocosa de una discontinuidad A menor separación, las condiciones del material rocoso será competente y mayor apertura, las condiciones serán menos competentes.” (Rodríguez, 2017).

Tabla N° 3: Terminología de apertura recomendada por la SIMR

APERTURA	DESCRIPCION	ASPECTO
< 0.1 mm	Muy Cerrada	
0.1–0.25 mm	Cerrada	Aspecto Cerrado
0.25–0.5 mm	Parcialmente Abierta	
0.5–2.5 mm	Abierta	
2.5–10 mm	Moderadamente Ancha	Aspecto de hendidura
> 10 mm	Ancha	
1–10 cm	Muy Ancha	
10–100 cm	Extremadamente Ancha	Aspecto abierto
> 1 m	Cavernosa	

Fuente: (Brown, 1981)

2.1.3.6. Relleno

Las discontinuidades son rellenas de un material por efectos de intemperización de la naturaleza que es distinta a la pared

rocosa. Se encuentra una gran diversidad de materiales de repleto con propiedades físicas y mecánicas. La existencia de relleno causa en el comportamiento de la discontinuidad, por lo que estos deben ser tomados en cuenta para la cuantificación sus propiedades. (González de Vallejo & Ferrer, 2002).

“Son rellenos de distintos materiales que se encuentran dentro de la fractura. Cuando el material es suave, el macizo rocoso es desfavorable y cuando el material es duro son favorables para la excavación.” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energía, 2004)

2.1.4. Condiciones de la masa rocosa

De acuerdo a las características que tienen el material rocoso, tendrá un comportamiento definido al ser excavada y mencionamos: (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energía, 2004).

- Cuando la roca intacta es compacto y duro las discontinuidades presentan propiedades favorables, la matriz rocosa será resistente, porque presenta condiciones favorables para la excavación.
- Cuando la roca intacta es débil las discontinuidades presentaran características desventajosas, la matriz rocosa será frágil, y presentará condiciones desfavorables para la excavación.
- Se tendrá situaciones intermedias de las antes mencionadas donde la matriz presentará condiciones regulares para la excavación.

A. Criterios según la resistencia de la roca

Teniendo la resistencia de la roca a fracturar o indentarse con golpes de barretilla o picota, se detalla una guía práctica de clasificación de la roca de la siguiente manera. (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energía, 2004)

- *Resistencia muy alta*
Se fractura con varios golpes de picota

- *Resistencia alta*
Se fragmenta con más de 3 golpes de picota
- *Resistencia media*
Se fragmenta con 1 a 3 golpes de picota
- *Resistencia baja*
Se indenta a la roca con la punta de la picota
- *Resistencia muy baja*
Se indenta profundamente con la punta de la picota.

B. Criterios según las características del fracturamiento

“Para poder clasificar la matriz rocosa se debe tomar las características del grado de presencia de las discontinuidades, la medición se realiza a lo largo de un metro lineal para saber cuántas fracturas se presentan en la masa rocosa, teniendo el concepto mencionamos la guía práctica:” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energía, 2004)

- *Masiva o levemente fracturada:*
2 a 6 fracturas / metro lineal
- *Moderadamente fracturada*
6 a 12 fracturas / metro lineal
- *Muy fracturada*
12 a 20 fracturas / metro lineal
- *Intensamente fractura*
Más de 20 fracturas / metro lineal
- *Triturada o brechada:*
Disgregada, zona de falla y fragmentada.

C. Criterio según las condiciones de las paredes de las discontinuidades

“Para este criterio se toma en cuenta algunas características de las discontinuidades como la rugosidad, relleno, abertura, meteorización o alteración, y se tiene la siguiente clasificación de la masa rocosa:” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

- *Condición muy buena*
Cuando las fracturas están cerradas, muy rugosas.
- *Condición buena*
Cuando están ligeramente abiertas, moderadamente rugosas y existe zonas de oxidación.
- *Condición regular*
cuando están moderadamente abiertas, ligeramente rugosas a lisas y presentan oxidación.
- *Condición mala*
Cuando están abiertas, lisas y presentan limo o panizo
- *Condición muy mala*
cuando están muy abiertas, estriadas y tienen relleno de panizo.

D. Condiciones geomecánicas

“Para saber el comportamiento del material rocoso se debe tener en cuenta todas las características y así combinamos las clasificaciones antes mencionadas, considerando la resistencia de la roca, las características del fracturamiento y las condiciones de las paredes de las discontinuidades, la masa rocosa se clasifica en cinco categorías:” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

- *Masa rocosa muy buena*

Condiciones geomecánicas muy favorable para la excavación.

- *Masa rocosa buena*
condiciones geomecánicas favorables para la excavación.
- *Masa rocosa regular*
condiciones geomecánicas regulares para la excavación.
- *Masa rocosa mala*
Condiciones geomecánicas desfavorables para la excavación.
- *Masa rocosa muy mala*
Condiciones geomecánicas muy desfavorables para la excavación.

E. Otros factores a tener en cuenta

“Teniendo las condiciones del macizo rocoso para cada área de la mina, se conocerá el comportamiento de la roca durante la excavación, pero es importante, conocer otros aspectos o factores adicionales que podrían alterar su comportamiento al ser minado. Se tiene otros factores a tener en cuenta:” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004)

- La presencia de fallas principales
- La presencia de agua
- La presencia de los esfuerzos o también denominados presiones de la roca o del terreno.

2.1.4.1. Clasificación geomecánica de la masa rocosa

Para tener conceptos de las condiciones de la masa rocosa de una forma ordenada, existen hoy en día criterios de clasificación geomecánica ampliamente difundidos en todo el mundo, como los desarrollados por Barton y colaboradores (1974), Laubscher (1977), Bieniawski (1989), Hoek y Marinos (2000) y otros.

Se presenta por su simplicidad y utilidad los criterios RMR (Valoración de la masa rocosa) de Bieniawski (1989) y GSI (Índice de Resistencia Geológica) de Hoek y Marinos (2000), los mismos que se determinan utilizando los datos de los mapeos geomecánicos realizados en las paredes de las labores mineras.

2.1.4.2. El criterio RMR de Bieniaswki (1989)

Este criterio toma en cuenta cinco parámetros:

a. La resistencia compresiva (R_c) de la roca intacta:

Este parámetro se puede determinar con golpes de picota o con otras técnicas como los ensayos de laboratorio.

“Para definir la resistencia a compresión simple de un material rocoso, se puede llevar a cabo con un equipo portátil para el ensayo de carga puntual, en los laboratorios con la prensa hidráulica, la resistencia de un material rocoso no debe ser confundida con su dureza.” (Berrocal, 2015).

Tabla N° 4: Resistencia de la roca

Descripción	resistencia a la compresión simple Mpa	resistencia bajo carga puntual Mpa	Ejemplos de Roca
Muy Alta	> 200	> 8	cuarcita, basalto, gabro
Alta	100–200	4–8	mármol, granito,
Regular	50–100	2–4	arenisca, pizarra, lutita
Baja	25–50	1–2	Carbón, limonita, esquisto
Muy Baja	10–25	<1	yeso, sal de roca
	3–10	<1	
	1–3	< 1	

Fuente: Bieniaswki (1989)

b. El RQD (R0ck Quality Designati0n):

“El índice de calidad de roca se utiliza en los testigos de perforaciones diamantinas. El RQD es el porcentaje de fragmentos de testigos recuperados mayores a 10cm de la longitud total del taladro.” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia, 2004).

“En 1964 Deere, plantea un índice cuantificado de la calidad del macizo rocoso, fundamentada en la recuperación de los testigos de perforación, llamada RQD índice de calidad de roca, se conceptualiza como el porcentaje de testigos, restituidos en tramos mayores de 100mm sobre el total de longitud de barreno. Normalmente se utiliza los testigos con un diámetro de 50mm. El cálculo de RQD se halla con la siguiente relación:” (Berrocal, 2015).

$$RQD(\%) = \frac{\text{Longitud de los testigos mayores de 100mm}}{\text{Largo total del barreno}} \times 100$$

En algunos casos, no existe la posibilidad de medir el % RQD por lo que puede recurrirse a correlaciones empíricas para su determinación a partir de medidas realizadas en los afloramientos rocosos. Algunas de estas correlaciones son las expuestas a continuación:

$$RQD = 115 - 3.3Jv \dots \text{Palmstrom (1975)}$$

$$RQD = QD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \dots \text{Hudson(1989)}$$

Tabla N° 5: Valoración de RQD

Calidad de testigo de perforación RQD	90–100	75–90	50–75	25–50	< 25
Valoración	20	17	13	8	3

Fuente: Centro de Capacitación Geomecánica y Geotecnia

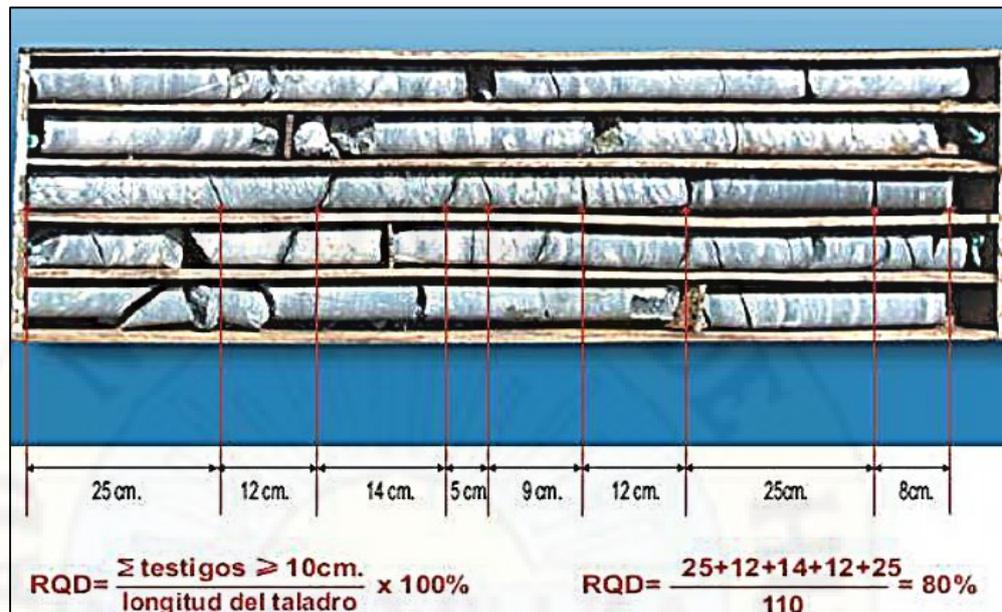


Figura N° 5: Ejemplo de testigos de perforación diamantina
Fuente: Centro de Capacitación Geomecánica y Geotecnia

c. El espaciamiento de las discontinuidades

“Es un criterio que toma en cuenta la separación o abertura de las fracturas, El espaciado se determina mediante el uso de flexómetro, cuanto más espaciado es mejor y cuanto menos es inestable.” (Berrocal, 2015)

Tabla N° 6: Espaciamiento de las discontinuidades

Descripción del Espaciado	Espaciamiento de Juntas	Tipo de Macizo Rocoso
Muy Ancho	> 3 mt	Solido
Ancho	1 - 3 mt	Masivo
Moderadamente Cerrado	0.3 - 1 mt	En Bloques
Cerrado	50 - 300 mm	Fracturado
Muy Cerrado	< 50 mm	Molido

Fuente: ISMR (1981).

d. La condición de las discontinuidades:

“Se menciona en este caso a la continuidad, apertura, rugosidad, relleno y meteorización. Los cuales son parámetro que toman valores según la tabla de valoración de las discontinuidades de la masa rocosa.” **(Berrocal, 2015)**

Tabla N° 7: valoración de las condiciones de las discontinuidades.

PARÁMETROS	VALORACIÓN				
longitud de las discontinuidades (persistencia)	< 1 m 6	1 - 3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0
Separación (apertura)	Ninguno 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0
Rugosidad	Muy rugoso 6	Rugosa 5	Ligeramente Rugoso 3	Liso 1	Espejo de falla 0
Relleno de (panizo)	Ninguno 6	Relleno Duro < 5 mm 4		Relleno Blando > 5 mm 2	
Meteorización	No Meteorizado 6	Ligeramente Meteorizado 5	Moderadamente Meteorizados 3	Muy Meteorizado 1	Descompuesto 0

Fuente: Centro de Capacitación Geomecánica y Geotecnia

e. La presencia de agua subterránea.

“El agua subterránea es muy importante tomar en cuenta para la valoración de aguas en los macizos rocosos. Que estos influyen en el comportamiento de las rocas, degradando para su posterior deterioro característico para las propiedades mecánicas.” **(Berrocal, 2015)**

Tabla N° 8: Valoración de Aguas Subterráneas.

	Flujo de Agua por 10 m de Longitud de Túnel (1 T/mina)	Ninguno	< 10	10 - 25	24 - 125	> 125
Agua ubterránea	Relación: presión de discontinuidades/ Esfuerzo Principal	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Condiciones Generales	Completamente Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
	Valoración	15	10	7	4	0

Fuente: Centro de Capacitación Geomecánica y Geotecnia

2.1.4.3. El índice de resistencia geológica GSI de Hoek y Marinos (2000)

“El índice de resistencia geológica toma en cuenta cinco parámetros para el macizo rocoso, esto para compatibilizar con el criterio RMR. El GSI estima dos parámetros: la condición de la estructura del macizo rocoso y la condición superficial del macizo rocoso.”
(Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

1. La estructura: estima el grado de fracturamiento o la cantidad de fisuras(discontinuidades) por metro lineal, según esto se considera cinco categorías:
 - Masiva o Levemente Fracturada (LF)
 - Moderadamente Fracturada (F)
 - Muy Fracturada (MF)
 - Intensamente Fracturada (IF)
 - Triturada o Brechada (T)

2. La condición superficial; relacionado con la resistencia de la roca intacta y las propiedades de las discontinuidades: resistencia, abertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, se considera las cinco categorías:
 - Muy Buena (MB)
 - Buena (B)
 - Regular (R)
 - Mala (M)
 - Muy Mala (MM)

Se señala que existe varios puntos de vista de clasificación geomecanica, hay relaciones matemáticas para su correlación. Por ejemplo, el RMR de Bieniawski (1989), esta correlacionado al Q (índice de calidad de la masa rocosa) de Barton (1974), por la expresión $RMR = 9 \ln Q + 44$. Por otro lado, el RMR de Bieniawski (1989) está asociado al GSI de Hoek y Marinos (2000), por $GSI = RMR - 5$, para el caso $RMR > 23$ y condiciones secas.

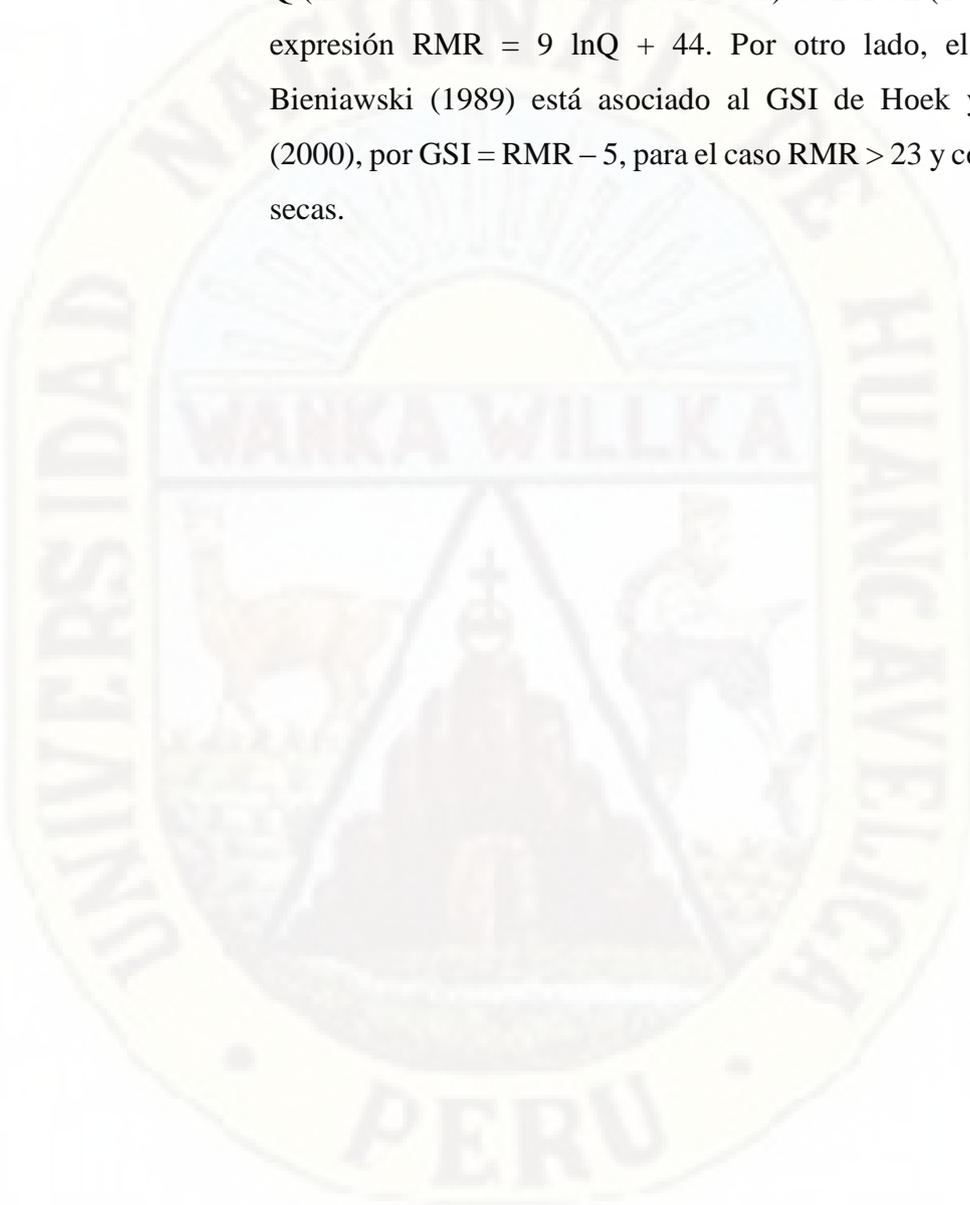


Tabla N° 9: Abaco de GSI modificado de acuerdo a la estructura y condición superficial.

<p>(GSI) MODIFICADO</p> <p>De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.</p>						
<p>ESTRUCTURA</p>		<p>CONDICIÓN SUPERFICIAL</p>				
		<p>MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)</p>	<p>BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)</p>	<p>REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)</p>	<p>POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estriaciones, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa). (se indenta superficialmente)</p>	<p>MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)</p>
	<p>LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)</p>	95	90	85	80	75
	<p>MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)</p>	75	70	65	60	55
	<p>MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)</p>	55	50	45	40	35
	<p>INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)</p>	35	30	25	20	15
	<p>TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)</p>	15	10	5	0	0

Fuente: Evert Hoek y Paul Marinos (2002).

Tabla N° 10 Abaco de GSI modificado según las características del macizo rocoso.

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de las paredes y relleno de las discontinuidades.		CONDICIÓN SUPERFICIAL MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota) BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota) REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota) POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente) MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)					
ESTRUCTURA							
	LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP	
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP	
	MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP	
	INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP	
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	T/MB	T/B	T/R	T/P	T/MP	

Fuente: Evert Hoek y Paul Marinos (2002).

2.1.5. Tensiones del macizo rocoso

“El estado de los esfuerzos del macizo rocoso sin ningún cambio se posiciona en equilibrio, pero cuando se desarrolla la excavación subterránea son alterados las presiones o fuerzas del macizo rocoso, para ello se determina las tensiones verticales y horizontales, para ello se debe tener una profundidad sobre una excavación subterránea, y el peso específico de la roca”. (Berrocal, 2015).

a. Cálculo de la tensión vertical

Para este cálculo se necesita la densidad de la roca y la profundidad de la excavación.

$$\sigma_v = \gamma \cdot z$$

Donde:

σ_v = Tensión, esfuerzo o presión vertical

γ = densidad de la roca o material sobreyacente

z = Profundidad de la superficie al punto de medición

b. Cálculo de tensión horizontal

Para la tensión horizontal se debe calcular el parámetro K, a continuación, se describe la fórmula:

$$\sigma_h = k \cdot \gamma \cdot z$$

σ_h = Tensión horizontal

k = Parámetro relacionado a la tensión horizontal con la vertical

γ = densidad de la roca o material sobreyacente

z = Profundidad desde la superficie al punto

“Es forzoso poseer el conocimiento del dominio tensional sobre excavaciones subterráneas y así ejecutar el análisis de presiones litostáticas. Porque tiene una importancia principal para estudiar la estabilidad de la excavación subterránea, que nos brindara la información sobre la deformación de la labor, estallido de rocas, aguas subterráneas, entre otras.” (Ramirez P. A., 2004)

Formulación de Sheorey

“En 1994 expone un modelo de distribución de presiones litostáticas termo elástico–estático a escala terrestre. Que tiene la curvatura de la corteza terrestre y la variación de constante elástica de densidades medias y los coeficientes de expansión térmica de la corteza. A partir de este modelo se tiene la ecuación para hallar la constante elástica K.” (Ramirez P. A., 2004)

$$k = 0.25 + 7 \cdot E_h \cdot (0.001 + \frac{1}{h})$$

Donde

Eh = es el módulo elástico de Young de macizo rocoso en unidades Gpa.

H = profundidad en metros.

2.1.6. Zonificación Geomecánica

El mapa de zonificación geomecánica para la explotación de excavaciones subterráneas, se localiza una extensa variedad de estructuras de los depósitos mineralizados, de igual manera, una amplia diversidad de características del material rocoso en los yacimientos. Esto representa que cada mina nos muestra sus propias peculiaridades, lo propio que deberán ser tomados en cuenta en el diseño. Los métodos peculiares de minado tienen que ser corregibles para ajustar a las características de cada mina. Análogamente, las excavaciones de servicio tales como, rampas, piques, galerías de transporte y puntos de carguío, tienen que ser proyectadas para

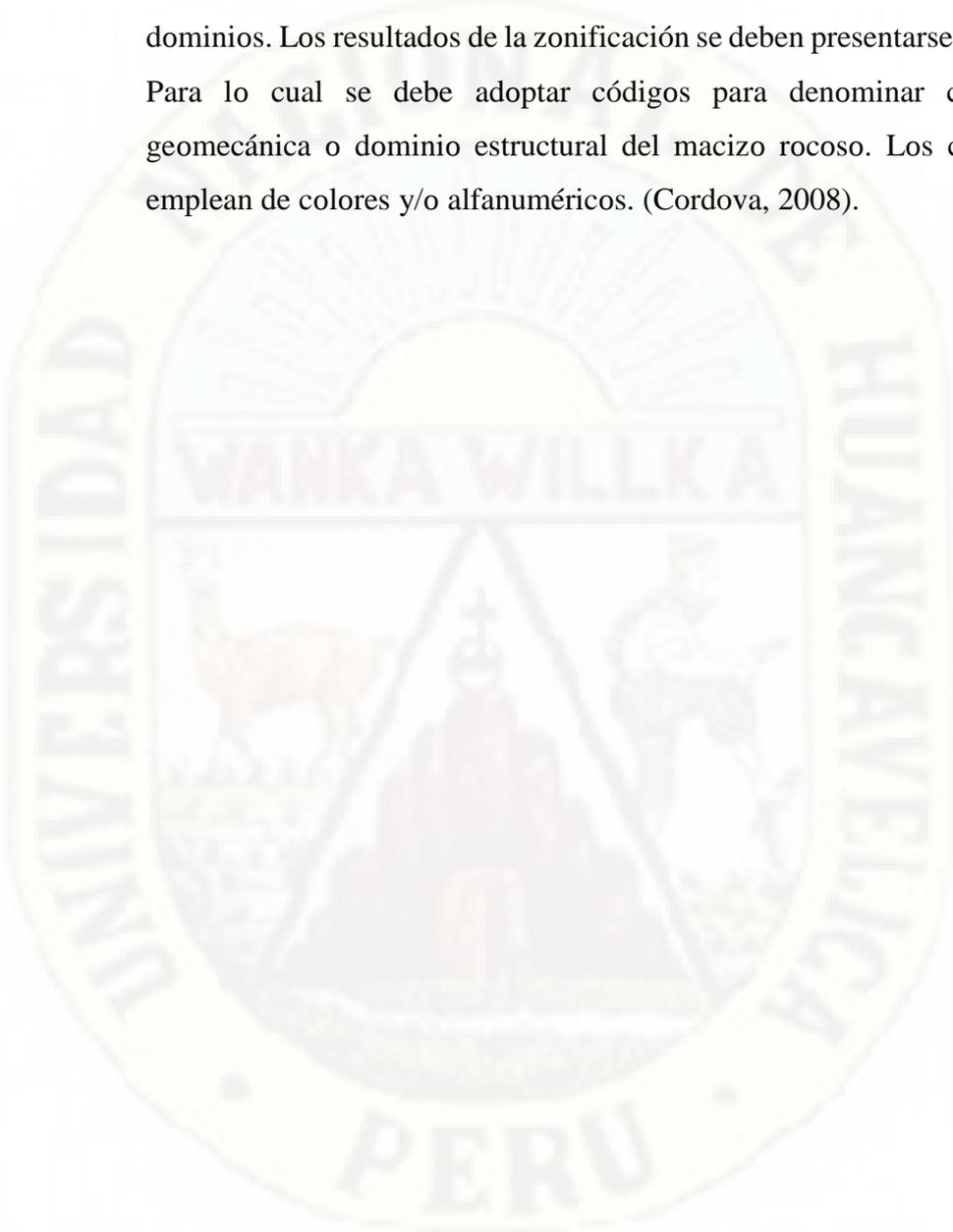
acomodar con las características del macizo rocoso, las dimensiones de los equipos a ser utilizados y la geometría de la mina.

Para la zonificación de la labor se toma cualquier criterio de clasificación que tome forma para la mina, los valores de calidad de la masa rocosa se deben platearse en los planos de las labores mineras. Donde los planos serán delimitados según la calidad de la roca, así tendremos un plano de zonificación geomecánica de las distintas labores mineras. Se recomienda también que en las paredes o hastiales de las labores mineras se señale con pintura la calidad de la del macizo rocoso, según los códigos para cada tipo de roca. La dicha zonificación se puede realizar manualmente o cuando las minas tienen, paquetes como el GEMCOM, DAMINE, VULCAN, MINESIGHT u otros. Los paquetes son útiles para las zonas nuevas de un yacimiento donde se extrae la información de los testigos de las perforaciones diamantinas. Para las distintas zonas de geomecánica se debe estandarizar. por ejemplo: (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia, 2004).

- El ancho y la altura de la excavación.
- La dirección de avance de la excavación.
- El tiempo en el cual se debe instalar el sostenimiento
- El tiempo de exposición abierta de la excavación.
- El tipo de sostenimiento.
- El tipo de voladura (breasting o realce), etc.

La zonificación geomecánica de la labor minera, o dicho de otro forma para cuantificar los dominios estructurales del macizo rocoso, los cuales nos muestra extensiones del material rocoso con propiedades homogéneas, para el desarrollo de la zonificación se tiene que tener en consideración los siguientes aspectos litológicos, las características estructurales de las discontinuidades, el arreglo estructural de la masa rocosa y la calidad de la

masa rocosa definido mediante la clasificación de la misma, empleando uno o varios aspectos de criterio de clasificación geomecánica. La combinación de estos datos o información nos conducirá a delimitar estos dominios. Los resultados de la zonificación se deben presentarse en planos. Para lo cual se debe adoptar códigos para denominar cada zona geomecánica o dominio estructural del macizo rocoso. Los códigos se emplean de colores y/o alfanuméricos. (Cordova, 2008).



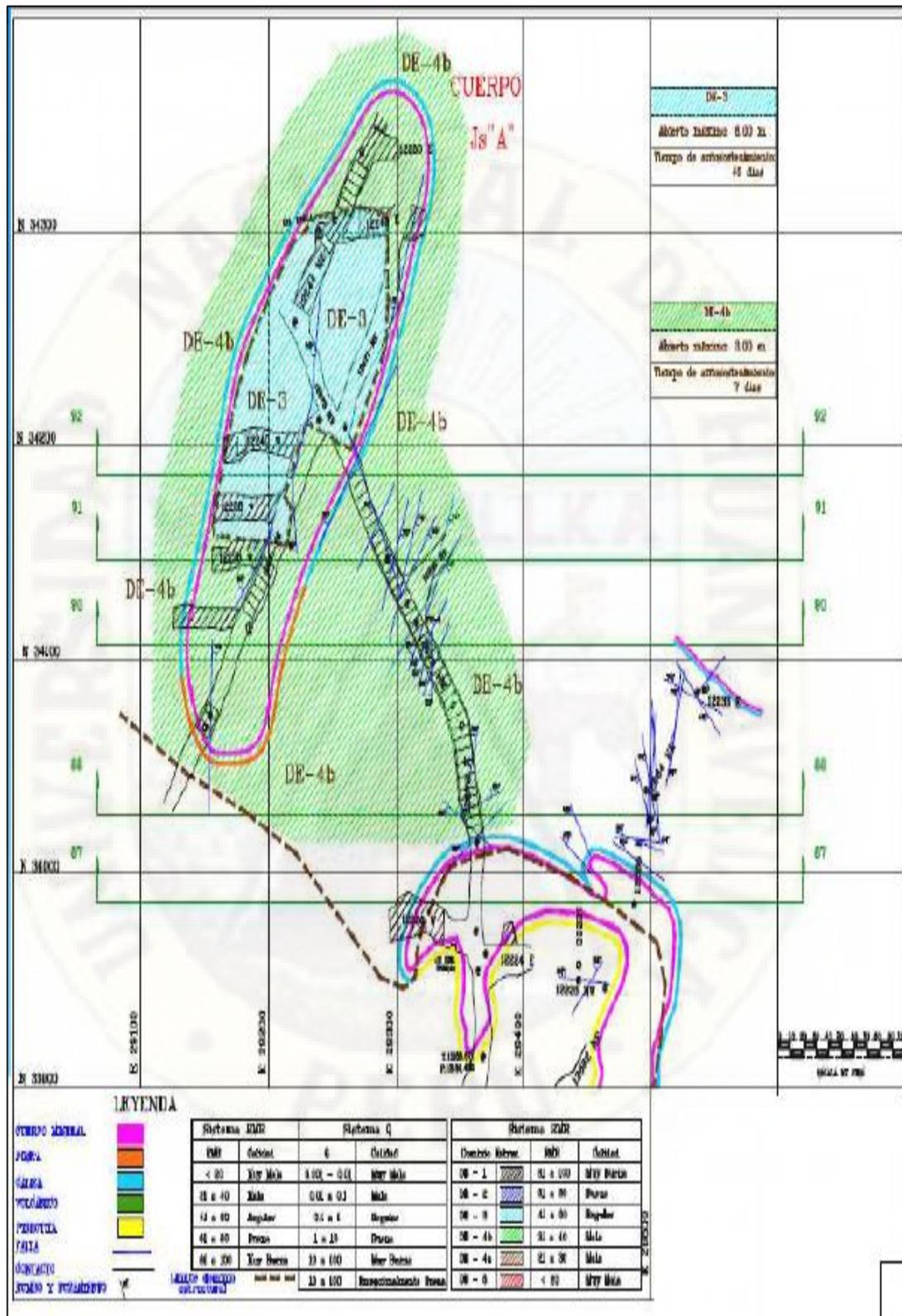


Figura N° 6: Ejemplo de Zonificación Geomecánica según Mapeo RMR
 Fuente: Centro de Capacitación Geomecánica y Geotecnia

2.1.7. Análisis de Factor de Seguridad para el autosostenimiento

El Factor de Seguridad se aplican en los diseños mineros para el buen control de estabilidad de las excavaciones subterráneas.

“Para determinar el factor de seguridad se tiene que asociar a los tiempos de autosostenimiento de las labores mineras. Es decir, el FS estará en relación inmediata al tiempo de exposición de la excavación subterránea a ejecutarse.

El nivel de seguridad cuestionado para la estabilidad de la excavación subterránea, se tiene que analizarse y controlarse con las alternativas de sostenimiento a fijarse, para no tener un sobredimensionamiento de dichas técnicas de apoyo. Para el cálculo nos apoyaremos de Software Geomecánicos.” (Guzman I. C., 2017)

“El planteamiento clásico que se emplea en el diseño de estructuras de ingeniería se estima la concordancia entre la fuerza o soporte a la carga del sistema y la demanda computada que actúa sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es determinar la relación entre las fuerzas resistentes y actuantes.” (Osinermin, 2017)

El factor de seguridad de una estructura morfológica se define como:

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

C = Capacidad de soporte de carga

D = Fuerzas actuantes o demanda

Existen tres posibles escenarios:

- FS>1 el sistema es estable.
- FS<1 el sistema es inestable.
- FS=1 el sistema está en equilibrio.

2.1.7.1. Grado de riesgo

“El grado de riesgo es descrito como el porcentaje de incidencia de colapso o caída de bancos en las labores mineras por motivo de las propiedades y características del material rocoso, sin examinar las consecuencias que puedan originarse del socavón, se tiene el ejemplo la voladura, tiempo de autosoporte, esfuerzos inducidos, las aberturas máximas y otros, los cuales alteraran en mayor o menor el grado de la estabilidad de las labores mineras de un yacimiento.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.7.2. Definición de la calidad de la masa rocosa

La importancia del macizo rocoso está determinada por tres sistemas de clasificación, el Sistema Q (Índice de Calidad de la Roca) de Barton, Lien y Lunde (1974), el Criterio RMR (Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski (1989) y el Criterio GSI (Índice de Resistencia Geológica) de Hoek y Marinos (2000). Según los tres criterios de clasificación geomecánica, se han constituido tres tipos de roca, las características se presentan en términos de calidad en la siguiente tabla.

Tabla N° 11: Definición de la calidad de la masa rocosa

Tipo de masa rocosa	Clasificación Geomecánica
Calidad Buena	$Q > 5$, $RMR > 60$, $GSI = MF/B, F/R, LF/M, F/B, LF/R, LF/B$ Y LF/MB .
Calidad Regular	$5 > Q > 0.5$, $RMR (35-60)$ $GSI = IF/R, MF/M, F/MM, IF/B, MF/R, F/M$.
Calidad Mala	$Q < 0.5$, $RMR < 35$, $GSI = IF/M, MF/MM, IF/MM, T/M, T/MM$.

Fuente: Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (2004)

2.1.8. Mapeo por celdas

Es un método de levantamiento de información sistemática del macizo rocoso, se caracteriza por presentar zonas de carácter litológica, geotécnica, geológica, o un área de interés peculiar para el diseño de una labor, crucero, un pilar, tajos, pilar, puente, chimeneas, galerías, tapones etc.

Para efectuar este modelo de trabajo se necesitan los siguientes materiales, tablero para escribir sobre ella, flexómetro, brújula, picota de geólogo, formatos de mapeo, lapicero o lápiz, spray para marcar en roca, equipo de carga puntual(opcional), cámara fotográfica, hojas con formato de mapeo de celdas, bolsas especiales para muestra, plumón indeleble, reflectores para iluminación, etiquetas para las muestras, cintas de señalización y equipos de protección personal.

Para la valoración y caracterización del macizo rocoso se debe desarrollar estaciones geomecánicas, pero después que se hizo la limpieza y demarcación del área a evaluar, en un espacio aproximado de 1m x 1m, haciendo uso de la medición se anotan datos principales propiedades de las discontinuidades como: la orientación de la principales sistemas , resistencia a la compresión simple, mediante técnicas manuales (picota geológica, barretillas o uso del martillo), RQD, espaciamiento, continuidad, separación, rugosidad, relleno de las discontinuidades, meteorización o alteración y condiciones de aguas subterráneas; estos datos permitirán determinar y cuantificar la calidad del macizo rocoso, según los tres sistemas de clasificación: RMR, GSI y Q . (Osinermin, 2017).

2.1.9. Tipos de sostenimiento.

2.1.9.1. Sostenimiento activo

Denominado como sostenimiento de refuerzo, que mayormente se utiliza para mejorar la estabilidad de las labores mineras o

túneles y estos de acuerdo a su capacidad portante de la roca. A continuación, se detalla principales elementos de sostenimiento. (Guzman I. C., 2017)

a) Pernos Helicoidales:

Son pernos que se han utilizado en los últimos años en la mina y construcciones de túneles, las cuales son por anclaje por adherencia, con resina o cemento. El más usado es el perno helicoidal o barras de hierro con sus adherentes cemento o resina de diferentes longitudes. Mayormente la resina tiene un resultado que conviene para usar en pernos sometidos a altas presiones de igual forma sirve para el pretensado de roca. En los diferentes aspectos es recomendable para el sostenimiento permanente y en algunas ocasiones para labores temporales. En el caso de perno de acero tratado se utiliza para construcciones de ingeniería civil porque son permanentes. En estos últimos tiempos ya se emplean cemento y resina para un buen fraguado de los componentes en la roca y así fijar correctamente el perno. (Adco Marron, 2018)

b) Split set:

Es una técnica de sostenimiento para la roca que trabaja por fricción a lo largo del taladro, el perno es instalado a presión del agua, esto tiene que ser presión radial cerrando parcialmente la ranura del perno. El anclaje constituye por la fricción interna y externa de la roca, logrando una tensión de carga favorable para la excavación. (Huacani, 2019)

El perno Split Set son muy sensibles para taladros de diámetro menor a 39mm. Mayormente se emplea donde hay presencia de agua y para labores temporales, es un sostenimiento provisional. (Osinermin, 2017)

2.1.9.2. Sostenimiento Pasivo

Es un conjunto de elementos de sostenimiento que actúa después de que se haya deformado la roca. (Guzman I. C., 2017)

En la investigación se utilizó tres tipos de sostenimiento activo:

a) Malla electrosoldada

Para la instalación de malla electrosoldada se tiene que desatar bien la corona y las paredes de la labor, este tipo de sostenimiento se emplea para retener fragmentos o trozos de roca, evita la caída de bancos del techo. Para el colocado de malla se emplea pernos Split Set o barra helicoidal y para el traslape los mini Split set. Respecto a la fijación de la malla es con la placa de reten. (Osinermin, 2017)

La malla electrosoldada cumple con las funciones de seguridad, de soportar pequeños trozos de roca cuando existe la presión litostática, para su utilización tiene la ventaja económica y son muy efectivas comparada a los otros sistemas de sostenimiento, esta malla funciona conjuntamente con los pernos de 10m x 4m y tiene la capacidad de 3 a 6 KJ/m². (Ucar Navarro, 2004)

b) Concreto lanzado (shocrete).

“El concreto lanzado es una mezcla de materiales (hormigón fraguado) que es llevado a través de mangueras y luego para lanzar neumáticamente sobre una boquilla a la superficie de la roca, con el pasar del tiempo va endureciendo para adquirir una resistencia considerable.” (Ucar Navarro, 2004).

“Para el proceso de mezclas se emplea dos métodos vía húmeda y vía seca que estos tienen sus propias ventajas y desventajas, en la actualidad se utilizan para el concreto lanzado las fibras sintéticas y metálicas.” (Osinermin, 2017)

c) Cuadros de madera

“Los cuadros de madera se emplean mayormente en minas convencionales y semiconvencionales para rocas de calidad mala y muy mala. Los elementos de cuadros son: sombrero, dos postes y los tirantes. Cumplen principalmente para soportar cargas verticales debido a una presión litostática en el techo de una excavación. El cuadro cojo se emplea en vetas angostas de minerales y caja techo de mala calidad. Estos cuadros empiezan a trabajar cuando la roca se deforma sobre ellas.” (Osinergmin, 2017).

2.1.9.3. Tiempo de autosostenimiento

“Esto depende del comportamiento de la roca y las características del macizo rocoso, con la clasificación de RMR nos proporciona datos realistas del tiempo que durara el autosostenimiento, o sea sin alguna fijación de una excavación. Mayormente los daños que causan en la excavación es la voladura, que pone en riesgo de debilidad las paredes de la excavación reduciendo el tiempo de estabilidad de soporte natural.” (Osinergmin, 2017)

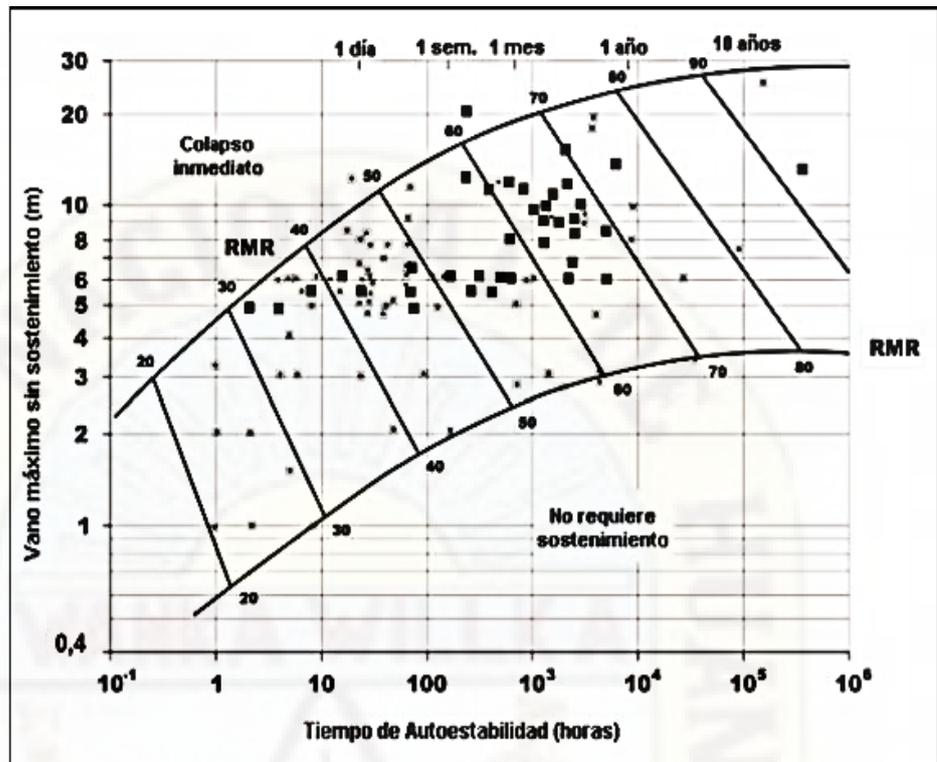


Figura N° 7: Tiempo de auto sostenimiento de acuerdo al RMR

Fuente: GEOCONTROL, S.A.

2.3. BASES CONCEPTUALES

2.1.10. Zonificación Geomecánica

Demarcación de las áreas de estudio según calidad de las rocas y tipo de sostenimiento identificado, propiedades y comportamientos, en un plano de zonificación geomecánicos.

2.1.11. Sostenimiento de las Labores Mineras

Alguna técnica de estabilización de la masa rocosa, estos elementos son utilizados para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras. Dichos sostenimientos se realizarán, según a zonificación geomecánica.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.1.12. Desatado

“Son procedimientos que se realiza con la barretilla para el desatado de rocas sueltas, así hacer caer la roca aflojada desde la corona, frente y hastiales de una excavación subterránea.” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia, 2004).

2.1.13. Roca intacta

“Es un fragmento o trozo del macizo rocoso que no tiene fracturas, que se utiliza para hacer pruebas de laboratorio; es una porción de roca que se encuentra entre las discontinuidades.” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia, 2004).

2.1.14. Discontinuidad

“Son planos de estructuras que pueden causar a la longitud de la discontinuidad de la roca. Son planos que afectan a las propiedades de deformabilidad, resistencia, permeabilidad de la roca.” (Rodríguez, 2017) .

2.1.15. Roca

“Es una agrupación de materiales de tipo minerales que constituye en la masa rocosa, gran parte de la superficie terrestre.” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia, 2004).

2.1.16. Estallido de rocas

“Son fenómenos que se relacionan a las altas presiones sobre las rocas resistentes y frágiles. También son roturas descontroladas en la roca, por la descarga de energía viva que está acumulada en la misma roca. Con ello se puede colapsar extensas áreas de mina o túnel.” (Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia, 2004).

2.1.17. Mapeo sistemático

“Son registros manuales de datos de las propiedades geomecánicas y de las discontinuidades que se toman al detalle, en un tramo determinada de la masa rocosa.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.18. Perforación diamantina

“Es una técnica de sondaje o perforación para extraer muestras de testigos, con la finalidad de sondear un yacimiento y obtener los datos de las características geomecánicas del material rocoso.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.19. Rasgos estructurales

“Son sistemas de discontinuidades primordiales del material rocoso. Estas discontinuidades conforman una serie de fracturas como: las diaclasas, fallas, estratos, estratificación, zonas de corte.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004)

2.1.20. Sostenimiento

“Está compuesto por un conjunto de materiales y son utilizados para mejorar la estabilidad de acuerdo a su capacidad portante de la periferia de la excavación subterránea.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.21. Sistema o familia de discontinuidades

“Está determinada por un conjunto de estructuras que presenta semejante dirección y propiedades de las discontinuidades de la masa rocosa.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.22. Roca suelta

“Es un fragmento de roca fracturada o débil que encuentra en los hastiales, corona de una excavación que requiere de un buen desatado de roca aflojada.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.23. Sostenimiento activo

“Conocido también refuerzo, en donde los elementos de soporte entran en contacto con la roca. Ejemplo son los pernos de roca o los cables.” (Guzman I. C., 2017).

2.1.24. Sostenimiento pasivo

“Denominado soporte, estos elementos de soporte son externos a superficie de la roca y estos actúan después de deformarse la roca, estos son: arcos de acero, puntales, etc.” (Guzman I. C., 2017).

2.1.25. Tiempo de autosostenimiento

“Es el tiempo de auto soporte de una excavación rocosa abierta sin sostenimiento, esto depende del tipo y el factor de seguridad de la roca.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.26. Zonificación geomecánica

“Es un proceso de demarcación de áreas que se han hechos estudios de la masa rocosa para plasmar las condiciones geomecánicas y comportamientos en un plano con la ayuda de un software.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.27. Macizo rocoso

“Son conjuntos de fragmentos de la masa rocosa que contiene distintos tipos de fracturas, como las fallas, rasgos geológicos, diaclasas, estratos.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.28. Lajamiento de la roca

“Tiene una estructura frágil la roca por la acción de altas presiones litostáticas. Los fragmentos tienen la forma de planas(lajas) esto se produce por el alto esfuerzo.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.29. Autosostenimiento

“denominado autoaporte, es una estabilidad de una excavación en un tiempo acertado, sin elemento de sostenimiento pasivo o activo.” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.1.30. Diaclasa

“Fracturas ya existentes con una separación limitada, esto se genera por presiones altas y de cizallamiento, producto de movimientos sísmicos de la corteza terrestre.” (Berrocal, 2015).

2.5. HIPÓTESIS

2.1.31. Hipótesis general

La zonificación geomecánica influye significativamente para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.

2.1.32. Hipótesis específicas

- a) El mapeo geomecánico del macizo rocoso influye significativamente para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.
- b) Las características del macizo rocoso influyen significativamente para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.

2.6. VARIABLES

2.1.33. Variable independiente (X):

Zonificación geomecánica

2.1.34. Variable dependiente (Y):

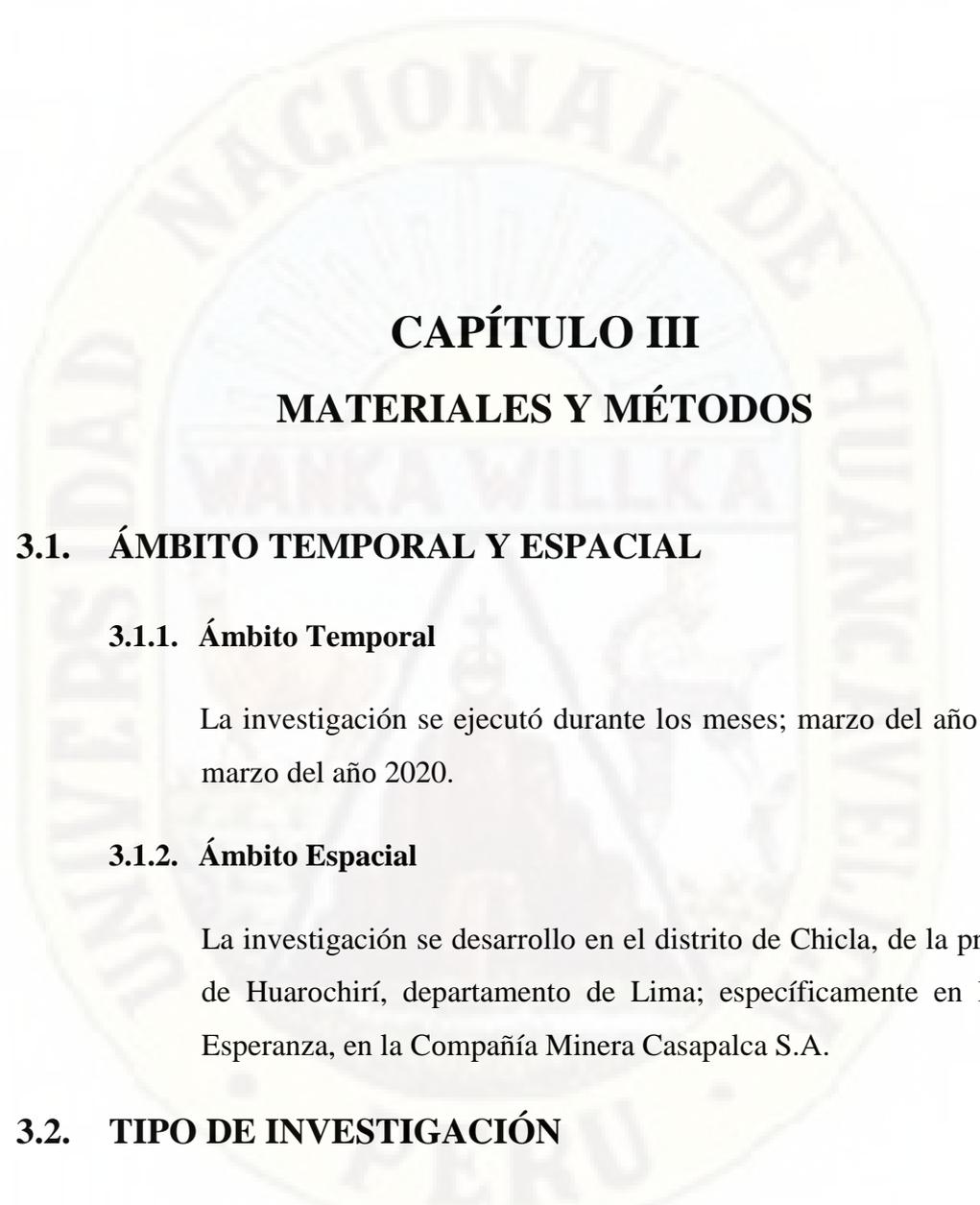
Sostenimiento de las labores mineras:

2.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla N° 12: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Instrumento
Zonificación Geomecánica	Demarcación de las zonas de estudio según calidad de las rocas y tipo de sostenimiento identificado en un mapa de zonificación, estas zonas presentan características especiales y, por lo tanto, propiedades y comportamientos geomecánicos diferentes.	Mapeo Geomecánico	-RMR -GSI	Ficha de observación/ evaluación
		Características del macizo rocoso	-Esfuerzos -Orientación -Litología	
Sostenimiento de las labores mineras	Alguna técnica de estabilización del macizo rocoso estos elementos son utilizados para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras. Dichos sostenimientos se realizarán, según a zonificación geomecánica.	Sostenimiento Activo	-Perno helicoidal -Pernos Split set	Ficha de observación
		Sostenimiento pasivo	-Mallas metálicas -Shocrete -Cuadros de maderas	
		Tiempo de exposición de la labor	-Horas -Días -Semanas -Meses	

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

3.1.1. Ámbito Temporal

La investigación se ejecutó durante los meses; marzo del año 2019 a marzo del año 2020.

3.1.2. Ámbito Espacial

La investigación se desarrollo en el distrito de Chicla, de la provincia de Huarochirí, departamento de Lima; específicamente en la zona Esperanza, en la Compañía Minera Casapalca S.A.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

“La investigación aplicada determina la disolución de problemas en el campo llevando a cabo con la ciencia como aliado para no estar divididas en dos partes primordiales, la indagación a través de la experiencia nos ha ayudado a perfeccionar de los errores que se han cometido. Para segundo caso la investigación documental es donde se observa y se reflexiona detalladamente sobre la existencia de teóricas y empíricas” (Niño, 2011, pág. 30).

“En las indagaciones han tenido prospero, gracias a dos tipos de investigaciones que son la aplica y la básica. Para el primer caso que se encarga de solucionar problemas y el segundo caso es forjar nuevos conocimientos, así como crear nuevas teorías, estos tipos de investigaciones nos ayudaron a la humanidad para sobresalir, dicho esto la investigación es una pieza fundamental para el conocimiento dentro y fuera del planeta tierra.” (Fernandez, Hernandez, & Baptista, 2010, pág. 39).

“Para la elección el tipo de investigación, se tiene que considerar tres importantes cosas: el problema, los objetivos y el objeto, para tener una supuesta respuesta al problema de investigación, para este caso nos facilitamos de las herramientas utilizadas que fueron estudiadas para desarrollar la investigación.” (Bernal C. , 2006).

Por lo vertido líneas arriba, se hará uso de los conocimientos ya estudiados, para ser aplicados en dar solución al problema planteado en nuestra investigación. Por lo tanto, nuestro tipo de investigación es **Aplicada**.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

“El nivel de investigación es **Explicativo**. Esta investigación va más allá de la descripción de definiciones, frente a ello están dirigidos a responder las causas que generan fenómenos y eventos sociales y físicos. Tiene el interés de fundamentar la ocurrencia de fenómenos y condiciones como se presentan.” (Hernandez Fernandez, 2014).

3.4. DISEÑO DE INVETIGACION

“El diseño que se realiza es **Pre Experimental** donde se plantea el pre y post test de un solo grupo de estudio. Las mediciones de pre y post test han de figurar en los datos estadísticos agrupados en cuanto a la advertencia de riesgo.” (Hernandez Fernandez, 2014)

El esquema para el diseño, es el siguiente:

$GE: O_1 X O_2$ (grupo experimental)

Donde:

GE: Grupo experimental

O_1 = Pre test

O_2 = Post test

X = Manipulación de la variable independiente.

3.5. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

3.5.1. Población

Según Jani citado por Bernal (2006), la población está compuesto de individuos y elementos de similares características en donde se va efectuar la investigación considerado como la unidad de análisis. En este caso detallaremos nuestra población de estudio.

Para la ejecución de la presente investigación, la población está constituido por la zona Esperanza en la Compañía minera Casapalca S.A.

3.5.2. Muestra.

Es un fragmento de la población que se selecciona, donde se realiza la investigación en específico y se aplicó los instrumentos y las técnicas de acuerdo a las variables.

La muestra para la investigación, estará constituido por el crucero 212 de nivel 23 de la zona Esperanza.

3.5.3. Muestreo

Para la investigación se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, teniendo en cuenta que el crucero 212 de nivel 23 de la zona esperanza es la que actualmente se está desarrollando.

3.6. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnicas:

Las técnicas que se usarán en la investigación serán: (Datos de campo, las observaciones, reportes, Tesis bibliográficas, monografías de las minas, eventos de actualización, trabajos inéditos).

Según oseda, Dulio (2008) la observación “Es un método que se basa en observar fijamente al fenómeno, hecho o caso, y posteriormente tomar información y registrarla para su posterior desarrollo”.

En el presente trabajo de investigación se aplicará la observación directa: Esta técnica permitirá inspeccionar y evaluar los datos del muestreo.

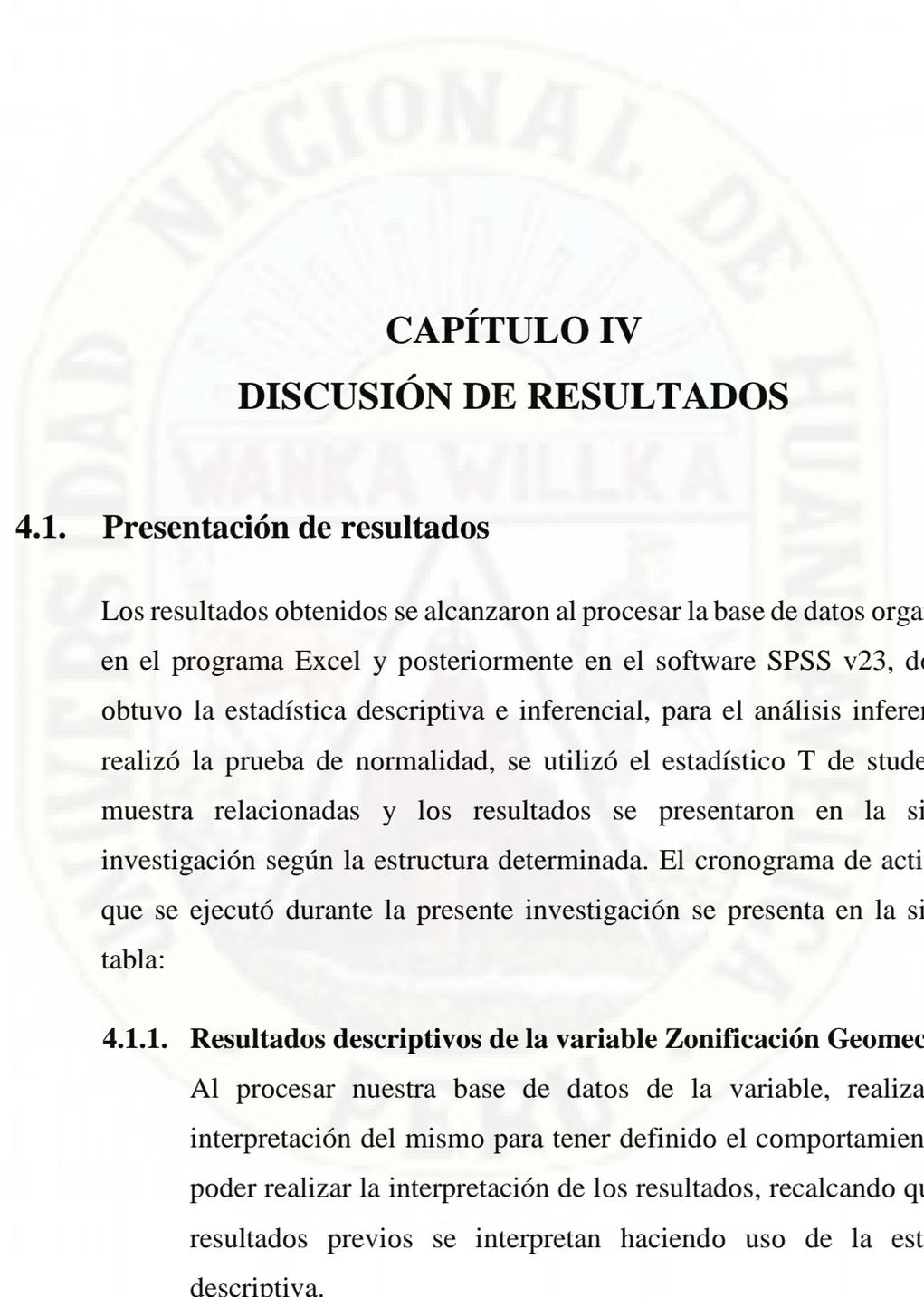
3.6.2. Instrumentos:

Los instrumentos usados para la recolección de datos son seleccionados de manera que nos permitió realizar el trabajo en forma ordenada y metódica, se ha considerado los siguientes: Ficha de Registro de Datos de Campo (observación), llamado también ficha de observación.

3.7. TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

“Para recoger la información se debe partir desde un punto de vista para analizar cada una de las partes para la obtención de sus características más favorables, en conclusión, para el análisis se desde ordenar las relaciones y consecuencias de la información obtenida.” (Niño, 2011, pág. 104).

Los datos recolectados son organizados en tablas para su mejor comprensión, histogramas, estadística descriptiva, entre otros, los cuales presentamos en los siguientes resultados.



CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Los resultados obtenidos se alcanzaron al procesar la base de datos organizados en el programa Excel y posteriormente en el software SPSS v23, donde se obtuvo la estadística descriptiva e inferencial, para el análisis inferencial se realizó la prueba de normalidad, se utilizó el estadístico T de student para muestra relacionadas y los resultados se presentaron en la siguiente investigación según la estructura determinada. El cronograma de actividades que se ejecutó durante la presente investigación se presenta en la siguiente tabla:

4.1.1. Resultados descriptivos de la variable Zonificación Geomecánica

Al procesar nuestra base de datos de la variable, realizamos la interpretación del mismo para tener definido el comportamiento y así poder realizar la interpretación de los resultados, recalando que estos resultados previos se interpretan haciendo uso de la estadística descriptiva.

4.1.1.1. Resultados descriptivos del Pre Test

Al realizar el logueo Geomecánico en el Crucero se perforó 95 m, llegamos a obtener para cada dimensión los siguientes

resultados. En este apartado se describe en su amplitud la variable, y sus dimensiones, también de un análisis descriptivo que se detallan a continuación.

Tabla N° 13: resultados de sondaje diamantino

	Fi	Fi%	Fi% acumulado
IF/R –IF/M	9	9,4	9,4
MF/R–IF/R	43	44,8	54,2
F/R/–MF/B	44	45,8	100,0
Total	96	100,0	

Fuente: Elaboración propia

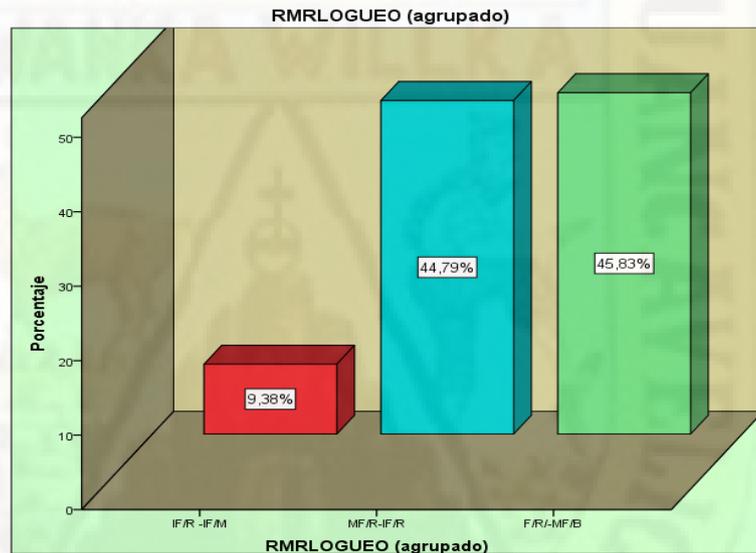


Figura N° 8: Gráfico de barras de RMR logueo agrupado

Fuente: Elaboración propia

Al haber realizado el procesamiento de datos en el Software SPSS v.23 y a partir de la tabla N° 12 podemos concluir que el 9,38% se encuentran en tipo de roca IF/R – IF/M, el 44,79% se encuentra en un tipo de roca MF/R – IF/R y el 45,83% se encuentra en un tipo de roca F/R – MF/B por lo que se puede deducir según la (figura 8) que al haber realizado el logueo geomecánico en 95 metros, la calidad de roca predominante según GSI son de tipo MF/R –IF/R y F/R –MF/B.

a) Proceso De Resultados:

Al obtener los datos de logueo geomecánico se procesa en Excel y se obtiene siguiente resultado que se muestra en el cuadro.

Tabla N° 15: Resultados según el logueo geomecánico

RMR	GSI
15-25	IF/MM
25-35	IF/M-MF/MM
35-45	IF/R -IF/M
45-55	MF/R-IF/R
55-65	F/R/-MF/B
65-75	F/B-LF/R
75-85	LF/B-F/MB
85-95	LF/MB

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo las valoraciones de logueo geomecánico del cuadro anterior, y se tiene un RMR = 45 – 55 ó 55 – 65, que corresponde a un macizo rocoso de clase II a III–A de buena calidad a regular A. De igual forma según GSI: MF/R–IF/R ó F/R/–MF/B. con esto ya nos indica el tipo de sostenimiento que se va a emplear en crucero 212.

4.1.1.3. Resistencia de la roca intacta:

Se realiza los resultados de los ensayos de Carga Puntual en rocas Arenisca, Silicificadas y epidotización. Esto se desarrolla de la siguiente manera se somete a una probeta cilíndrica a cargas concentradas y compresivas sucesivamente mayores hasta producir su rotura. Se muestran a continuación los resultados de los Ensayos de la carga puntual:

Tabla N° 16: Resultados de Ensayo de carga puntual digital

		H = Alto $0.3H < D > H$ W = Ancho									
ENSAYO DIAMETRAL - MUESTRAS CILINDRICAS											
REPORTE CONTROL DEL EQUIPO DE CARGA PUNTUAL DIGITAL											
EMPRESA	GESTION MINERA INTEGRAL		LITOLOGIA	ARENISCA SILIFICADA							
UNIDAD	CARMEN		GEOMETRIA	CILINDRICA Y CUBICA							
UBICACIÓN	COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA		OTROS								
POINT LOAD TEST	XRD-07-18		OBS.								
FECHA	25 DE MARZO DEL 2019										
REALIZADO POR	ING. NESTOR VALDEZ CCOLLQUE										
			0.3H<D>H		(1KN = 101.972 Kgf) (1Kgf/cm2 = 0.098067 Mpa)						
N°	Fecha	Carga (KN)	Carga (Kgf)	H (mm)	W(mm)	De	De2	Is	F.C.	Is(50)	σ (Mpa)
1	25/03/2019	23.5	2396.34	60.0	36.0	52.4	2745.8	8.55	1.02	8.72	210.02
2	25/03/2019	17.5	1784.51	60.0	36.0	52.4	2745.8	6.37	1.02	6.50	156.4
3	25/03/2019	20	2039.44	60.0	36.0	52.4	2745.8	7.28	1.02	7.42	178.74
4	25/03/2019	21	2141.41	60.0	36.0	52.4	2745.8	7.64	1.02	7.80	187.68
5	25/03/2019	18	1835.50	60.0	36.0	52.4	2745.8	6.55	1.02	6.68	160.87

Fuente: Compañía Minera Casapalca S.A.

Se ha obtenido una resistencia compresiva uniaxial de la roca, con la prueba de carga puntual digital, haciendo un promedio de 178.47 Mpa. Con esto nos indica una resistencia buena, resistente y levemente alterada. Se rompe con varios golpes de picota.

4.1.2. Resultados descriptivos del Post Test

Se realizó 17 mapeo geomecánico en el Crucero 212, a distintos metros (tramos) de la labor. En este apartado se describe en su amplitud la variable, y sus dimensiones, también de un análisis descriptivo que se detallan a continuación en el cuadro.

Tabla N° 17: Análisis descriptivo de mapeo geomecánico.

	Fi	Fi%	Fi% acumulado
MF/R–IF/R	7	41,2	41,2
F/R/–MF/B	9	52,9	94,1
F/B–LF/R	1	5,9	100,0
Total	17	100,0	

Fuente: Elaboración propia

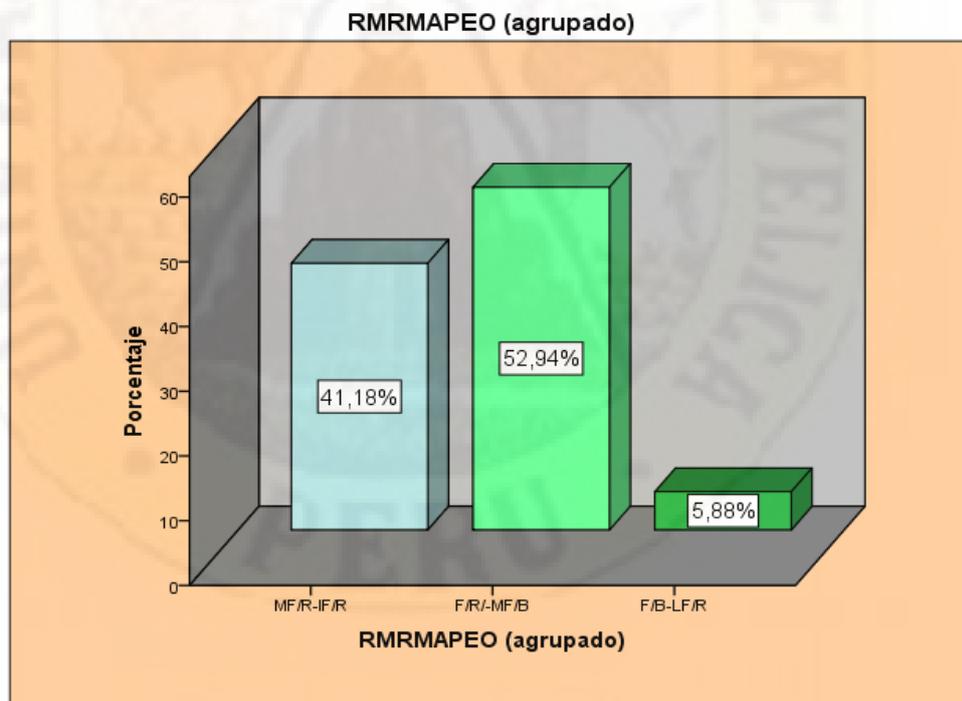


Figura N° 10: Resultados en barras para la interpretación de RMR según mapeo geomecánico

Fuente: Elaboración propia

Los resultados se obtuvieron al realizar el mapeo geomecánico, en la (tabla 16) podemos observar que el 41.18% es un tipo de roca MF/R–IF/R, el 52,94% es un tipo de roca F/R/–MF/B y el 5,88% es un tipo de roca F/B – LF/R. la masa rocosa predominante según el mapeo geomecánico es tipo III–A de calidad regular A.

4.1.3. Orientación de las Discontinuidades

Para determinar las principales discontinuidades de la masa rocosa utilizamos el programa Dips 6. Según el mapeo geomecánico. En la siguiente figura.

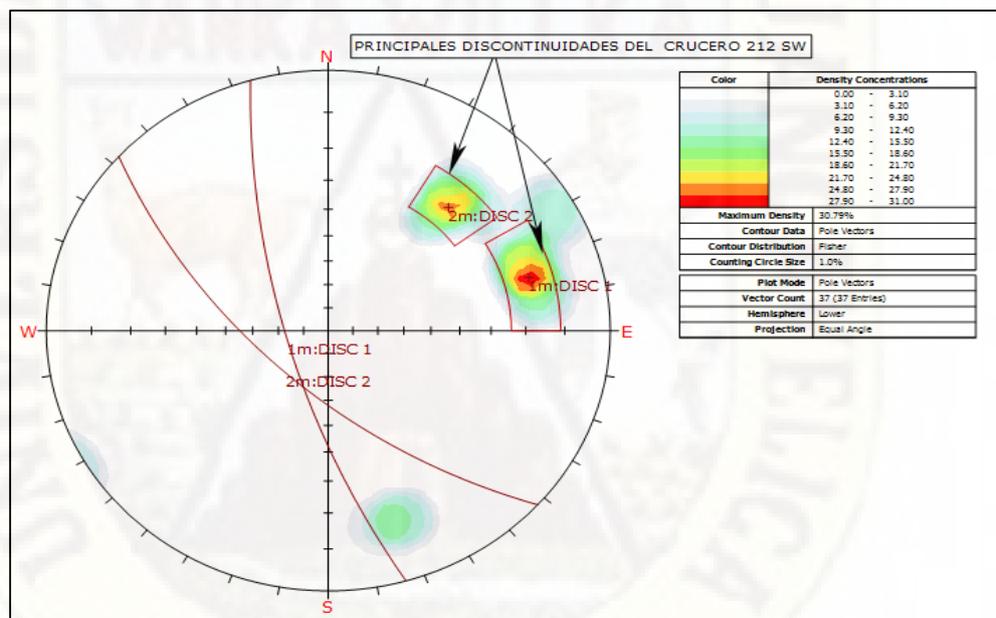


Figura N° 11: Principales discontinuidades en Crucero 212

Fuente: Elaboración propia

Un gráfico de contorno es la herramienta principal de Dips para el análisis de las concentraciones medias y/o máximas de polos. Se utiliza para visualizar el agrupamiento de los datos de orientación no inmediatamente evidentes a partir de un gráfico de Polo o un gráfico de dispersión. Los contornos representan concentraciones estadísticas de polos.

La opción gráfico de planos principales en Dips permite al usuario ver los planos, sólo en un stereonet vacío, sin polos o contornos. Además, una lista de las orientaciones de los planos se muestra en la leyenda.

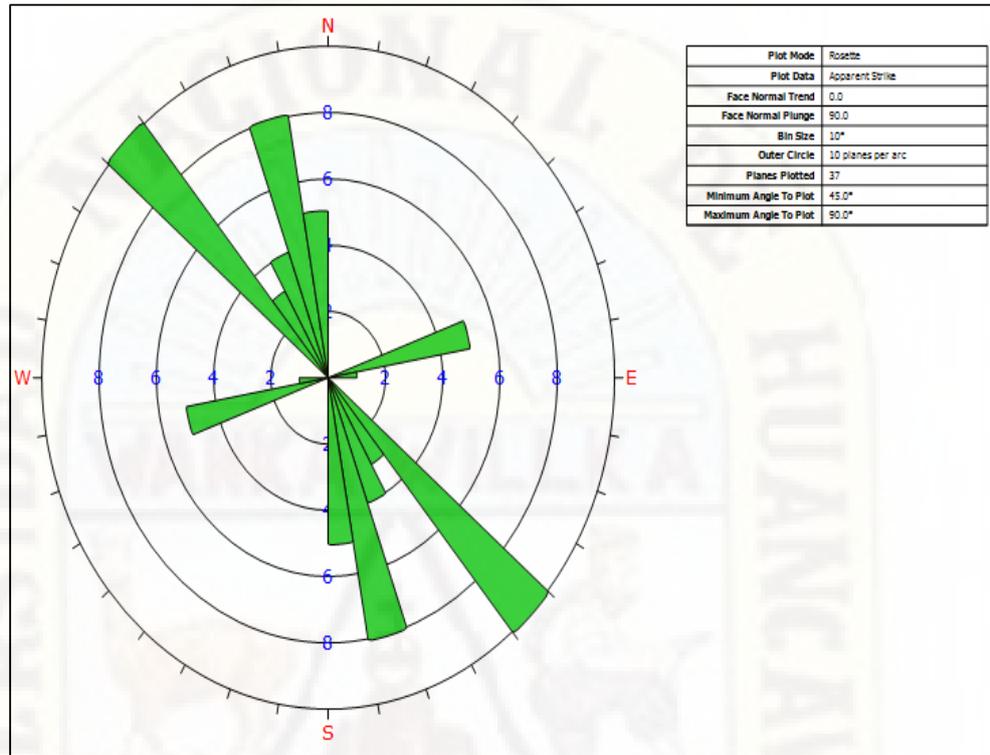


Figura N° 12: Diagrama de Rosetas en crucero 212

Fuente: Elaboración propia

en este apartado analizamos las principales orientaciones de las discontinuidades, los datos tomados del campo fueron 37 para saber la dirección preferencial de la excavación, en crucero 212 sw los rasgos estructurales presentan favorables para el minado de la labor, esta excavación avanza en forma perpendicular, cruzando las principales discontinuidades de la masa rocosa. No presenta cuñas en la excavación con esto nos quiere decir que hay menos probabilidad de caída de rocas o desprendimiento.

4.1.4. Análisis de factor de seguridad para el autosostenimiento

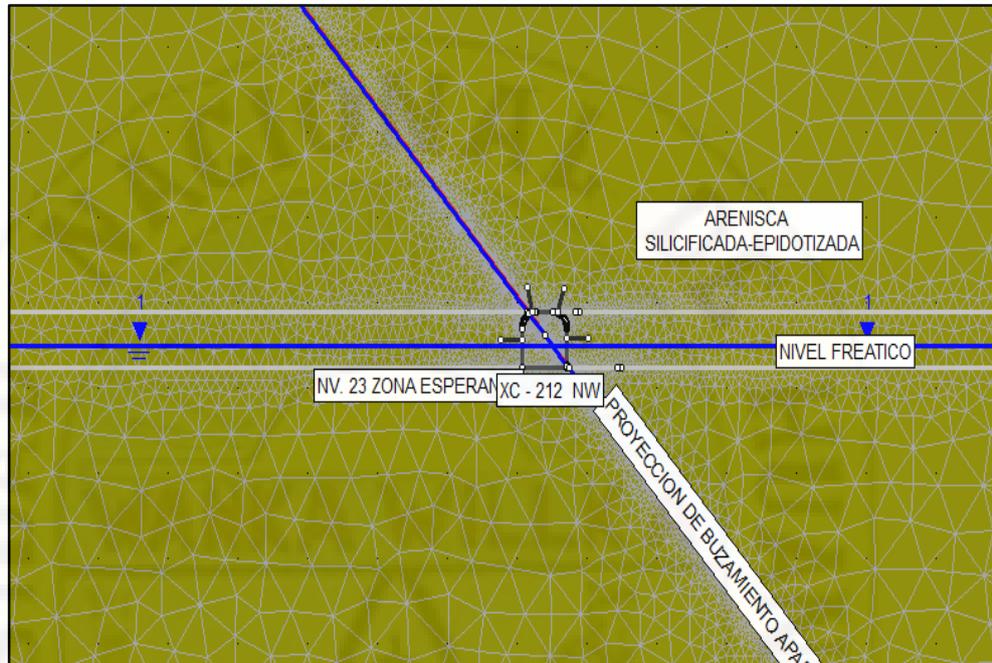


Figura N° 13: Sección transversal del XC-212 NW del Nv. 23, mostrando el nivel freático de la mina Casapalca.

Fuente: Elaboración propia en Phases 2.0

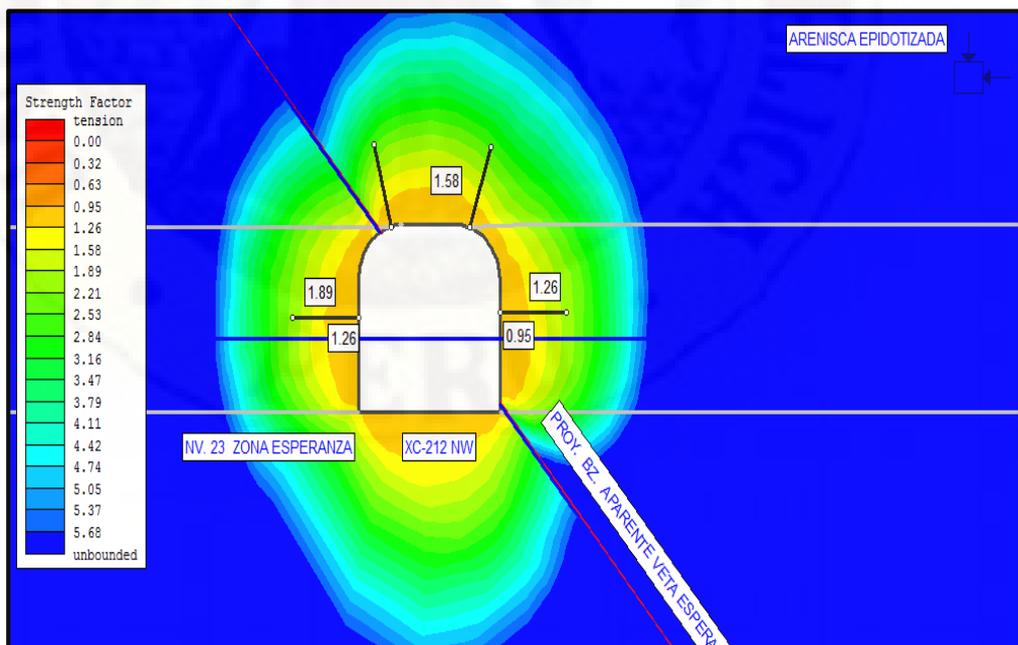


Figura N° 14: Se muestra una mayor concentración de aureolas con esfuerzos horizontales indicando relajamiento del macizo rocoso a largo plazo

Fuente: Elaboración propia en Phases 2.0

4.1.5. Cálculo de esfuerzo de estado gravitacional

Es conocido que, en Mina Casapalca, en los niveles más profundos ocurren problemas relacionados a altos esfuerzos en roca competente presenta (Crujidos de roca a estallidos de rocas), pero en la zona del XC 212 solo se tuvo crujiidos, reventones, y relajamiento del macizo rocoso. La zona en evaluación se encuentra ubicada a 1380 metros con respecto a superficie. Para ello evaluaremos los esfuerzos verticales y horizontales.

Esfuerzo vertical:

$$\sigma_v = \gamma h \quad \text{ó} \quad \sigma_v = 0.027(h)$$

Donde:

σ_v : esfuerzo vertical

γ : densidad de la roca (2.7Ton/m³)

h: profundidad (1380m)

desarrollando se tiene:

$$\sigma_v = 2.7 \times 1380 = 37.26 \text{ Mpa} = \mathbf{37 \text{ Mpa}}$$

Esfuerzo horizontal

$$\sigma_h = k\gamma h$$

Para la estimación de ratio K se usó la ecuación de Sheorey.

$$k = 0.25 + 7E (0.001 + 1/z)$$

donde

K = es una constante

E = es módulo de elástico de campo (53Gpa)

Z = profundidad

Calculamos el valor de K.

$$K = 0.25 + 7 \times 53 (0.001 + 1/1380)$$

$$K = 0.89$$

obteniendo el valor de K reemplazamos en la ecuación:

$$\sigma_h = 0.89 \times 2.7 \times 1380 = 33.16 \text{ Mpa} = \mathbf{33 \text{ Mpa}}$$

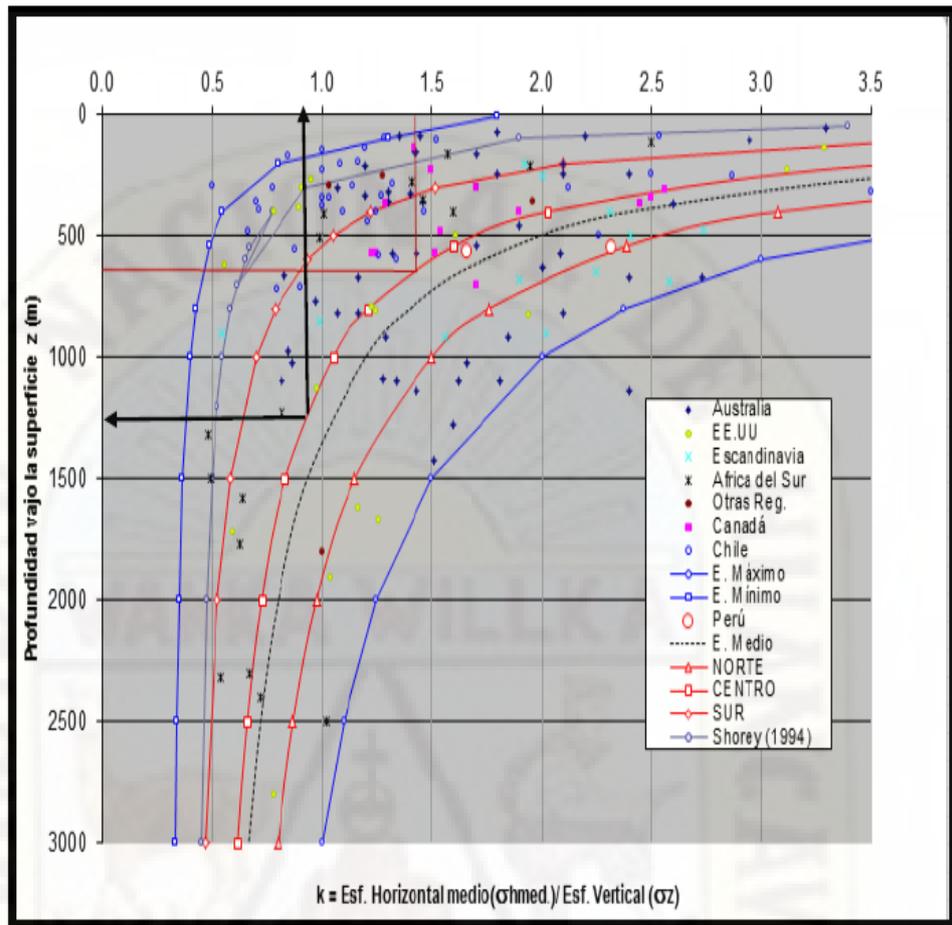


Figura N° 15: Grafica de Sheorey

Fuente: Centro de capacitación geomecánica y geotecnia

4.1.6. Mapeo geomecánico de RMR en Hoja de cálculo

Tabla N° 18: Mapeo geomecánico del cruceo 212 de Nv. 23

Nivel	Labor	Estruct.	N° Estación	Resistencia	RQD	Espaciamiento	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua	Ajuste x Orientación	RMRa (prom.)	RMRc (prom.)	GSI
23	CX 212 -SW	C/T	PD1+ 9m.	12	17	10	4	4	3	4	5	7	-2	66	64	59
23	CX 212 -SW	Corona	PD1+ 9m.	12	17	10	2	5	5	4	3	7	-2	65	63	58
23	CX 212 -SW	C/P	PD1+ 9m.	12	17	10	4	4	3	4	5	7	-2	66	64	59
23	CX 212 -SW	C/T	PD2+ 11 m.	12	17	8	4	4	3	4	5	10	-5	67	62	57
23	CX 212 -SW	Corona	PD2+ 11 m.	12	17	8	4	4	3	4	5	10	-5	67	62	57
23	CX 212 -SW	C/P	PD2+ 11 m.	12	17	8	4	4	3	2	5	10	-5	65	60	55
23	CX 212 -SW	C/T	PD3+ 7 m.	12	17	10	4	4	5	4	5	4	-5	65	60	55
23	CX 212 -SW	Corona	PD3+ 7 m.	12	17	10	4	4	5	4	5	4	-5	65	60	55
23	CX 212 -SW	C/P	PD3+ 7 m.	12	17	10	4	4	5	4	5	4	-5	65	60	55
23	CX 212 -SW	C/T	PD4+ 5 m.	12	17	8	4	4	5	4	3	10	-10	67	57	52
23	CX 212 -SW	Corona	PD4+ 5 m.	12	17	8	4	4	3	4	5	10	-10	67	57	52
23	CX 212 -SW	C/P	PD4+ 5 m.	12	17	8	4	4	3	4	5	10	-10	67	57	52
23	CX 212 -SW	C/T	PD5+ 6 m.	12	17	10	4	4	5	4	5	10	-12	71	59	54
23	CX 212 -SW	Corona	PD5+ 6 m.	12	17	10	4	4	5	4	5	10	-12	71	59	54
23	CX 212 -SW	C/P	PD5+ 6 m.	12	17	10	4	4	5	4	5	10	-12	71	59	54
23	CX 212 -SW	Corona	PD6+ 5 m.	7	17	10	4	4	5	4	5	7	-2	63	61	56
23	CX 212 -SW	Hastial Derecho	PD6+ 5 m.	7	17	10	4	4	5	4	5	7	-2	63	61	56
23	CX 212 -SW	Hastial Izquierdo	PD6+ 5 m.	7	17	10	4	4	5	4	5	7	-2	63	61	56
23	CX 212 -SW	C/T	PD7+ 6 m.	12	13	10	4	4	5	4	3	7	-5	62	57	52
23	CX 212 -SW	Corona	PD7+ 6 m.	12	13	10	4	4	3	4	3	7	-5	60	55	50
23	CX 212 -SW	C/P	PD7+ 6 m.	12	13	10	4	4	3	4	3	7	-5	60	55	50
23	CX 212 -SW	C/T	PD8+ 10 m.	12	17	8	4	4	3	2	5	10	-10	65	55	50
23	CX 212 -SW	Corona	PD8+ 10 m.	12	17	8	4	4	3	4	3	10	-10	65	55	50
23	CX 212 -SW	C/P	PD8+ 10 m.	12	17	8	4	4	3	2	5	10	-10	65	55	50
23	CX 212 -SW	C/T	PD9+ 8 m.	12	13	8	4	4	5	4	5	7	-12	62	50	45
23	CX 212 -SW	Corona	PD9+ 8 m.	12	13	8	4	4	3	4	5	7	-12	60	48	43
23	CX 212 -SW	C/P	PD9+ 8 m.	12	13	8	4	4	3	4	5	7	-12	60	48	43
23	CX 212 -SW	C/T	PD10+ 5 m.	12	13	8	4	4	3	2	3	4	0	53	53	48
23	CX 212 -SW	Corona	PD10+ 5 m.	12	13	8	4	4	3	2	3	4	0	53	53	48
23	CX 212 -SW	C/P	PD10+ 5 m.	12	13	8	4	4	3	2	3	4	0	53	53	48
23	CX 212 -SW	C/T	PD11+ 5 m.	7	13	10	4	4	3	0	5	4	-5	50	45	40
23	CX 212 -SW	Corona	PD11+ 5 m.	7	17	10	2	4	3	0	3	4	-5	50	45	40
23	CX 212 -SW	C/P	PD11+ 5 m.	7	17	10	4	4	3	0	3	4	-5	52	47	42
23	CX 212 -SW	C/T	PD12+ 5.6m.	12	17	10	4	4	5	4	5	7	-10	68	58	53
23	CX 212 -SW	Corona	PD12+ 5.6m.	12	17	10	4	4	5	4	5	7	-10	68	58	53
23	CX 212 -SW	C/P	PD12+ 5.6m.	12	17	10	4	4	5	4	5	7	-10	68	58	53
23	CX 212 -SW	C/T	PD13+ 5.5m.	12	17	10	4	4	5	4	5	10	-2	71	69	64
23	CX 212 -SW	Corona	PD13+ 5.5m.	12	17	10	4	4	5	4	5	10	-2	71	69	64
23	CX 212 -SW	C/P	PD13+ 5.5m.	12	17	10	4	4	5	4	5	10	-2	71	69	64
23	CX 212 -SW	C/T	PD14+ 4.6m.	7	13	8	4	4	3	1	5	10	-2	55	53	48
23	CX 212 -SW	Corona	PD14+ 4.6m.	7	13	8	4	4	3	1	5	10	-2	55	53	48
23	CX 212 -SW	C/P	PD14+ 4.6m.	7	13	8	4	4	3	1	5	10	-2	55	53	48
23	CX 212 -SW	C/T	PD15+ 6 m.	12	13	10	2	1	3	2	3	7	-5	53	48	43
23	CX 212 -SW	Corona	PD15+ 6 m.	12	13	10	2	1	3	2	3	7	-5	53	48	43
23	CX 212 -SW	C/P	PD15+ 6 m.	12	13	10	2	1	3	2	3	7	-5	53	48	43
23	CX 212 -SW	C/T	PD16+ 7 m.	12	13	8	2	1	3	4	5	4	-5	52	47	42
23	CX 212 -SW	Corona	PD16+ 7 m.	12	13	8	2	1	3	4	5	4	-5	52	47	42
23	CX 212 -SW	C/P	PD16+ 7 m.	12	13	8	2	1	3	4	5	4	-5	52	47	42
23	CX 212 -SW	C/T	PD17+ 3 m.	12	17	10	4	4	3	4	5	4	-5	63	58	53
23	CX 212 -SW	Corona	PD17+ 3 m.	12	17	10	4	4	3	4	5	4	-5	63	58	53
23	CX 212 -SW	C/P	PD17+ 3 m.	12	17	10	4	4	3	4	5	4	-5	63	58	53

Fuente: Elaboración propia en Excel

según RMR la clasificación geomecanica. Se obtiene una valoración del Macizo rocoso es de RMR: 45 – 65 y una calidad de roca REGULAR A a REGULAR B de Tipo IIIA a IIIB.

Tabla N° 19: Resultado promedio de mapeo geomecanico

DOMINO	TIPO ROCA	CLASE	RMR	GSI	TIPO SOPORTE	% PORC.	TIEMPO AUTO SOPORTE
PRIMER	BUENA	II	65 – 75	LF/B, LF/R	A	40	03 AÑOS A 01 AÑO
SEGUNDO	REGULAR A	III-A	55 – 65	LF/R, MF/B, MF/R	B	40	01 AÑO A 03 MESES
	REGULAR B	III-B	45 – 55	F/M, MF/R, IF/B	B	10	01 SEMANA
TERCER	MALA A	IV-A	35 – 45	MF/M, IF/R	C	05	02 DIAS
	MALA B	IV-B	25 – 35	MF/MM, IF/M	D	05	INMEDIATO
CUARTO	MUY MALA	V	0 - 20	IF/MM, T/M, T/MM	E		INMEDIATO

Fuente: Elaboración propia y GMI

4.1.7. Zonificación geomecánica en función al mapeo geomecánico

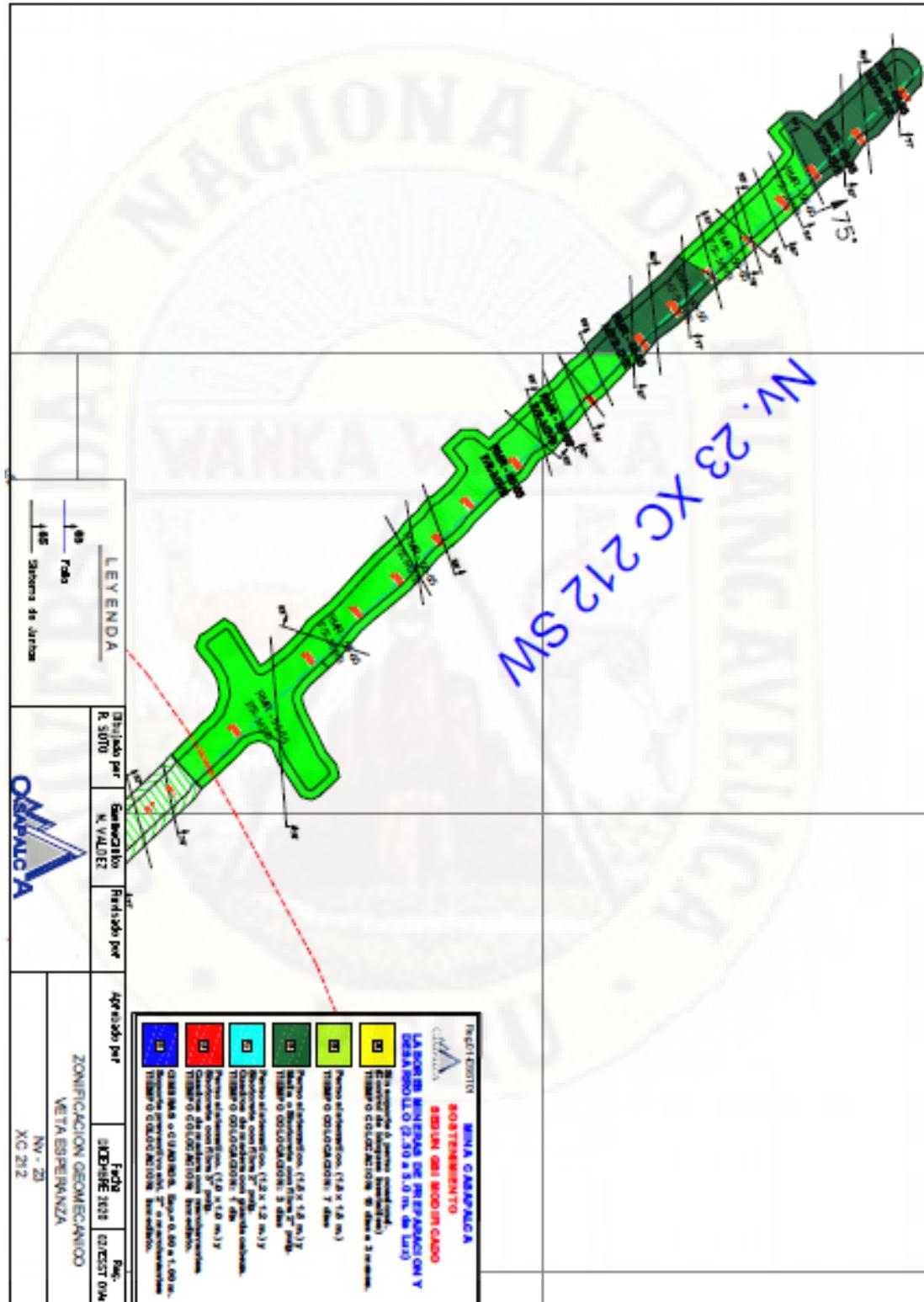


Figura N° 16: Zonificación geomecánica requerida

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

4.1.8. Cálculo de tiempo de auto soporte

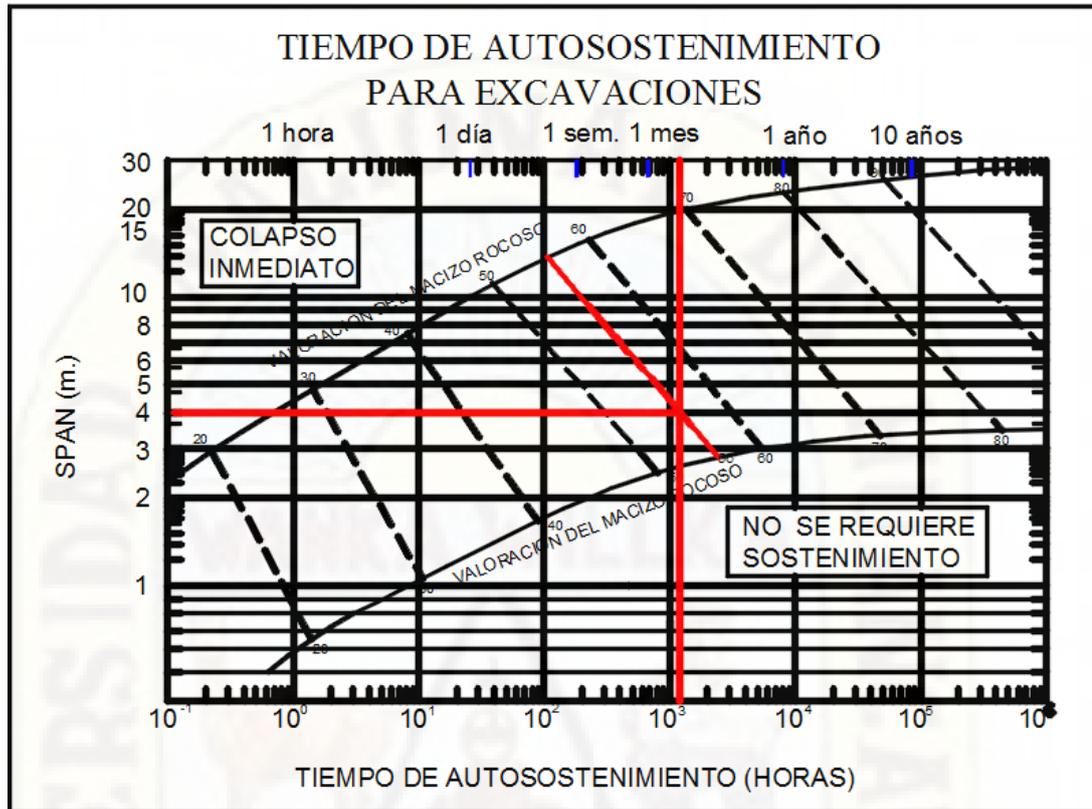


Figura N° 17: cálculo de tiempo de autosostenimiento

Fuente: elaboración propia

Con la aplicación de esta metodología se debe tener en cuenta la altura de la excavación en metros y el resultado de RMR, en esta investigación se ha obtenido un promedio de $RMR = 56$, con ello se traza las líneas para calcular el tiempo de auto soporte de la labor del crucero 212. De la figura se interpreta el tiempo de autosostenimiento, un aproximado de 1 mes, pero que requiere sostenimiento, con pernos helicoidales.

4.2. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se realiza para desarrollar un análisis inferencial, para ello realizamos una prueba de normalidad en el software SPSS v23, el estadístico a utilizar para esta prueba es de Shapiro – Wilk.

Tabla N° 20: prueba de normalidad en el software SPSS v23

PRUEBA DE NORMALIDAD		Valores
Shapiro –Wilk	Sig. Pre Test	0.125
	Sig. Post Test	0.794
	Sig. Diferencia Pre test – Post test	0.459

Fuente: elaboración propia

En la tabla se muestra que el valor p es mayor a 0.05 por lo que se deduce que los datos evaluados tienen una distribución normal.

Al tener una distribución normal se recurre a utilizar el estadístico T de student para muestras relacionadas. Cabe mencionar que la investigación es paramétrica por los resultados anteriormente obtenidos.

4.2.1. Contraste de la Hipótesis General

Para realizar el contraste de hipótesis recordamos que se planteó la interrogante.

¿Cómo influye la zonificación geomecánica para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.?

a) Planteamiento de Hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): La zonificación geomecánica no influye significativamente para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A

Hipótesis Alterna (H1): La zonificación geomecánica influye significativamente para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A

b) Nivel de significancia:

La prueba determino un nivel de significancia del $\alpha = 0.00$, se deduce entonces que, el nivel de confianza con el que se está trabajando es del 100%. Se sabe que el nivel de significancia va a definir la zona de rechazo de la Hipótesis Nula. Su valor representa la ubicación en la zona de rechazo. Por la naturaleza de la investigación se vio por conveniente utilizar un $\alpha = 0.05$, además se utiliza el estadístico T de Student para muestras relacionadas que nos permiten ver la diferencia de las medias y que esta diferencia sea estadísticamente significativa.

Tabla N° 21: El estadístico T de Student para muestras relacionadas

SEGURIDAD		Valores
Logueo – mapeo geomecánico	T de Student para muestras relacionadas	-5,057
	Significancia Bilateral a 0,05	,000
	N	17

Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la tabla 21 que la prueba realizada con el estadístico T de Student para muestra relacionadas nos da un valor $P < a 0.05$ y un valor de $T = -5,057$ que nos refleja que existe una diferencia significativa.

c) Decisión Estadística

La obtención de la T es de $-5,057$ que nos indica el valor de la T calculada se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula, así mismo la significancia bilateral es 0.000, siendo menor a 0.05, que es nuestro margen de error.

Se observó al realizar la prueba del estadístico T de Student para muestras relacionadas con el Software SPSS versión 23, muestra una

significancia (bilateral) de 0,00 y en relación a la “T” obtenida que es $-5,057$, se rechaza la hipótesis nula H_0 y procedemos a aceptar la hipótesis inicialmente planteada en donde se hace mención que la zonificación geomecánica influye significativamente para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.

d) Conclusión estadística

El resultado obtenido nos permite concluir que La zonificación geomecánica influye significativamente para el sostenimiento de las labores en expansión del nivel 23 de la zona esperanza. donde el nivel de significancia bilateral P es de 0,00 y la prueba T es de -5.057 .

4.3. Discusión de resultados

Con respecto al objetivo general, la que consistió en Definir la zonificación geomecánica y su influencia en el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.

La investigación se ha realizado en crucero 212 SW en un macizo rocoso de Arenisca silicificada y epidotizada, los resultados logrados han sido obtenidos mediante el uso de métodos empíricos o método geomecánicos haciendo uso de clasificación RMR_{89} (mapeo de celdas), sondajes diamantinos, cuyos parámetros han sido obtenido de la zona de excavación de crucero 212 SW del Nivel 23, en donde la calidad del macizo rocoso según logueo geomecánico es MF/R – IF/R y F/R – MF/B o media con un $RMR(89)$ de 45 – 65, como se ha podido observar requiere de un sostenimiento adecuado para la excavación por los dos métodos. Hoy en día este método geomecánico es muy utilizado en la minería subterránea para diferentes evaluaciones geomecánicas.

Para el objetivo específico se presenta en una hoja de cálculo donde se obtuvieron la calidad de la masa rocosa predominante según el mapeo geomecánico regular A a regular B de Tipo IIIA a IIIB y un RMR de (45 – 65). Esto

datos serán procesados en AutoCad para una buena zonificación que se requiere en la investigación. En general tanto logueo geomecanico y mapeo geomecanico servirán para el plano un antes y un después, esto con el propósito de fijar a futuras excavaciones ya sea mineral o galerías.

Lo que ha motivado el presente trabajo de investigación de hacer uso de un ordenador especializado para la zonificación del crucero 212, que permite determinar la calidad de la masa rocosa, las orientaciones de las discontinuidades, el factor de seguridad, el tiempo de autosoporte, el tipo de sostenimiento para ello se utilizó distintos programas de Rocscience, con esto determina zonas más críticas en el perímetro de la excavación.

Los esfuerzos verticales y horizontales son muy importantes para la evaluación de excavación a futuro donde se obtuvieron una tensión vertical de 37Mpa y una tensión horizontal de 33Mpa, nos indica que hay mayor esfuerzo en la corona, mientras en los hastiales se puede producir estallido de rocas, reventazones, crujidos.

Al momento de realizar la resistencia de la roca intacta mediante el equipo de carga puntual digital se obtuvo un promedio de 178.47 Mpa, es una roca buena regular.

(Bernal E. c., 2018), en sus tesis nos recomienda para el sostenimiento de las labores dos tipos:

- a) Para pernos: Empernado sistemático de 4 a 5 m, espaciado de 1–1.5 m en el corona y hastiales con malla.
- b) Para shotcrete: 100 – 150 mm en el corona y 100 mm en los hastiales.

En nuestra investigación; los resultados obtenidos mediante el mapeo geomecanico se tiene un RMR 45–65, que representa a una masa rocosa regular A–B, para ello el tipo de soporte se recomienda:

- a) perno sistemático de 1.8x1.8m y tiempo de colocación no mayor de 5 días esto para el tipo de roca III–A.

- b) perno sistemático de 1.5x1.5m y malla o shocrete con fibra de 2", tiempo de colocación no mayor de 3 días. Para el tipo de roca III-B.

(Pumahuanca, 2019), "en la información geomecánica realizada, se obtuvo una unidad primordial que corresponde a la cuarcita, en seguida se detalla la descripción de la unidad geomecánica, que representa 100% de la masa rocosa, con un grado de fracturamiento de RQD de 50-75%, con una resistencia de 250 MPa y hay presencia de humedad. De acuerdo a los antecedentes escritos, la calidad del macizo rocoso presente en la unidad, es de "Regular B" con un rango de RMR entre 41 - 50."

La resistencia compresiva uniaxial se ha determinado mediante el ensayo de carga puntual obteniendo el valor de 270 MPa. Con esto nos indica que la roca intacta es de resistencia muy buena. Se observa que en el nivel 4700, hay presencia de agua que pertenece a condiciones "húmedas", lo cual nos indica que está ubicado en estructuras por el sistema de diaclasamiento.

Se ha calculado el esfuerzo vertical de 9,22 a 14.49 MPa para una profundidad 683.141m. El valor de K (Relación del esfuerzo horizontal con el esfuerzo vertical) considerado es alrededor de 1.57. El sostenimiento en labores de desarrollo y preparación se realizará de acuerdo a lo establecido en los estándares en la Tabla geomecánica.

El sostenimiento que se recomienda en la tabla geomecánica corresponde a pernos helicoides de 2.10m + malla electrosoldada y aumentar con shocrete con un grosor de 3 pulgadas.

En nuestra investigación; los resultados se determinó la litología de tipo Arenisca silicificada y epidotización, que detalla las características del cruceo 212, que representa 100% macizo rocoso, con un grado de fracturación de RQD de 50 - 75% y 75 - 90%, una resistencia compresiva uniaxial según golpes de picota en promedio de 150 Mpa, presenta la humedad y flujos de agua.

De acuerdo a los antecedentes de la calidad del macizo rocoso que presenta esta unidad, es de Regular A–B con rango de RMR 45–65.

La resistencia compresiva uniaxial ha sido determinada mediante el ensayo de carga puntual, resultando 178.47 Mpa. El valor nos indica resistencia buena. Donde se ha observado en el nivel 23 la presencia de agua, que corresponde a las condiciones húmedas, lo cual el área de investigación presenta estructuras de diferentes discontinuidades en la masa rocosa.

Se ha calculado los esfuerzos gravitacionales tanto vertical y horizontal de orden 37 Mpa y 33 Mpa con una profundidad de 1380 metros, para el esfuerzo horizontal se ha considerado el valor $K = 0.89$ se ha obtenido de la ecuación Sheorey.

El sostenimiento recomendado por la cartilla geomecánica correspondería a pernos helicoidales de 5 pies, adicionalmente por ser una labor con presencia de agua se recomienda colocar pernos Split set más la malla electrosoldada.

(Hilario, 2019), “En su investigación de zonificación geomecánica, se ha determinado de la calidad de la masa rocosa mediante el uso de la clasificación geomecánica de Bieniawski, del cual resultó que la masa rocosa del Nivel 2265 tiene un índice RMR entre 31 a 40, esto significa que la roca es de calidad IV A, que se cataloga como roca mala.”

En nuestra investigación; para la zonificación geomecánica se determina mediante el uso mapeo por celdas de RMR de Bieniawski, con la cual se estima un promedio de RMR de 45–65, significa que la masa rocosa es de calidad Regular IIIA –IIIB.

(Loarte T, 2018). En lo referente al sostenimiento de acuerdo con los valores determinados por Bieniawski (RMR) y Barton (Q), en el caso del Mineral no requiere sostenimiento; en el caso de la Zona de Contacto el sostenimiento es esporádico, ya que el levantamiento litológico estructural se

realizó en la zona mineralizada; en el caso de la Pizarra el sostenimiento será a través de Split set de 5 y 7 pies espaciados cada uno de 1.2 x 1.2 mts. distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadros de madera donde requiera; en el caso de la Cuarquita el sostenimiento será con puntales de seguridad, en las partes donde requiera, hacer un buen control de perforación y voladura; y en el caso de la Granodiorita será cuando lo requiera.

En este estudio el sostenimiento de las labores de acuerdo al plano geomecánico y a los colores determinados por el tipo de roca se detalla las características necesarias para el soporte de la labor según Bieniawski (RMR) y Hoek y Marinos (GSI), para el tipo de roca IIIA, identificado de color verde claro, colocar pernos sistemáticos de (1.8x1.8m), el tiempo de colocación es de 7 días y para el tipo de roca IIIB de color verde oscuro, colocar perno sistemático de (1.5x1.5m), más la malla o Shocrete con fibra y el espesor de 2”.

(Martínez E., 2013). En los frentes de avance de los niveles de relajamiento de roca podemos ver 2 tipos de eventos de relajamiento, evento de relajamiento rocoso con proyección, el cual es debido a la descarga de energía acumulada en el confinamiento, y el evento de relajamiento de roca sin proyección el cual es debido a la propiedad dúctil de la roca y la anisotropía. El sostenimiento preventivo es perno Split set tipo escudo para labores de 2.5x2.5 de sección y guardacabeza para labores de mayor sección y labores verticales de servicios.

En este estudio según la Zonificación Geomecánica se ve los tipos de rocas que se ha determinado con los factores RMR Y GSI, el control de esfuerzos producidos en el nivel 23 en el cruce 212, donde los esfuerzos verticales superan a los horizontales realizado el efecto de minado de los cuerpos, y también debe realizar la evaluación geomecánica y el secuenciamiento del minado para las futuras excavaciones y tajos que se pueden realizar en el nivel 23.

(Infante A., 2019). Haciendo uso de los factores RMR Y RQD se determinó que es una roca competente y no es necesario utilizar sostenimiento, pero al momento de la recuperación parcial o total de los pilares se tendrá que aumentar el factor de seguridad es cuando se tendrá que utilizar woodpacks o paquetes de madera.

En este estudio según los factores de RMR Y GSI y se determinó la roca de dos tipos IIIA Y IIIB, donde para la roca de tipo IIIA se colocó pernos sistematicos de 1.80 x 1.80 m y para un tipo de roca de IIIB se colocó pernos sistematicos de 1.5 x 1.5 m mas la malla electrosoldada o shocrete con fibra y el espesor de 2”.

CONCLUSIONES

1. En esta tesis se determinó la zonificación geomecánica para el sostenimiento de labores mineras, mediante el uso del programa AutoCAD (planos), estos están delimitadas de colores según los resultados de mapeos o logeos geomecánicos, de esta manera se identifica la calidad de la masa rocosa, con ello se obtiene un soporte adecuado, en este caso según el sostenimiento GSI modificado de mina Casapalca que se muestra en el apéndice 2.
2. Se realizó el mapeo geomecánico en crucero 212, para determinar el tipo de roca, obteniendo un promedio de RMR = 45–65 y una calidad de roca Regular. Asimismo, con GSI se halló una roca F/R–MF/R. para la elaboración de plano geomecánico y sostenimiento efectivo según RMR o GSI.
3. “La zona presenta una roca con fuerte epidotización esta alteración hidrotermal sumado a la orientación de la estratificación de las areniscas N – S genera un fuerte relajamiento, todo esto según el logeo geotécnico realizado en el sondaje diamantino XRD–07–18.”
4. “El factor de seguridad obtenido en el modelo, nos indican que en el crucero 212 del Nv. 23 presenta mayor concentración de esfuerzos, y confinamiento de la roca mostrando en los hastiales FS: 0.95 indicando relajamiento prematuro en los laterales de la labor, también se ve incremento del esfuerzo vertical teniendo un FS:1.58 esto debido a la profundización del Nv. 23 que son aproximadamente 1380 mts respecto a la superficie generando un incremento de la presión litostática de 37Mpa.”
5. La litología que se presenta es caliza, la calidad de la masa rocosa en el crucero nivel 23, es regular A–B, tipo III A–B. Para la estimación del sostenimiento en este crucero 212, se utilizan dos criterios, primero métodos empíricos para determinación del sostenimiento y segundo uso de Cartilla geomecánica estandarizado en la Unidad Americana Casapalca.

RECOMENDACIONES

1. Continuar la demarcación con pintura en las paredes de la labor del crucero 212 SW, la calidad y el tipo de roca, según los códigos que se adopten para cada tipo de roca. Además, actualizar diariamente el tablero de información, el plano de zonificación geomecánica y de igual forma el cuaderno de recomendación donde se tiene que indicar la calidad de la roca, el tipo de sostenimiento y diseño de sostenimiento. En tal sentido ayuda a identificar al personal sobre la zonificación geomecánica y su influencia para el sostenimiento del crucero.
2. Respetar el sostenimiento de acuerdo al plano geomecánico que detalla las características necesarias para el soporte de la labor, colocar pernos sistemáticos de (1.8x1.8m), el tiempo de colocación es de 7 días, para el tipo de roca IIIA. Por otro lado, el perno sistemático es de (1.5x1.5m), más la malla o Shocrete con fibra y el espesor de 2”, para el tipo de roca IIIB.
3. Respetar el “metro avanzado metro sostenido” para el control de esfuerzos producidos en el nivel 23, donde los esfuerzos verticales superan a los horizontales realizado el efecto de minado de los cuerpos, y continuar con la evaluación geomecánica y el secuenciamiento del minado.
4. Continuar con la voladura controlada principalmente para control de las tensiones verticales y la estabilidad perimetral de la labor y así seguir la reducción del efecto tensional en la geometría de la excavación y la estabilidad.
5. Continuar con la instalación sistemática de pernos helicoidales de 7 pies de longitud, espaciados a 1.80 m; en roca mala continuar con el lanzado de shotcrete de piso a piso, reforzado con fibra con un espesor de 2 pulgadas. De igual forma cuando hay presencia de agua, sostener con mallas metálicas más Split set de 7 pies en forma sistemática.

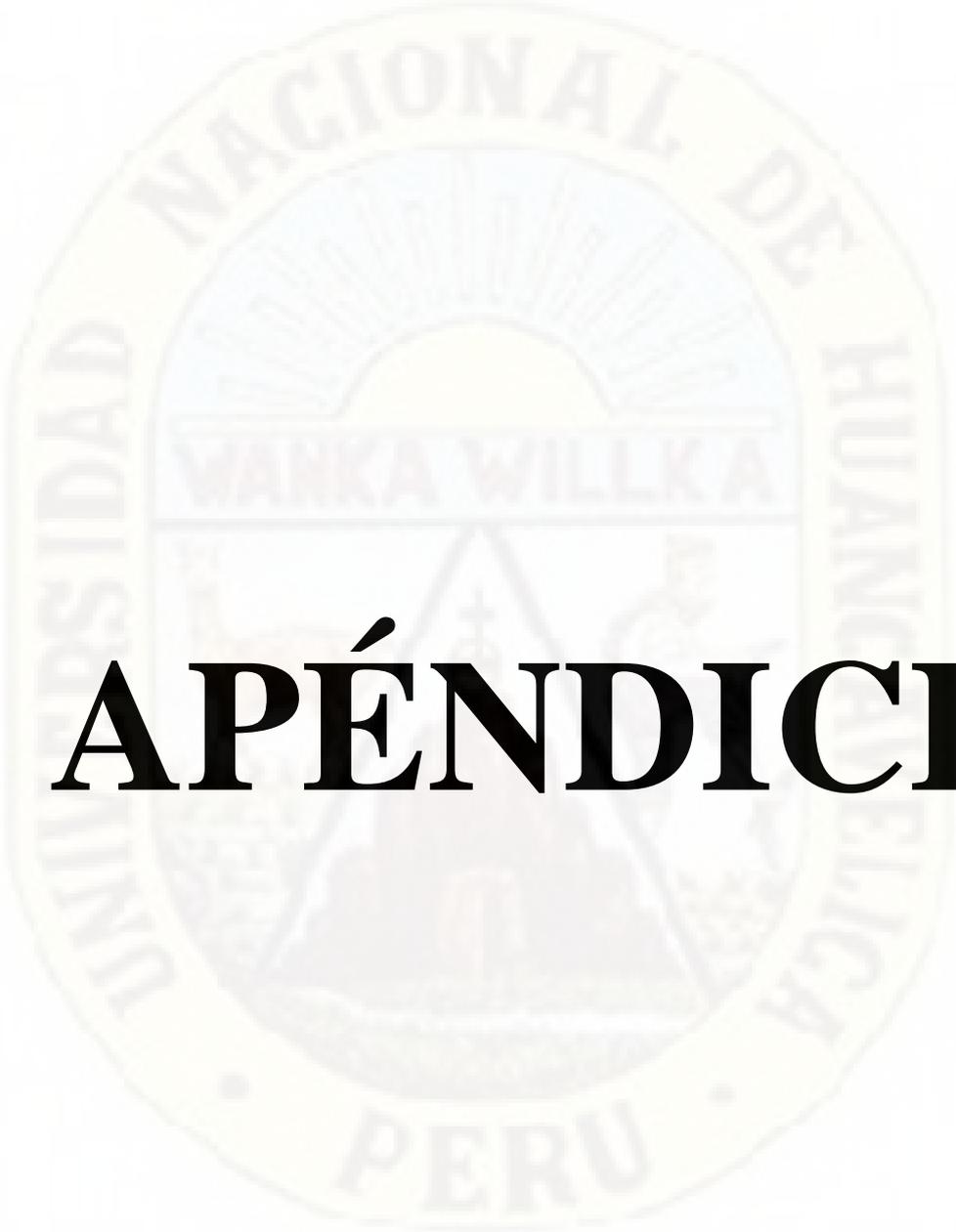
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adco Marron, A. (2018). *CONTROL DE INESTABILIDAD DE LA MASA ROCOSA CON LA APLICACIÓN DE REFUERZO POR MÉTODO NUMÉRICO EN GALERÍA DE AVANCE NIVEL 2640 CONTRATA NEW HORUS MINA ATAHUALPA-COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A. PUNO PERU: TESIS.*
- Aquino, J. (2018). Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la unidad de producción Orcopampa- Mina Chipmo. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigacion.* Mexico: Pearson.
- Bernal, E. c. (2018). *DISEÑO Y SOSTENIMIENTO DEL BYPASS 942 (NIVEL 3340) PARA OPTIMIZAR LA SEGURIDAD DE LAS OPERACIONES EN LA MINA CHIPMO.* Arequipa-peru: tesis.
- Berrocal, M. (2015). *Estabilidad de Excavacion Subterranea.* Lima, Perú.
- Brown, E. (1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring: I.S.R.M. Suggested Methods.* Pergamon Press.
- Chavez, E., & Valdivia, R. (2015). *Ejercicios motrices en el desarrollo de la coordinación óculo manual de los niños y niñas de 4 y 5 años en la Institución Educativa Inicial N° 568 Pucarami.* Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Cisterna, C. (2018). Caracterización geomecánica en faenas subterráneas de pequeña minería, caso de estudio mina los Pequenes, región de Coquimbo. Chile. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- Comite Nacional de Mecanica Rocas. (1974). *Mecanica de Rocas.* Estados Unidos.
- Compumet. (2010). *ESTALLIDOS DE ROCA, DERRUMBES Y SOSTENIMIENTO DE LABORES.* LIMA PERU: MODULO MINERIA.
- Cordova, N. (2008). Geomecanica en el minado subterráneo caso mina Condestable. Lima, Perú.
- D.S. N° 023-2017-EM. (2018). reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. Gestion minera integral.
- De la Cruz, R., & Jurado, V. (2017). *Técnicas grafico plásticas para el desarrollo de la coordinación viso-manual en niños de 3 años de la I.E.I. N°743 Yananaco - Huancavelica.* Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Echeverry Rondón, R. H., & Campo Mier, L. A. (2016). *Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) para la mina el Porvenir, Municipio de Móngua, Departamento de Boyacá.* Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Encalada, M. (2017). *Metodología para estimular la coordinación óculo manual mediante aplicación de técnicas grafo plásticas en niños y niñas de 2 a 3 años en el Centro Infantil del Buen Vivir el Vecino, Provincia de Azuay Cantón Cuenca*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Fabian, E., & Jhoel, G. (2017). *Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la Cía. minera Reyna Cristina – Ancash*. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Fernandez, C., Hernandez, R., & Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación* (6ta Edición ed.). Mexico: McGRAW-HILL.
- Gaspar, H., & Illanes, E. (2015). *Estudio comparativo entre la clasificación geomecánica de índice de resistencia geológica (GSI) y rango del macizo rocoso (RMR) en el sostenimiento de la masa rocosa del nivel 720- Sociedad Minera Corona S.A.* Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- González de Vallejo, L., & Ferrer, M. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Isabel Capella.
- Guerrero Neyra, J. B. (2017). *Metodología de planificación para la identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles en base a la norma OHSAS 18001:2007*. Huaráz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Guzman, C. (2017). *Conceptualización Geomecánica. Introducción a la geomecánica aplicada a la seguridad, 6 -7*.
- Guzman, I. C. (2017). *conceptualización geomecánica. introducción a la geomecánica aplicada a la seguridad, 10-11*.
- Hernandez Fernandez, R. B. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Sexta ed.). Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Hilario, J. P. (2019). *ZONIFICACIÓN GEOMECAÁNICA PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA - UNIDAD MINERA PARCOY- CONSORCIO MINERO HORIZONTES.A*. Huancayo-peru: tesis.
- Huacani, V. (2019). *OPTIMIZACIÓN DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE CABLE BOLTING EN LA EXPLOTACIÓN DEL TAJEO PAOLA NORTE EN LA U.E.A. TAMBOMAYO - CIA DE MINAS BUENAVENTURA*. PUNO - PERU: TESIS.
- Infante A., H. N. (2019). *Evaluación del método de explotación en la extracción de carbón de piedra en la Mina Tuco - Bambamarca*. Cajamarca: Tesis.
- Jara, J. (2017). *Influencia de un programa de Artes Plásticas para desarrollar la Psicomotricidad Fina en niños y niñas de tres años de una Institución Educativa Pública, Trujillo 2017*. Trujillo, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Loarte T, O. J. (2018). *Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la Corporación Minera Toma la Mano - Cormitoma S.A.* HUARAZ - PERÚ: TESIS.

- López, J., Pérez, C., & Reyes, G. (2007). Guía para la aplicación de la Geomecánica en el Diseño de la Perforación de Pozos. *Gerencia de Ingeniería y Tecnología*, 8.
- Marquez, G. (2018). Geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad del nivel 730 - unidad minera San Cristóbal – Volcan 2016. Huaraz, Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Martinez E., R. (2013). *sostenimiento preventivo en los frentes de las labores subterranas en condiciones de relajamiento rocoso niveles 1730-1830, Mina Poderosa*. Abancay: Tesis.
- MINSUR. (2009). Manual de creación de conciencia. Lima.
- Nina, C. J. (2017). *Tesis: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA Y ESTABILIDAD DE LABORES EN EL PROYECTO SAN GABRIEL CIA DE MINAS BUENAVENTURA*. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano.
- Nina, G. (2017). Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de Minas Buenaventura. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Nina, Y. (2016). *Las técnicas grafoplásticas como estrategia para el desarrollo de la motricidad fina (En niños de 3-4 años del Centro de desarrollo Infantil Nagy Kids, gestión 2015)*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Niño, V. (2011). *Metodología de la Investigación, Diseño y Ejecución*. Bogota, Colombia: Ediciones de la U.
- Orellana, M. (2018). Zonificación geomecánica aplicando el método smr-c (slope mass rating) en la cantera cerro Quinde, Cantón Otavalo. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Oseda Gago, D. (2008). *Metodología de la Investigación*. Huancayo Perú: Piramide.
- Osinergmin. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterranas*. Lima-peru: osinergmin.
- Popper, K. (1980). *La Lógica de la Investigación Científica*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Poveda Pinilla, J. D. (2014). *Desarrollo de un Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el trabajo en P3 Carboneras Los Pinos S.A.S*. Bogotá DC: Universidad Libre de Colombia .
- Pumahuanca, E. C. (2019). *CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO, CASO MINA TITAN, PUNO*. puno-peru: tesis.
- Quinto, J., & Huamanyalli, R. (2017). Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Ramirez, o. P., & Leandro, A. M. (2004). *mecánica de rocas*. Madrid.

- Ramírez, P. A. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid, España.
- Ramírez, P., Lain, R., & Grijalbo, E. (1991). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Rodríguez, G. (2017). Mapeo geomecánico para túneles y/o excavaciones subterráneas. *Centro de capacitación de geomecánica y geotecnia*, 62-63.
- Sabino, C. (2002). *El Proceso de Investigación*. Venezuela: Editorial Panapo de Venezuela.
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. (2004). Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Lima, Perú.
- Solano, N. (2016). Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (minas pazdelrío s.a.). Sogamoso, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Sosa, J. (2016). Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo. Cerro de Pasco, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Sosa, P. J. (2016). *“Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo*. Cerro de Pasco, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Tacuri, A. (2017). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina Hércules – cia minera Lincuna S.A. Ayacucho, Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- The Australian Geomechanics Society. (1970). *The Australian Geomechanics Society*.
- Tocto, E. (2015). *Comprensión de la Noción Función Cuadrática por medio del tránsito de Registros de Representación semiótica en Estudiantes de quinto año de secundaria*. San Miguel, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú Escuela de Posgrado.
- Ucar Navarro, R. (2004). *Manual de anclajes en ingeniería civil*. MADRID: Graficas Arias Montano, S.A.



APÉNDICE

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “ZONIFICACIÓN GEOMECAICA PARA EL SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA EXPANSION DEL NIVEL 23 DE LA ZONA ESPERANZA – COMPAÑIA MINERA CASAPALCA S.A.”

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variabes	Métodos
<p>Problema General ¿Cómo influye la zonificación geomecánica para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.?</p>	<p>General. Definir la zonificación geomecánica y su influencia en el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.</p>	<p>General. La zonificación geomecánica influye significativamente para el sostenimiento de las labores mineras en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza – Compañía Minera Casapalca S.A.</p>	<p>Variable independiente: X = Zonificación geomecánica</p> <p>Dimensiones: – Mapeo Geomecánico – Características de la masa rocosa</p>	<p>Tipo De Investigación Investigación Aplicada</p> <p>Nivel De Investigación Explicativo</p> <p>Diseño de investigación Pre Experimental</p> <p align="center">$GE: 0_1 X 0_2$</p>
<p>Problemas Específicos. ¿Cómo influye el mapeo geomecanico del macizo rocoso para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.?</p> <p>¿Cómo influyen las características del macizo rocoso para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.?</p>	<p>Específicos Realizar y determinar el mapeo geomecánico del macizo rocoso y su influencia en la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p>Determinar las características del macizo rocoso y cómo influye en la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p>	<p>Específicos El mapeo geomecánico del macizo rocoso influye significativamente para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p>Las características del macizo rocoso influyen significativamente para la zonificación geomecánica en la expansión del nivel 23 de la zona esperanza en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p>	<p>Variable dependiente: Y = Sostenimiento de las labores mineras</p> <p>Dimensiones: – Sostenimiento Pasivo – Sostenimiento Activo – Tiempo de exposición de la labor</p>	<p>Población Zona esperanza de la Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p>Muestra Crucero 212 del nivel 23.</p> <p>Muestreo No probabilístico.</p>

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD TIEMPO	CRONOGRAMA DE EJECUCION E INFORME DE DESARROLLO DE TESIS							
	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES
	1	2	3	4	5	6	7	8
ESQUEMA DE INFORME DE TESIS	X							
RECOPIACION DE DATOS		X						
PROCESAMIENTOS DE DATOS			X					
DESCRIPCION DE RESULTADOS				X				
CONTRASTACION DE HIPOTESIS					X			
DEISCUSION DE RESULTADOS						X		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES						X		
REVISION Y AJUSTE FINALES							X	
DOCENTE METODOLOGICO Y ESPECIALISTA							X	
REVISION JURADO								X

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Nº ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	S/ COSTO UNITARIO	S/ COSTO TOTAL
1	Materiales y utiles			S/ 3,850.00
1.1	libros separatas	total	total	S/ 300.00
1.2	uteles y escritorio	total	total	S/ 350.00
1.3	laptop	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
1.4	otros	total	total	S/ 200.00
2	servicios			S/ 2,760.00
2.1	fotocopias	total	total	S/ 150.00
2.2.	servicio de internet	8 meses	S/ 200.00	S/ 1,600.00
3.1	pasajes y viajes de transporte	30 viajes	S/ 20.00	S/ 600.00
2.2.	impresiones	total	total	S/ 150.00
4.1	anillados	10	S/ 4.00	S/ 40.00
2.2.	empastado	6	S/ 20.00	S/ 120.00
5.1	otros	total		S/ 100.00
COSTO TOTAL				S/ 6,610.00

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

Reg.01-ESST01



MINA CASAPALCA
SOSTENIMIENTO
SEGUN GSI MODIFICADO

**LABORES MINERAS DE PREPARACION Y
DESARROLLO (2.50 a 5.0 m. de Luz)**

A

Sin soporte ó perno ocasional.
(Control de bloques inestables)
TIEMPO COLOCACION: 15 días a 3 meses.

B

Perno sistematico. (1.8 x 1.8 m.)
TIEMPO COLOCACION: 7 días

B

Perno sistematico. (1.5 x 1.5 m.) y
Malla o Shotcrete con fibra 2" pulg.
TIEMPO COLOCACION: 3 días

C

Perno sistematico. (1.2 x 1.2 m.) y
Shotcrete con fibra 2" pulg.
Cuadros de madera con guarda cabeza.
TIEMPO COLOCACION: 1 día

D

Perno sistematico. (1.0 x 1.0 m.) y
Shotcrete con fibra 3" pulg.
Cuadros de madera con marchavantes.
TIEMPO COLOCACION: Inmediato.

E

CIMBRAS o CUADROS. Esp.= 0.80 a 1.00 m.
Soporte preventivo sht. 2" o marchavantes
TIEMPO COLOCACION: Inmediato.

Apéndice N° 3: mapeo geomecánico 02

FORMULARIO															CÓDIGO		GMI/11-F-GEO-001																				
MAPEO GEOMECÁNICO DE LABORES															REVISIÓN		00																				
Area de Geomecánica															Fecha		13 - 03 - 2019			CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
															Realizado por		M.C.			RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	30 - 21	20 - 0											
															Zona		Cx 212-SW			TIPO	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	V										
															Labor					DESCRIPCIÓN	Muy Buena	Buena	Regular A	Regular B	Mala A	Mala B	Muy Mala										
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																																					
CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES																																					
Ubicación	Tramo	Familias de Discontinuidades					Frec. Fractura	Val. Prelimino	σc		RQD	Espaciamento entre Discontinuidad	Persistencia					Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR	GSI	λ	RQD										
		F1	F2	F3	Resistencia a la Compresión				1	2			3	4	5	6	7											8	9	10	11	12					
Zona	Labor	Desde	Hasta	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Disc. / m. (λ)	Punto de Mapeo	1. > 250 Mpa 2. 100-250 Mpa 3. 50-100 Mpa 4. 25-50 Mpa 5. < 25 Mpa	1. 90-100% 2. 75-90% 3. 50-75% 4. 25-50% 5. < 25%	1. > 20 m 2. 0.6-2 m 3. 200-500 mm 4. 60-200 mm 5. < 60 mm	1. < 1m 2. 1-3 m 3. 3-10 m 4. 10-20 m 5. > 20 m	1. Carrizosa 0 2. Muy Angosta < 0.1 mm 3. Angosta 0.1 - 1.0 mm 4. Abierta 1.0 - 5.0 mm 5. Muy abierta > 5.0 mm	1. Muy rugosa 2. Rugosa 3. Ligeramente rugosa 4. Lisa 5. Muy lisa	1. Ninguna 2. Relleno duro < 5mm 3. Relleno duro > 5mm 4. Relleno blando < 5mm 5. Relleno blando > 5mm	1. No meteorizada 2. Ligeramente 3. Moderadamente 4. Altamente meteorizada 5. Descompuesta	1. Completamente seco 2. Húmedo 3. Mojado 4. Gotoso 5. Flujo	1. Muy favorable 2. Favorable 3. Regular 4. Desfavorable 5. Muy desfavorable	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12	62 62 60		12 17 17	8 8 8	4 4 4	4 4 4	3 3 3	4 4 2	5 5 5	10 10 10	-5 -5 -5	62 62 60	12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	100 98 96 94 91 88 84 81 77 74 70 66 63 59 56 52 49 46 43 41 38 35 33 31 29 27 25 23 21 20
Comentarios																																					
LONGITUD MÁXIMA DE AVANCE SPAN																																					
RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN																												
21	2.88	31	4.49	41	7.00	51	10.92																														
22	3.01	32	4.69	42	7.32	52	11.42																														
23	3.15	33	4.91	43	7.65	53	11.93																														
24	3.29	34	5.13	44	8.00	54	12.48																														
25	3.44	35	5.36	45	8.36	55	13.04																														
26	3.59	36	5.61	46	8.74	56	13.64																														
27	3.76	37	5.86	47	9.14	57	14.26																														
28	3.93	38	6.13	48	9.56	58	14.90																														
29	4.11	39	6.41	49	9.99	59	15.58																														
30	4.29	40	6.70	50	10.44	60	16.29																														
EFFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES																																					
Rumbo Perpendicular al eje del Túnel					Rumbo Paralelo al eje del Túnel																																
Excavación hacia el buzamiento-Buz. 45°-90°					Excavación hacia el buzamiento-Buz. 20°-45°					Buzamiento 45°-90°																											
Muy Favorable					Favorable					Muy Desfavorable																											
Excavación contra el buzamiento-Buz. 45°-90°					Excavación contra el buzamiento-Buz. 20°-45°					Buzamiento de 0°-20° Independiente del Rumbo																											
Regular					Desfavorable					Regular																											
INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO																																					
Grado	Comp. Mpa	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO																																			
R1	1.0 - 5.0	Delesnable con golpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla																																			
R2	5.0 - 25	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)																																			
R3	25 - 50	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo																																			
R4	50 - 100	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.																																			
R5	100 - 250	Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra																																			
R6	> 250	Solo se rompe esquivarlas de la muestra con el martillo.																																			

Apéndice N° 5: mapeo geomecánico 04

FORMULARIO															CÓDIGO		GMI/11-F-GEO-001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
MAPEO GEOMECÁNICO DE LABORES															REVISIÓN		00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Area de Geomecánica															Fecha		76-05-2019		CLASE DE MACIZO ROCOSO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
															Realizado por		Zona		Labor		RMR		TIPO		100 - 81		80 - 61		60 - 51		40 - 31		30 - 21		20 - 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
															Labor		Zona		Labor		RMR		TIPO		100 - 81		80 - 61		60 - 51		40 - 31		30 - 21		20 - 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
															Labor		Zona		Labor		RMR		TIPO		100 - 81		80 - 61		60 - 51		40 - 31		30 - 21		20 - 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO															CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		RMR		GSI		λ		RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Ubicación															Tramo															Familias de Discontinuidades															Frec. Fractura															Parámetro															Resistencia a la Compresión															RQD															Espaciamiento entre Discontinuidad															Persistencia															Apertura															Rugosidad															Relleno															Alteración															Agua Subterránea															Orientación Discontinuidades															RMR															GSI															λ															RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
																																																																																																																																																																																																																																																																																													F1															F2															F3															Disc. / m. (λ)															Punto de Mapa															1- > 250 Mpa															2- 100-250 Mpa															3- 50-100 Mpa															4- 25-50 Mpa															5- < 25 Mpa															1- 90-100%															2- 75-90%															3- 50-75%															4- 25-50%															5- < 25%															1- > 2 m															2- 0.6-2 m															3- 200-500 mm															4- 60-200 mm															5- < 60 mm															1- < 1m															2- 1-3 m															3- 3-10 m															4- 10-20 m															5- > 20 m															1- Cerrada 0															2- Muy Angosta < 0.1 mm															3- Angosta 0.1 - 1.0 mm															4- Abierta 1.0 - 5.0 mm															5- Muy abierta > 5.0 mm															1- Muy rugoso															2- Rugoso															3- Ligeramente rugosa															4- Lisa															5- Muy lisa															1- Ninguna															2- Relleno duro < 5mm															3- Relleno duro > 5mm															4- Relleno blando < 5mm															5- Relleno blando > 5mm														
F1															F2															F3															Disc. / m. (λ)															Punto de Mapa															1- > 250 Mpa															2- 100-250 Mpa															3- 50-100 Mpa															4- 25-50 Mpa															5- < 25 Mpa															1- 90-100%															2- 75-90%															3- 50-75%															4- 25-50%															5- < 25%															1- > 2 m															2- 0.6-2 m															3- 200-500 mm															4- 60-200 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
																																																																																																																																																																																																																																																																																													F1															F2															F3															Disc. / m. (λ)															Punto de Mapa															1- > 250 Mpa															2- 100-250 Mpa															3- 50-100 Mpa															4- 25-50 Mpa															5- < 25 Mpa															1- 90-100%															2- 75-90%															3- 50-75%															4- 25-50%															5- < 25%															1- > 2 m															2- 0.6-2 m															3- 200-500 mm															4- 60-200 mm															5- < 60 mm															1- < 1m															2- 1-3 m															3- 3-10 m															4- 10-20 m															5- > 20 m															1- Cerrada 0															2- Muy Angosta < 0.1 mm															3- Angosta 0.1 - 1.0 mm															4- Abierta 1.0 - 5.0 mm															5- Muy abierta > 5.0 mm															1- Muy rugoso															2- Rugoso															3- Ligeramente rugosa															4- Lisa															5- Muy lisa															1- Ninguna															2- Relleno duro < 5mm															3- Relleno duro > 5mm															4- Relleno blando < 5mm															5- Relleno blando > 5mm														

Comentarios

LONGITUD MÁXIMA DE AVANCE SPAN							
RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN
21	2.89	31	4.49	41	7.00	51	10.92
22	3.01	32	4.69	42	7.32	52	11.42
23	3.15	33	4.91	43	7.65	53	11.93
24	3.29	34	5.13	44	8.00	54	12.48
25	3.44	35	5.36	45	8.36	55	13.04
26	3.59	36	5.61	46	8.74	56	13.64
27	3.76	37	5.86	47	9.14	57	14.26
28	3.93	38	6.13	48	9.56	58	14.90
29	4.11	39	6.41	49	9.99	59	15.58
30	4.29	40	6.70	50	10.44	60	16.29

EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES			
Rumbo Perpendicular al eje del Túnel		Rumbo Paralelo al eje del Túnel	
Excavación hacia el buzamiento-Buz 45°-90°	Excavación hacia el buzamiento-Buz 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°
<i>Muy Favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Muy Desfavorable</i>	<i>Regular</i>
Excavación contra el buzamiento-Buz 45°-90°	Excavación contra el buzamiento-Buz 20°-45°	Buzamiento de 0°-20° Independiente del Rumbo	
<i>Regular</i>	<i>Desfavorable</i>	<i>Regular</i>	

Grado	Comp. Mpa	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO
R1	1.0 - 5.0	Deslizable con golpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla
R2	5.0 - 25	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)
R3	25 - 50	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo
R4	50 - 100	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.
R5	100 - 250	Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra
R6	> 250	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo.

Apéndice N° 8: mapeo geomecánico 07

	FORMULARIO										CÓDIGO																																																																					
	MAPEO GEOMECÁNICO DE LABORES										GMI/11-F-GEO-001																																																																					
Area de Geomecánica	Fecha		22-03-2019		CLASE DE MACIZO ROCOSO																																																																											
	Realizado por		MC		RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 51		50 - 41		30 - 21		20 - 0																																																															
	Zona		MC		TIPO		I		II		III-A		III-B		IV-A		IV-B																																																															
	Labor		Cx 212-SW		DESCRIPCIÓN		Muy Buena		Buena		Regular A		Regular B		Mala A		Mala B		Muy Mala																																																													
Ubicación	Tramo	Familias de Discontinuidades			Frec. Fractura	Perímetro	cc	Resistencia a la Compresión	RQD			Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades		RMR	CSI	λ	RQD																																																								
		F1	F2	F3					Val.	15	12		7	2	20	17	13		8	3					20	15	10	8	6	5	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0	0	-2	-5	-10	-12	5.7	5.5	5.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Zona	Labor	Desde	Hacia	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Disc. / m. (λ)	Punto de Mapeo	1.- > 250 Mpa	2.- 100-250 Mpa	3.- 50-100 Mpa	4.- 25-50 Mpa	5.- < 25 Mpa	1.- 90-100%	2.- 75-90%	3.- 50-75%	4.- 25-50%	5.- < 25%	1.- > 2 m	2.- 0.6-2 m	3.- 200-600 mm	4.- 60-200 mm	5.- < 60 mm	1.- < 1m	2.- 1-3 m	3.- 3-10 m	4.- 10-20 m	5.- > 20 m	1.- Cerrada 0	2.- Muy Angosta < 0.1 mm	3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm	4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm	5.- Muy abierta > 5.0 mm	1.- Muy rugoso	2.- Rugoso	3.- Ligeramente rugosa	4.- Lisa	5.- Muy lisa	1.- Ninguna	2.- Relleno duro < 5mm	3.- Relleno duro > 5mm	4.- Relleno blanco < 5mm	5.- Relleno blanco > 5mm	1.- No meteorizada	2.- Ligera	3.- Moderada	4.- Altamente meteorizada	5.- Descompuesta	1.- Completamente seco	2.- Húmedo	3.- Mojado	4.- Gotas	5.- Flujo	1.- Muy favorable	2.- Favorable	3.- Regular	4.- Desfavorable	5.- Muy desfavorable	RMR	CSI	λ	RQD													
MC	Cx212	C/A												12	13	10	4	4	3	4	3	4	3	7	-5	5.7	5.5	5.5	12	66																																																		
MC	Cx212	Cavona												12	13	10	4	4	3	4	3	4	3	7	-5	5.5	5.5	13	63																																																			
MC	Cx212	C/L												12	13	10	4	4	3	4	3	4	3	7	-5	5.5	5.5	14	59																																																			
Comentarios																																																																																

LONGITUD MÁXIMA DE AVANCE SPAN								EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES				INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO		
RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	Rumbo Perpendicular al eje del Túnel		Rumbo Paralelo al eje del Túnel		Grado	Comp. Mpa	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO
21	2.88	31	4.49	41	7.00	51	10.92	Excavación hacia el buzamiento-Buz 45°-90°	Excavación hacia el buzamiento-Buz 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	R1	1.0 - 5.0	Desenlabable con gelpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla
22	3.01	32	4.69	42	7.32	52	11.42					R2	5.0 - 25	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)
23	3.15	33	4.91	43	7.65	53	11.93					R3	25 - 50	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo
24	3.29	34	5.13	44	8.00	54	12.48					R4	50 - 100	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.
25	3.44	35	5.36	45	8.36	55	13.04					R5	100 - 250	Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra
26	3.59	36	5.61	46	8.74	56	13.64					R6	> 250	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo.
27	3.76	37	5.86	47	9.14	57	14.28							
28	3.93	38	6.13	48	9.56	58	14.90							
29	4.11	39	6.41	49	9.99	59	15.58							
30	4.29	40	6.70	50	10.44	60	16.29							

Apéndice N° 9: mapeo geomecánico 08

FORMULARIO												CÓDIGO																	
MAPEO GEOMECAÍNICO DE LABORES												REVISIÓN																	
Area de Geomecánica												Fecha		23-03-2019		CLASE DE MACIZO ROCOSO						GMI/11-F-GEO-001							
												Realizado por				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	00					
												Zona		Mc		TIPO	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	V						
												Labor		Cx 212 SW		DESCRIPCIÓN	Muy Buena	Buena	Regular A	Regular B	Mala A	Mala B	Muy Mala						
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																													
Ubicación	Tramo	Familias de Discontinuidades			Frec. Fractura	Vel. Parametro	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES															RMR	GSI	λ	RQD				
		F1	F2	F3			Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades													
Zona	Labor	Desde	Hasta	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Discontinuidad (A)	Punto de Mapeo	1. > 250 Mpa 2. 100-250 Mpa 3. 50-100 Mpa 4. 25-50 Mpa 5. < 25 Mpa	1. 90-100% 2. 75-90% 3. 50-75% 4. 25-50% 5. < 25%	1. > 20 m 2. 0.8-2 m 3. 200-500 mm 4. 60-200 mm 5. < 60 mm	1. < 1m 2. 1-3 m 3. 3-10 m 4. 10-20 m 5. > 20 m	1. Cercado 0 2. Muy Ancha < 0.1 mm 3. Ancha 0.1 - 1.0 mm 4. Abierta 1.0 - 5.0 mm 5. Muy abierta > 5.0 mm	1. Muy rugoso 2. Rugoso 3. Ligeramente rugosa 4. Lisa 5. Muy lisa	1. Ninguno 2. Relleno duro < 5mm 3. Relleno duro > 5mm 4. Relleno blando < 5mm 5. Relleno blando > 5mm	1. No meteorizada 2. Ligeramente 3. Moderadamente 4. Altamente meteorizada 5. Descompuesta	1. Completamente seco 2. Húmedo 3. Mojado 4. Goteo 5. Flujo	1. Muy favorable 2. Favorable 3. Regular 4. Desfavorable 5. Muy desfavorable	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12	1-11	1-11	1-11	1-11
Mc	Cx212	C/T										12	17	8	4	4	3	2	5	10	-70	55			12	66			
Mc	Cx212	60/0/0/0										12	17	8	4	4	3	4	3	10	-70	55			13	63			
Mc	Cx212	C/0										12	17	8	4	4	3	2	5	10	-70	55			14	59			
																									15	56			
																										16	52		
																										17	49		
																										18	46		
																										19	43		
																										20	41		
																										21	38		
																										22	35		
																										23	33		
																										24	31		
																										25	29		
																										26	27		
																										27	25		
																										28	23		
																										29	21		
																										30	20		

LONGITUD MÁXIMA DE AVANCE SPAN											
RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN
21	2.68	31	4.49	41	7.00	51	10.92				
22	3.01	32	4.69	42	7.32	52	11.42				
23	3.15	33	4.91	43	7.65	53	11.93				
24	3.29	34	5.13	44	8.00	54	12.48				
25	3.44	35	5.36	45	8.36	55	13.04				
26	3.59	36	5.61	46	8.74	56	13.64				
27	3.78	37	5.86	47	9.14	57	14.26				
28	3.93	38	6.13	48	9.56	58	14.90				
29	4.11	39	6.41	49	9.99	59	15.58				
30	4.29	40	6.70	50	10.44	60	16.29				

EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES			
Rumbo Perpendicular al eje del Túnel		Rumbo Paralelo al eje del Túnel	
Excavación hacia el buzamiento-Buz 45°-90°	Excavación hacia el buzamiento-Buz 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°
<i>Muy Favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Muy Desfavorable</i>	<i>Regular</i>
Excavación contra el buzamiento-Buz 45°-90°	Excavación contra el buzamiento-Buz 20°-45°	Buzamiento de 0°-20° Independiente del Rumbo	
<i>Regular</i>	<i>Desfavorable</i>	<i>Regular</i>	

Grado	Comp. Mpa	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO
R1	1.0 - 5.0	Delesnable con golpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla
R2	5.0 - 25	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)
R3	25 - 50	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo
R4	50 - 100	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.
R5	100 - 250	Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra
R6	> 250	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo.

Apéndice N° 10: mapeo geomecánico 09

FORMULARIO															CÓDIGO		GMI/11-F-GEO-001													
MAPEO GEOMECAÁNICO DE LABORES															REVISIÓN		00													
Area de Geomecánica															Fecha		25-03-2019			CLASE DE MACIZO ROCOSO										
															Realizado por					RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0			
															Zona		MC			TIPO	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	V			
															Labor		x 212 SW			DESCRIPCIÓN	Muy Buena	Buena	Regular A	Regular B	Mala A	Mala B	Muy Mala			
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																														
Ubicación	Tramo	Familias de Discontinuidades			Frec. Fractura	σc	RQD	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	GSI	λ	RQD													
		F1	F2	F3				Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración																		
Zona	Labor	Desde	Hasta	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Disc. / ml (λ)	Punto de Mapeo	Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR	Categoría	Características	λ	RQD			
MC	(x 212)	C/T											12	13	8	4	4	5	4	5	7	-12	50				12	66		
MC	(x 212)	CO/OMA											12	13	8	4	4	3	4	5	7	-12	48				13	63		
MC	(x 212)	C/P											12	13	8	4	4	3	4	5	7	-12	48				14	59		
																											15	56		
																											16	52		
																											17	49		
																											18	46		
																											19	43		
																											20	41		
																											21	38		
																											22	35		
																											23	33		
																											24	31		
																											25	29		
																											26	27		
																											27	25		
																											28	23		
																											29	21		
																											30	20		
Comentarios																														
LONGITUD MÁXIMA DE AVANCE SPAN																														
RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN															
21	2.88	31	4.49	41	7.00	51	10.92																							
22	3.01	32	4.69	42	7.32	52	11.42																							
23	3.15	33	4.91	43	7.65	53	11.93																							
24	3.29	34	5.13	44	8.00	54	12.48																							
25	3.44	35	5.36	45	8.36	55	13.04																							
26	3.59	36	5.61	46	8.74	56	13.64																							
27	3.76	37	5.86	47	9.14	57	14.26																							
28	3.93	38	6.13	48	9.56	58	14.90																							
29	4.11	39	6.41	49	9.99	59	15.58																							
30	4.29	40	6.70	50	10.44	60	16.29																							
EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES																														
Rumbo Perpendicular al eje del Túnel					Rumbo Paralelo al eje del Túnel																									
Excavación hacia el buzamiento-Buz 45°-90°					Excavación hacia el buzamiento-Buz 20°-45°					Buzamiento 45°-90°		Buzamiento 20°-45°																		
Muy Favorable					Favorable					Muy Desfavorable		Regular																		
Excavación contra el buzamiento-Buz 45°-90°					Excavación contra el buzamiento-Buz 20°-45°					Buzamiento de 0°-20° Independiente del Rumbo																				
Regular					Desfavorable					Regular																				
INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO																														
Grado		Comp. Mpa																												
R1		1.0 - 5.0		Delesnable con golpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla																										
R2		5.0 - 25		Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)																										
R3		25 - 50		No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo																										
R4		50 - 100		La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.																										
R5		100 - 250		Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra																										
R6		> 250		Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo.																										

Apéndice N° 12: mapeo geomecánico 11

		FORMULARIO										CÓDIGO		GMI/11-F-GEO-001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
MAPEO GEOMECAÁNICO DE LABORES														REVISIÓN		00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Area de Geomecánica														Fecha		30-03-2019		CLASE DE MACIZO ROCOSO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
														Realizado por		RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 51		50 - 41		40 - 31		30 - 21		20 - 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
														Zona		H.C		TIPO		I		II		III-A		III-B		IV-A		IV-B		V																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Labor		Cx 212-5W		DESCRIPCIÓN		Muy Buena		Buena		Regular A		Regular B		Mala A		Mala B		Muy Mala																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO														CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades		RMR		GSI		A		RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Ubicación		Tramo		Familias de Discontinuidades			Frec. Fractura		σc		RQD		Resistencia a la Compresión															Espaciamiento entre Discontinuidad		Persistencia		Apertura		Rugosidad		Relleno		Alteración																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Zona		Labor		Desde		Hasta		Buzamiento		Dirección de Buzamiento		Buzamiento		Dirección de Buzamiento		Buzamiento		Dirección de Buzamiento		Dis. / mt (λ)		Punto de Mapeo		Val.		15		12		7		4		2		20		17		13		8		3		20		15		10		8		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3		2		1		0		6		5		4		3</	

Apéndice N° 15: mapeo geomecánico 14

		FORMULARIO						CÓDIGO	GMI/11-F-GEO-001																		
		MAPEO GEOMECÁNICO DE LABORES						REVISIÓN	00																		
Área de Geomecánica				Fecha		18-04-2019				CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
				Realizado por		Zona		Labor		RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0										
						HC		CX 212-HC		TIPO	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	V										
										DESCRIPCIÓN	Muy Buena	Buena	Regular A	Regular B	Mala A	Mala B	Muy Mala										
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																											
Ubicación	Tramo	Familias de Discontinuidades						Frec. Fractural	σc	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR	GSI	λ	RQD					
		F1	F2	F3	Persistencia	Apertura	Rugosidad					Relleno	Alteración														
Zona	Labor	Desde	Hasta	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Disc. / m. (λ)	Punto de Mapeo	1- > 250 Mpa 2- 100-250 Mpa 3- 50-100 Mpa 4- 25-50 Mpa 5- < 25 Mpa	1- 90-100% 2- 75-90% 3- 50-75% 4- 25-50% 5- < 25%	1- > 2 m 2- 0.6-2 m 3- 200-600 mm 4- 60-200 mm 5- < 60 mm	1- < 1m 2- 1-3 m 3- 3-10 m 4- 10-20 m 5- > 20 m	1- Cerrada 0 2- Muy Angosta < 0.1 mm 3- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5- Muy abierta > 5.0 mm	1- Muy rugoso 2- Rugoso 3- Ligamente rugosa 4- Lisa 5- Muy lisa	1- Ninguna 2- Relleno duro <5mm 3- Relleno duro 5mm 4- Relleno blando <5mm 5- Relleno blando >5mm	1- No meteorizada 2- Ligamente 3- Moderadamente 4- Altamente meteorizada 5- Descompuesta	1- Completamente seco 2- Húmedo 3- Mojado 4- Gotero 5- Flujo	1- Muy favorable 2- Favorable 3- Regular 4- Desfavorable 5- Muy desfavorable	15 10 7 4 0	0 3 4 10 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	100 98 96 94 91 88 84 81 77 74 70		
HC	Cx 212	CH										7	13	8	4	4	3	1	5	70	-2	53			11	66	
HC	Cx 212	Cp/Cv/Ce										7	13	8	4	4	3	1	5	70	-2	53			13	63	
HC	Cx 212	C/P										7	13	8	4	4	3	1	5	70	-2	53			14	59	
																									15	56	
																									16	52	
																									17	49	
																									18	46	
																									19	43	
																									20	41	
																									21	38	
																									22	35	
																									23	33	
																									24	31	
																									25	29	
																									26	27	
																									27	25	
																									28	23	
																									29	21	
																									30	20	
Comentarios																											
LONGITUD MÁXIMA DE AVANCE SPAN												EFFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES				Grado		Comp. Mpa		INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO							
RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	RMR	SPAN	Rumbo Perpendicular al eje del Túnel		Rumbo Paralelo al eje del Túnel		R1	1.0 - 5.0	Delesnable con golpes firmes con la punta del martillo de geologo se desconcha con una cuchilla									
21	2.88	31	4.49	41	7.00	51	10.92	Excavación hacia el buzamiento-Buz.45°-90°		Excavación hacia el buzamiento-Buz.20°-45°		Buzamiento 45°-90°		Buzamiento 20°-45°		R2	5.0 - 25	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)									
22	3.01	32	4.69	42	7.32	52	11.42	<i>Muy Favorable</i>		<i>Favorable</i>		<i>Muy Desfavorable</i>		<i>Regular</i>		R3	25 - 50	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo									
23	3.15	33	4.91	43	7.65	53	11.93	Excavación contra el buzamiento-Buz.45°-90°		Excavación contra el buzamiento-Buz.20°-45°		Buzamiento de 0°-20° Independiente del Rumbo				R4	50 - 100	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.									
24	3.29	34	5.13	44	8.00	54	12.48	<i>Regular</i>		<i>Desfavorable</i>		<i>Regular</i>		R5	100 - 250	Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra											
25	3.44	35	5.36	45	8.36	55	13.04							R6	> 250	Solo se rompe esquivarlas de la muestra con el martillo.											
26	3.59	36	5.61	46	8.74	56	13.64																				
27	3.76	37	5.86	47	9.14	57	14.26																				
28	3.93	38	6.13	48	9.56	58	14.90																				
29	4.11	39	6.41	49	9.99	59	15.58																				
30	4.29	40	6.70	50	10.44	60	16.29																				

