



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA OPTIMIZAR EL
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR SUBNIVELES EN LA
VETA JULIE - NIVEL 2360, COMPAÑÍA MINERA
PODEROSA, 2019**

PRESENTADO POR:

BACH. GUEVARA MEJÍA DILMER

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

CAJAMARCA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

Va dedicado para mis queridos papás Genaro Guevara e Irene Mejía por apoyarme incondicionalmente en cada momento durante mi formación profesional y a mis hermanas Luz Marina y Selena Medali.

AGRADECIMIENTO

Agradecer profundamente a la casa superior de estudios Universidad Alas Peruanas, especialmente a los cátedras de la EAP de ingeniería de Minas quienes me brindaron y forzaron cada día en las aulas, sus sabidurías para ser una mejor persona y un excelente profesional.

RECONOCIMIENTO

A los cátedras de la EAP de ingeniería de minas de Universidad Alas Peruanas, quienes se encargaron de mi formación académica profesional.

ÍNDICE

	Pág.
CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial	2
1.2.2. Delimitación social	2
1.2.3. Delimitación temporal	2
1.2.4. Delimitación conceptual	2
1.3. Problemas de investigación.....	3
1.3.1. Problema principal	3
1.3.2. Problemas secundarios	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis y variables de la investigación	4
1.5.1. Hipótesis general	4

	Pág.
1.5.2. Hipótesis secundarias	4
1.5.3. Variables (Definición conceptual y operacional)	4
1.6. Metodología de la investigación	6
1.6.1. Tipo y nivel de investigación	6
a) Tipo de investigación.....	6
b) Nivel de investigación.....	6
1.6.2. Método y diseño de la investigación	6
a) Método de investigación.....	6
b) Diseño de investigación.....	6
1.6.3. Población y muestra de la investigación	7
a) Población.....	7
b) Muestra.....	7
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	7
a) Técnicas.....	7
b) Instrumentos.....	7
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación	8
a) Justificación.....	8
b) Importancia.....	9
c) Limitaciones.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación	10
2.1.1. Internacionales.....	10
2.1.2. Nacionales	12
2.1.3. Locales	13
2.2. Bases teóricas	15

2.2.1. Caracterización geomecánica.....	15
2.2.2. Métodos tajeo por subniveles	22
2.3. Definición de términos básicos	30
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	33
3.1. Análisis de tablas y figuras	33
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
FUENTES DE INFORMACIÓN	71
ANEXOS	74
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	75
Anexo 2: Instrumento: Ficha de toma de datos de campo	76
Anexo 3: Instrumento: Caracterización geomecánica	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Características geométricas en las discontinuidades.....	16
Figura 2: Esquema del método tajeo por subniveles .	26
Figura 3: Ubicación de la mina Poderosa.	34
Figura 4: Geología regional del batolito de Pataz.	37
Figura 5: Geología de la cuadrícula de Pataz.	38
Figura 6: Geología local de la zona de estudio.	40
Figura 7: Columna estratigráfica de la cuadrícula de Pataz.	42
Figura 8: Plano Geológico - litológico de la veta Julie.....	45
Figura 9: Orientacion de fallamiento principal y secundario.....	46
Figura 10: Plano estructural Zona santa maría.	47
Figura 11: Dirección de los esfuerzos principales de la UP Santa María	48
Figura 12: Orientación de los esfuerzos con respecto a la formación.....	49
Figura 13: Estimación de k.....	50
Figura 14: Mapeo geomecánico en el Tj 5740 – Veta Julie.	52
Figura 15: Clasificación Geomecánica en sección longitudinal – Veta Julie... ..	53
Figura 16: Plano Geomecánico Estructural – Veta Julie.	54
Figura 17: Disposición de veta Julie NV 2360 (TJ 5740).	59
Figura 18: Dimensionamiento de puentes y/o pilares.	60
Figura 19: Dimensionamiento de aberturas máximas de minado.	61
Figura 20: Ciclo de relleno del tajo y control de espacios abiertos.....	62
Figura 21: Disposición de veta Julie NV 2360 (TJ 5740-1).	63
Figura 22: Dimensionamiento de puentes y/o pilares.	64
Figura 23: Análisis de estabilidad en un tajo sin relleno.....	65
Figura 24: Análisis de estabilidad y aberturas máximas de explotación.	66
Figura 25: Ciclo de relleno del tajo y control de espacios abiertos.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.	5
Tabla 2 Parámetros de clasificación geomecánica según Bienawski 89.	17
Tabla 3 Categoría de clasificación geomecánica.....	18
Tabla 4 Calidad de RQD%.	19
Tabla 5 Clasificación del macizo rocoso de acuerdo al fracturamiento.	19
Tabla 6 Estimación del GSI.	20
Tabla 7 Accesibilidad a la zona de estudio.....	34
Tabla 8 Estimación de esfuerzos en Veta Julie (Z <= 300m).	51
Tabla 9 Características geomecánica en Veta Julie.	56
Tabla 10 Factores de peso.	57
Tabla 11 Valores obtenidos para los diferentes métodos.	57

RESUMEN

La investigación se centra en realizar la evaluación geomecánica para optimizar el método de explotación por subniveles que se está trabajando actualmente en el NV 2360 de la veta Julie, en Compañía Minera Poderosa, lo cual se va a lograr al analizar los esfuerzos que intervienen en la Veta Julie, al definir la calidad de la maza rocosa mediante la clasificación geomecánica RMR de Bienawski 89 y al optimizar el método de explotación mediante la evaluación geomecánica de la Veta Julie.

El método de explotación por subniveles, presenta constantes problemas por deslizamiento y desplomes de rocas, por ello es necesario realizar un estudio geomecánico, con ello se evalúa el tipo de roca en la que se está trabajando y se proponen las mejoras correspondientes. Se determinaron tres orientaciones de las discontinuidades, la primera tiene dip 20° y dip direction N47W, la segunda tiene dip 3° y dip direction N43E y la tercera tiene dip 68° y dip direction S40E. De acuerdo a la clasificación geomecánica RMR en la roca encajonante que está compuesta en su mayoría de diorita es un tipo de roca IIIB y en la franja mineralizada que está compuesto de cuarzo blanco, pirita y galena se tiene una roca tipo IIIB, de acuerdo a este tipo de roca tanto en la encajonante y la franja mineralizada se tiene un RMR de 42 a 50, si se hace uso de la clasificación geomecánica de Barton se tiene un Q que va de 0.80 a 1.95 y al hacer uso de la clasificación de índice de resistencia geológica GSI se tiene una roca MF/R (muy fracturada regular). De acuerdo a las características definidas por evaluación geomecánica se determina el uso del método de explotación cut and fill stoping en el NV 2360 de la veta Julie con altos máximos de minado 4.5 m, con dimensiones mínimas de puentes de 4.5 m en plano de buzamiento de veta con respecto a las Galerías Principales. Se recomienda sostenimiento sistemático con Puntales con jackpot espaciados a 1.3 m (anchos <3.0 m) y/o cuadros de madera (anchos >3.0 m) de presentarse parámetros geomecánicos de calidad de roca inferiores a lo establecido.

Palabras claves: **geomecánica, método de explotación, subniveles, vetas.**

ABSTRACT

The investigation focuses on performing the geomechanical evaluation to optimize the exploitation method by sub-levels in the Julie Veta - NV 2360, of the Minera Poderosa Company, which will be achieved by analyzing the efforts involved in the Julie Vein, when determining the quality of the rock mass by calculating RMR Bienawski 89 and by optimizing the exploitation method through the geomechanical evaluation of the Julie Vein.

The method of exploitation by sub-levels, presents constant problems due to landslides and rockfalls, other necessary an geomechanical study, with this the tipe the rock mass is evaluated and the corresponding improvements are proposed. Three orientations of the discontinuities were determined, the first has dip 20° and dip direction N47W, the second has dip 3° and dip direction N43E and the third has dip 68° and dip direction S40E. The quality of the rock is of type IIIB, in the boxing rock and in the mineralized zone it presents a rock of type IIIB with an RMR of 42 to 50, according to the classification of Barton corresponds a Q of 0.80 to 1.95 and a GSI of MF / R (very fractured regular). The Cut and fill stoping method for the Julie vein with high mining maximums of 4.5 m is determined, with minimum dimensions of 4.5 m pillars in the vein dip plane with respect to the Main Galleries. Systematic support is recommended with Props with jackpot spaced at 1.3 m (widths <3.0 m) and / or wood frames (widths > 3.0 m) if geomechanical parameters of rock quality lower than what is established.

Keywords: **geomechanics, exploitation method, sub-levels, veins.**

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se realizó la evaluación geomecánica para optimizar la explotación que se realiza por subniveles en el NV 2360 de la veta Julie, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.

La estimación geomecánica de la roca que está compuesto en el NV 2360 veta Julie es un parámetro fundamental para aplicar el método por subniveles, se realizó con la finalidad de determinar el tiempo de auto soporte y la estabilidad después de realizarse las excavaciones en los macizos rocosos, así como la secuencia del minado para tener una estabilidad permanente y una recuperación del mineral en su totalidad.

La presente tesis consta de tres importantes capítulos, el Capítulo I, detallara la realidad problemática que conlleva el no contar con un adecuado método de explotación en el NV 2360 – veta Julie, la delimitación espacial, delimitación social, temporal y conceptual de la tesis, el problema principal y secundarios correlacionados con el objetivo general y los específicos; además detalla la elaboración de la hipótesis general y secundarias y se analizaron las variables y la operacionalización; también se realizó la justificación de la investigación, la importancia y las limitaciones presentes en la elaboración de la tesis. Se detalló también el tipo y nivel de la investigación, método y diseño de la investigación, población y muestra de la investigación y técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el Capítulo II, se realizó la búsqueda teórica y se plasmó en antecedentes internacionales, nacionales y locales, posteriormente se analizaron las bases teóricas, con ello se definió los términos básicos.

En el Capítulo III, se presentan, analizan e interpretan los resultados que se han obtenido en la presente tesis.

Finalmente se presentaron las conclusiones, recomendaciones, fuentes de información y anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

Alrededor del mundo, las minas subterráneas aplican la geomecánica para establecerse planes de fortificación de acuerdo a la calidad de la roca y así evitar eventos no deseados por la proyección de las de rocas que se da comúnmente en las minas subterráneas; en las últimas tres décadas se ha obtenido grandes progresos en sostenimiento de mina (Córdova, 2014).

En Perú, en múltiples minas subterráneas aplican la geomecánica para realizar y aplicar un adecuado sostenimiento el cual garantice la estabilidad de las labores mineras durante y después de su ejecución, por ello debe evaluarse la masa rocosa mediante la aplicación de estudios geomecánicos para poder aplicar el sostenimiento adecuado y poder admitir como se comportaría la roca después de realizar la excavación (Valeriano, 2015).

Actualmente en Cajamarca, se encuentran varias concesiones mineras relacionados a minería subterránea, tomando como antecedente una de las más antiguas, a la Minera San Nicolás en Hualgayoc, que por constantes problemas de sostenimiento se presentaron derrumbes que les ha costado la vida a 11 trabajadores, uno de los motivos de los derrumbes fue deficiente evaluación geomecánica (Campos, 2016).

La Compañía minera Poderosa, se dedica a la extracción metálica exclusivamente de oro por minado subterráneo con operaciones convencionales y mecanizadas, pero actualmente se presentan problemas con la baja calidad del macizo rocoso, lo cual provoca deslizamientos; con el estudio geomecánico se identificará la calidad por tramo de la veta para posteriormente proponer las mejoras, para evitar los accidentes anteriormente mencionados.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se ejecutó en el poblado de Santa María, distrito y provincia de Pataz región La libertad, donde se encuentra Minera Poderosa, específicamente la zona productora Sur.

1.2.2. Delimitación social

La investigación se desarrolló en la zona productora Sur (Santa María) de Cia Minera Poderosa, en el año 2019.

1.2.3. Delimitación temporal

La investigación se desarrolló a partir del 1 de noviembre de 2018 hasta el 30 de abril de 2019.

1.2.4. Delimitación conceptual

Los conceptos que se van a utilizar son los siguientes:

- Método de explotación
- Subniveles
- Estudio geomecánico
- RMR
- RQD

1.3. Problemas de investigación

1.3.1. Problema principal

¿La evaluación geomecánica optimiza el método de explotación por subniveles en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿Cuáles son los esfuerzos que intervienen en el macizo rocoso de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019?
- ¿Cuál es la calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR Bienawski 89 en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019?
- ¿Cuánto se optimiza el método de explotación con la evaluación geomecánica de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Realizar la evaluación geomecánica para optimizar el método de explotación por subniveles en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los esfuerzos que intervienen en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.
- Determinar la calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR Bienawski 89 en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.

- Optimizar el método de explotación mediante la evaluación geomecánica de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.

1.5. Hipótesis y variables de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La evaluación geomecánica determina que la roca es de mala calidad por lo tanto se deben proponer mejoras para optimizar el método de explotación por subniveles en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.

1.5.2. Hipótesis secundarias

- Los esfuerzos que intervienen en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019, afectan la calidad de roca haciéndolo menos competente.
- La calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR es mala por tanto el método de explotación debe ser mejorado en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.
- El método de explotación mejora cuando se aplica la evaluación geomecánica en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa.

1.5.3. Variables (Definición conceptual y operacional)

a. Definición conceptual

- Evaluación geomecánica: Es la descripción de todas las discontinuadas con sus propiedades de un macizo rocoso, las cuales determinan el tipo de roca. La forma de responder de las masas rocosos frente a los esfuerzos presentes natural o artificialmente (Campos, 2016).

- Método de explotación por subniveles: Método de explotación subterránea de gran producción el cual es recomendado emplearse en vetas que su buzamiento sea vertical o sub vertical (Rivera, 2015).

b. Definición operacional

Tabla 1
Operacionalización de las variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Evaluación Geomecánica	Independiente	Factor de seguridad	Cohesión	MPa
			Fricción	(°)
		RMR	Resistencia de la roca	MPa
			RQD	%
			Espaciado	M
			Persistencia	M
			Abertura	Mm
			Rugosidad	Ligeramente rugosa – Lisa
			Relleno	Suave- duro
			Alteración	Inalterada – muy alterada
Presencia de agua	Seco – muy mojado			
GSI	Estructura del macizo	Intacta, fracturada, muy fracturada, fracturada/perturbada, disgregada, laminada		
	Condiciones de las estructuras	Muy buena, buena, regular, pobre, muy pobre		
Método de explotación por subniveles	Dependiente	Geomecánica	muy mala, mala, regular, buena y muy buena	%
		Ventilación	Calidad de aire	Gases y partículas en ppm
			Velocidad del aire	m/s
Sostenimiento	Resistencia del sostenimiento	MPa		

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. Tipo y nivel de investigación

a) Tipo de investigación

La investigación es Mixta por que se usó datos y resultados de cantidades como el número de discontinuidades y se utilizó la clasificación de Bienawski que determina la calidad de la roca. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 532)

b) Nivel de investigación

Se utilizó la investigación secuencial porque en una fase inicial se reúnen y estudian datos medibles de las discontinuidades, y en un segundo periodo se obtienen y estudian las comparaciones con la clasificación del RMR de Bienawski. (Hernández *et al.*, 2014, p. 547)

1.6.2. Método y diseño de la investigación

a) Método de investigación

En esta investigación se utilizó el Derivativo. En este método la obtención y el estudio de los datos medibles, se realizó en función de los resultados cualitativos. (Hernández *et al.*, 2014, p. 587)

b) Diseño de la investigación

Se aplicó explicativa secuencial, se diferencia porque en la etapa inicial se recolectan y estudian datos que arrojan cantidad, posteriormente por una segunda etapa se comparan con datos cualitativos. (Hernández *et al.*, 2014, p. 554)

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

Veta Julie con orientación NW – SE con buzamiento de 35° a 50°, en compañía minera Poderosa

b) Muestra

4 estaciones de evaluación geomecánica en la veta Julie del NV 2360, en compañía minera poderosa.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

- Análisis bibliográfico:
 - Tesis relacionadas a la geomecánica.
 - Manuales técnicos.
 - Estudios en geotecnia
- Observación Directa: Se tiene como principal autor al investigador o tesista.
 - Archivos digitales relacionados al tema de estudio.
 - Fotografías de la zona de estudio.
 - Estudios In situ.
- Análisis de resultados: Método de explotación.

b) Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon fueron:

- Ficha de toma de datos en campo.
- Caracterización geomecánica.

1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

a) Justificación

Evaluación geomecánica es muy importante para poder diseñar y definir el método de explotación a utilizarse, ya que contribuye a la optimización del método de explotación. Además, proporciona un conocimiento técnico completo del perfeccionamiento de los procesos en mina subterránea, de manera cuantitativa determinando así la calidad de la roca, de manera rápida y fácil.

La geomecánica busca evaluar las probables fallas, discontinuidades, diaclasas, fracturas, de las estructuras geológicas, etc. Que podrían originar una inestabilidad de la roca cuando de este realizando una excavación o una actividad que involucre al macizo rocoso.

Por lo tanto; la presente tesis pretende ser un aporte técnico metodológico en el cual se obtendrá resultados que establezcan el diseño de minado, para extracción minera subterránea. Esta tesis beneficia a la compañía minera Poderosa, ya que podrá contar con esta tesis como base para la realización de su plan de minado y para reducir posibles errores productivos.

El método de explotación por subniveles, presenta constantes problemas por deslizamiento y desplomes de rocas, por ello es necesario realizar un estudio geomecánico minucioso, para definir el tipo de roca para proponer las mejoras correspondientes.

Para continuar con la explotación de la veta "Julie NV 2360", se espera que al estudiar las características geomecánicas; se aumente la productividad diaria en la Compañía Minera Poderosa.

La presente investigación beneficia directamente a la CIA Minera Poderosa, ya que se va a optimizar el método de explotación, y convirtiéndose en una empresa más eficiente.

b) Importancia

La importancia de la investigación radica en la seguridad laboral que se va a conseguir al mejorar el método de explotación, es decir al ser más seguro el método de explotación se prevendrán accidentes; además minera poderosa se convertirá en una empresa más eficiente.

c) Limitaciones

En CIA Poderosa, no hay intercambio de información entre los departamentos de mina, por lo tanto, no se puede acceder a datos como las reservas probadas, probables y recursos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Rincón (2016), en su tesis de pregrado *Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso del Área del Contrato 01-068-96*, nos dice:

(En el lugar donde se desarrolló la investigación se determinaron tres tipos entre rocas y minerales los más predominantes en la zona y son: Arcillas de la formación Guaduas, areniscas de la formación Guaduas y en mayor cantidad carbones de la formación Guaduas, los cuales en la actualidad son extraídos, debido a la explotación de los carbones de la formación Guaduas y presencia de fallas geológicas se evidencio una alta sismicidad afectando la estabilidad. También se pudo determinar que es afectada por actividad minera subterránea en la zona. Para realizar esta investigación se utilizó la clasificación geomecánica de Bieniawski, con el cual se determinó que el macizo rocoso del Área del Contrato 01-068-96 es de clase III de calidad media con (RMR) que oscila entre 60-41 la cohesión aproximada es de 2-3 kg/cm², con un ángulo de rozamiento que varía entre 25°-35°. concluyendo que la roca es medianamente estable).

Recio (2014), en su Tesis titulada *Aplicación de la Regresión Logística en la Predicción Empírica de Fenómenos Complejos en Obras Subterráneas: Squeezing y Rotura de Pilares de Carbón*, nos dice:

(Que el análisis de ocurrencia de ambos fenómenos –fluencia rotura de pilares de carbón y túneles para minería de tajos largos– mediante metodologías empíricas permiten simplificar considerablemente su estimación. En el estudio de ocurrencia de squeezing, se ha observado cómo el clasificador logístico proporciona unas mejores capacidades predictivas en los espacios de características formados por los pares $\log Q$ [10]– H , $\log Q$ – $\log H$, $\log N$ (Q para $SRF=1$)- H y $\log N$ - $HB_{0,1}$, siendo H la profundidad del túnel y B el diámetro medio del mismo. En el caso de la determinación de fallo de pilares, el clasificador se ha mostrado útil en los espacios ALPS SF-CMRR y H-ARMPS SF, donde H es la profundidad de la mina y los parámetros ALPS SF y ARMPS SF son los factores de seguridad calculados mediante las metodologías ALPS [131, 130] y ARMPS [125] para el dimensionamiento de pilares de carbón).

Crespo (2013), en su Tesis titulada *Elección del Sistema de Explotación del Bloque R-Norte de la veta Santa Ana, Distrito Minero Zaruma-Portovelo*, nos dice:

(El objetivo fue elegir el método de explotación más adecuado entre los distintos métodos que existen en la actualidad. para explotar un cuerpo mineralizado de oro recién explorado donde no hay tajos en ese tipo de yacimientos en la zona de estudio. Con esta investigación se logró determinar la sección de las labores permanentes, además de la producción diaria que debe realizarse. Se determinó un modelo de malla de perforación que debe utilizarse, circuito de ventilación y sistema de drenaje de agua que se utiliza. También se realizó un cronograma de trabajos y un estudio económico de viabilidad para que se realice la explotación del nuevo bloque. Al realizarse los distintos estudios tanto técnicos, operativos, económicos y de medio

ambiente se concluyó que la mejor alternativo para explotar el nuevo bloque es utilizando el método de explotación cámaras y pilares además en algunas partes del bloque se utilizara corte y relleno, se opta por tener una explotación combinada debido a la extracción del mineral además para realizar su respectivo relleno del bloque).

2.1.2. Nacionales

Córdova (2014), en su tesis titulada, *Geomecánica en el Minado Subterráneo Caso Mina Condestable*, nos dice:

(Para realizar la explotación subterránea, a lo que se enfoca la presente tesis, para ejecutar las distintas actividades relacionados a la geomecánica en cualquier mina subterránea debe ser llevados a una organización donde se debe debatir he integrar los conceptos, información y actividades que realiza todo el personal involucrado en geomecánica de la mina.

Bustamante (2013), en su investigación titulada *Geomecánica Aplicada en la Prevención de Pérdidas por Caída de Rocas Mina Huanzalá-Cía. Minera Santa Luisa S.A.*, nos dice:

(Para que se pueda reducir los eventos no deseados (accidentes incapacitantes y fatales), perjuicios en la propiedad (equipos e instalaciones), y perdidas en el proceso, en minera Huanzalá, se realizó aplicando: a) evaluación geomecánica donde se determina un mejor sistema de fortificación en las labores en el cual se establece el uso de: Pernos de anclaje, cable bolting, shotcrete por vía seca - vía húmeda y la malla metálica, b) Al tener controlado el macizo rocoso mediante la evaluación geomecánica era necesario Implementar el Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional OHSAS:18001-1999 y el Sistema de medio ambiente ISO: 14001- 2004, que se está implementando, y c) se está trabajando con el planeamiento de años atrás por tal motivo se necesita mejorar con ideas modernas , las 3 propuestas de mejora permitirá a la empresa Santa Luisa, realizar sus

operaciones con mejor calidad a un mediano plazo. Las herramientas descritas líneas arriba permitirán mejorar la seguridad y así evitar accidentes e incidentes).

Mena (2012), en su Tesis titulada, *Planeamiento de Minado Subterráneo para Vetas Angostas: Caso Práctico; mina “Esperanza de Caravelí” de Compañía Minera Titán S.R.L.* nos dice:

(Cuando se inicie la explotación de la veta Dulce (zona Coila), esto hará que la producción de mineral aumente en un 30%, en la zona Aurora de la veta del mismo nombre y la zona de Gisela (veta Gisela y veta Carmen). se continuará con su explotación normal por ente el aporte de mineral para estas dos últimas zonas será lo mismo de siempre. Al tener un aumento del 30% de producción se programó para el año 2012 incrementar la producción y así cubrir la capacidad de producción de la planta que actualmente es de 200 ton/día. Para los años 2013 y 2014 se planifica continuar con la misma producción del 2012 para poder dar prioridad a las labores de exploración y poder cortar a 9 vetas adicional que se tiene ya definidas por estudios geológicos las cuales darán mayor producción en el futuro.

2.1.3. Locales

Toroverero (2014), en su Tesis titulada, *Evaluación Geomecánica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca- El Gavilán*, nos dice:

(La carretera Cruz blanca – El Gavilán se encuentra ubicado en un conjunto de plegamientos tanto sinclinal y anticlinal con orientación SE - NW y con presencia de fallas geológicas con dirección NE-SW hasta E-W. Conformando el comportamiento litomorfoestructural; se encuentra ubicado al sureste de la ciudad de Cajamarca, en la zona hay presencia de estructuras fuertemente disturbadas, que dan lugar a plegamientos, fallas y alto grado de fracturación en las masas rocosas, los cuales por estar constituidos por rocas margosas, calcáreas, areniscosas, cuarcíticas,

limolíticas y lutáceas, así como cobertura de depósitos cuaternarios aluviales y coluvio - aluviales están expuestas a procesos de erosión acelerado, meteorización física y química, las cuales producen alteraciones profundas en la masa rocosa. Adicionalmente se tiene constantes vibraciones por el traslado de vehículos pesados, presencia de precipitación fuertes, filtración, erosión hidrogeológica y los cambios bruscos de temperatura que normalmente se presenta están alterando la roca esto haciendo que disminuya las propiedades de resistencia, la cohesión, fricción interna y las fuerzas resistentes, por lo cual se produce la inestabilidad de los taludes.

Rodríguez (2012), en su Tesis titulada *Propuesta de Mejora de la Gestión de Mantenimiento Basado en la Mantenibilidad de Equipos de Acarreo de una Empresa Minera de Cajamarca*, nos dice:

(Al mantener una gestión adecuado de mantenimiento cumpliendo su programa de mantenimiento los equipos de acarreo mejoraran la disponibilidad mecánica. La presente teses se inicia con detectar la situación actual de la gestión de mantenimiento de los equipos de acarreo de la empresa y así saber donde existe deficiencia para poder dar solución y reducir el costo de mantenimiento correctivo. Al detectar una deficiente gestión de mantenimiento se propone mejorar la gestión de mantenimiento. Al comprobar la factibilidad de la propuesta de mejora con un VAN de \$ 15'402,040.02 el cual es mayor que cero, esto permite afirmar que el proyecto rinde una tasa mayor que la exigida y por ende el proyecto es aceptable luego de haber comparado el ahorro que tendríamos aplicando los indicadores con la situación actual y lo óptimo que tendría que medir la empresa).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Caracterización geomecánica

- Definición de discontinuidades

Las discontinuidades son las que el establecen la calidad de la roca, a partir de ello se tiene las propiedades de resistencia. Y para su estimación es necesario definir la cantidad de familias presentes, relleno, persistencia, apertura de los planos de discontinuidad, como son físicas y geométricas para cada una de las familias (Bustamante, 2013, p. 23).

- Tipos de discontinuidades: (estratificación: S0, esquistosidad: S1, juntas: J1, J2, fallas: F1, F2.)
- Característica por familia de discontinuidades:
 - Orientación: dirección y buzamiento
 - Espaciado, en mm (hay 7 clases)
 - Continuidad según dirección y buzamiento, en m (hay 5 clases)
 - Rugosidad, se determina con el peine de Barton (hay 10 clases)
- Apertura, en mm (hay 9 clases)
- Ancho: Se determina con o sin relleno
 - Composición (hay 8 tipos)
 - Espesor, en mm
- Grado de meteorización (hay 6 clases)
- Filtraciones o existencia de agua, (hay 4 clases)
- Resistencia a la compresión de las paredes (Depende del tipo de matriz rocosa, del grado de meteorización y de la existencia o no de relleno):
 - Índices de campo (hay 6 clases)
 - Valor de resistencia a la compresión (martillo Schmidt)
- Resistencia al corte (parámetro cuantitativo) (Córdova, 2014, p. 34).

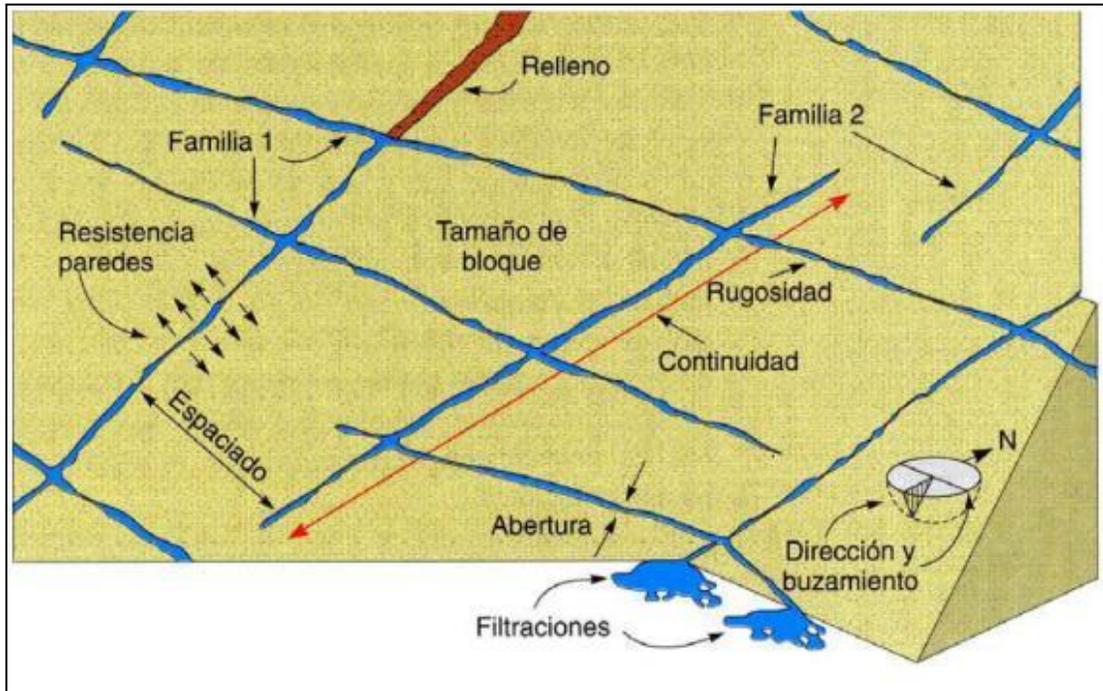


Figura 1. Propiedades de las discontinuidades presentes en un macizo rocoso.
Fuente: Córdova, 2014.

- Rock Mass Rating

El RMR, es una clasificación geomecánica muy utilizada para determinar el tipo de macizo rocoso y aplicar su determinado soporte de acuerdo a las valoraciones establecidas para esta clasificación, antiguamente se utilizaba solamente para determinar el tipo de sostenimiento que se debe aplica en los túneles, pero en la actualidad también es usado para la estabilidad de taludes. El RMR según Bieniawski se debe evaluar y estudiar a detalle lo siguiente:

1. Resistencia de la roca intacto: Es recomendable realizar mediante ensayos de carga puntual hechos en laboratorios, también se determina por golpe de martillo geológico.
2. RQD. Se calcula Utilizando un testigo o en superficie aplicando formulas.
3. Espacio entre discontinuidades: Distancia que existe entre 2 discontinuidades.
4. Condición de las discontinuidades:
 - i. Distancia de la discontinuidad

ii. Abertura

iii. Rugosidad

iv. Relleno

v. Alteración

5. Presencia de agua subterránea

Para obtener el RMR cada parámetro anterior tiene un valor los cuales son sumados y el resultado es el RMR del macizo rocoso en estudio.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \dots\dots\dots(Rivera, 2015, p. 21).$$

Tabla 2

Parámetros de clasificación geomecánica según Bienawski 89.

1	Resistencia del macizo rocoso (MPa)	Ensayo de carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligerament rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligerament e alterada	Moderada mente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/m in	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligerament húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: Córdoba, 2014.

Tabla 3
Categoría de clasificación geomecánica.

VALOR DE RMR	Clasificación del Macizo Rocoso	Clase
81 – 100	Muy Bueno	I
61 – 80	Bueno	II
41 – 60	Medio	III
21 – 40	Malo	IV
0 – 20	Muy Malo	V

Fuente: Córdoba, 2014.

- Índice de Calidad de las Rocas

El RQD (Rock Quality Designation Index). Se realizó con el objetivo de determinar numéricamente la calidad de la masa rocosa a partir de la recuperación de un testigo de perforación diamantina. El RQD para ser calculado a partir de un testigo se suma todos los trozos mayores a 10 cm de longitud y se divide entre el largo total del testigo recuperado de la perforación diamantina.

$$RQD = \frac{\sum \text{Fragmentos del testigo} \geq 10\text{cm}}{\text{Largo Total del Testigo}} \times 100$$

Si no se tiene testigos y se necesita realizar un cálculo de RQD, existe ecuaciones para realizar el cálculo del RQD sin necesidad de utilizar un testigo a continuación, se detalla las ecuaciones.

$$RQD = 115 - 3.3 J_V \rightarrow J_V > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow J_V \leq 4.5$$

Donde J_V es la cantidad cuantitativa de las discontinuidades presentes en la masa rocosa por m^3 . Al aplicar cualquiera de formas se obtiene el valor RQD y se determina la calidad de roca de acuerdo al siguiente cuadro (Bustamante, 2013, p. 18).

Tabla 4
Calidad de RQD.

RQD (%)	Calidad de Roca
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: Córdoba, 2014.

La cantidad de fracturas y cuanto este alterado juega un rol muy importante en las masas rocosas, porque a partir de ese parámetro se define el tipo de roca que se detalla en la siguiente tabla. (Córdoba, 2014, p. 24):

Tabla 5
Clasificación de la masa rocosa de acuerdo al grado de fracturamiento.

Descripción	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	Índice de Resistencia de Carga Puntual (MPa)
Muy Alta	> 200	> 8
Alta	100 – 200	4 – 8
Media	50 – 100	2 – 4
Baja	25 – 50	1 – 2
Muy Baja	1 – 25	< 1

Fuente: Córdoba, 2014.

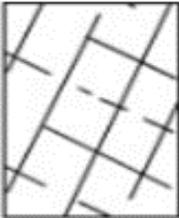
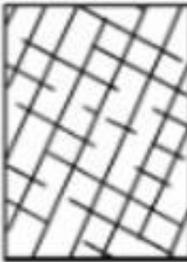
- Índice de resistencia Geológica (GSI)

El GSI es una clasificación geomecánica que se basa a partir de la observación, el GSI tiene dos aspectos principales para poder hacer uso de esta clasificación y son; condición de superficie y nivel de la estructura. Esta clasificación es muy utilizada en la minería subterránea para determinar el tipo de soporte a utilizar en cada labor que se está avanzando, además se utiliza por ser fácil de realizarlo tanto por los colaboradores y profesionales.

Para realizar esta clasificación se realiza en la zona donde está más fracturado de la labor que se está avanzando y se mide un metro cuadrado, en el cual se cuenta cuantas fracturas cruzan este metro cuadrado, para posteriormente realizar los golpes de picota o martillo geológico (Bustamante, 2013, p. 31)

Una vez que tiene las observaciones de superficie y condición estructural que se ha realizado en campo se estima el macizo rocoso según el GSI de acuerdo a la tabla que se detalla líneas abajo. Cabe indicar que cada unidad minera subterránea tiene adecuado su tabla GSI de acuerdo a su realidad y tipo de soporte que utiliza.

Tabla 6
Estimación del GSI.

<p>Características del Macizo Rocos según GSI Modificado:</p> <p>Se contabiliza la cantidad de fracturas por metro lineal medidas IN SITU.</p> <p>Para determinar la resistencia de la roca IN SITU, se hace uso del martillo geológico (golpeando la roca). También se considera: rugosidad, alteración y relleno de las discontinuidades.</p>	<p>CONDICIONES SUPERFICIALES</p>	<p>Muy resistente (Extremadamente fresca) Superficies de discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Se astilla con golpes de picota)</p>	<p>Buena (Muy Resistente, Levemente Alterada) Discontinuidades rocosas, Leve mt alter. manchas de oxidación (se rompen con varios golpes de picota)</p>	<p>Regular (Resistente y Levemente Alterada) Discontinuidades lisas, Moderadamente alteradas, ligeramente abiertas (se rompen con uno o dos golpes de picota)</p>	<p>Mala (Moderamt. Resistente, moderamt alterada) Superficies pulidas o con estrías, muy alteradas, relleno compacto o con fracturas de rocas. (se indenta superficiales)</p>	<p>Muy Mala (Blanda, muy alterada) Superficies pulidas y estriadas, muy abiertas con relleno de arcillas blandas. (se disgrega profundamente)</p>
<p>ESTRUCTURAS</p> <p>Levemente Fracturada</p>  <p>Igual o menor a 3 sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí. (RQD 75 – 90%) De 2 a 6 fract/metro.</p>		LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM
<p>Moderadamente Fracturada</p>  <p>Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas, de discontinuidades ortogonales (RQD 50 – 75%) De 6 a 12 fract/metro.</p>		F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM

<p>Muy Fracturada</p> 	<p>Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades.</p> <p>(RQD 25 – 50%)</p> <p>De 12 a 20 fract/metro.</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM
<p>Intensamente Fracturada</p> 	<p>Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades, interceptadas formando bloques angulosos o irregulares.</p> <p>(RQD 0 – 25%)</p> <p>Más de 20 fract/metro.</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM
<p>Triturada o Brechada</p> 	<p>Ligeramente trabada, masa rocosa, extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados.</p> <p>(SIN RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM

Nota:

condición de estructura: (LF= Levemente fracturada, F= Moderadamente fracturada, MF= Muy fracturada, IF= Intensamente fracturada, T= Triturada o brechada)

Condición de superficie: (MB= Muy buena, B= Buena, R= Regular, M= Mala, MM= Muy mala) Fuente: Crespo, 2013.

- Correlación entre RMR y GSI.

Para determinar la relación entre GSI y RMR, tiene que detallarse qué tipo de RMR se ha utilizado, se detallan a continuación (Córdova, 2014, p. 37):

En el RMR 76

$RMR76 > 18 \rightarrow GSI = RMR76$

$RMR76 < 18 \rightarrow$ No se puede utilizar el RMR76 para la obtención del GSI

Para el caso de RMR89

$RMR89 > 23 \rightarrow GSI = RMR89 - 5$

$RMR89 < 23 \rightarrow$ No se puede utilizar el RMR89 para la obtención del GSI.

2.2.2. Métodos de explotación por subniveles.

El método de explotación por subniveles también conocido por su nombre en inglés (Sublevel Stopping, Blasthole o Longhole Stopping), se aplica en su mayoría con taladros largos por ser más rentable toneladas rotas/hombre guardia, debido que se rompe gran cantidad de mineral, este método de explotación se aplica en vetas de buzamiento semi verticales a verticales, para realizar por taladros largos las cajas tiene que ser competentes que requieran esporádicamente fortificación o que se trabaje sin uso de sostenimiento artificial, la mena rota producto de la voladura fluye por la pendiente (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 37).

El método de explotación de tajeo por subniveles en la etapa de preparación conlleva una fuerte inversión, pero es recuperado debido que todas las labores de preparación se realizan en mineral con valores económicos explotables (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 38).

El método de explotación por subniveles se inició en minas de hierro de Michigan por el año 1902 y al principio se utiliza solo para minas convencionales con winches. Cuando se inicia a mecanizar la perforación (simba) y la limpieza con equipos de bajo perfil, la producción va a partir de 15 - 40 ton/hombre-guardia depende de la potencia de la veta a

explotar normalmente la producción mensual es mayor a 25,000 toneladas. Un 9% de las minas de Estados Unidos utiliza este método y a nivel mundial en las minas metálicas utilizan un 3 % (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 38).

Actualmente tajeo por subniveles utilizando taladros largos se aplica únicamente en vetas verticales o semi verticales y la roca encajonante tiene que ser competente para evitar derrumbes, la veta debe ser vertical para evitar desviaciones de los taladros en la perforación y que mineral roto fluye por gravedad para su posterior limpieza con equipo scoop.

Al realizarse una voladura eficiencia en tajeo por subniveles utilizando taladros largos hace de este método el costo más bajo en minería subterránea debido que se rompe gran cantidad de mineral por disparo.

Las máquinas perforadoras que se encargan de realizar los taladros largos son las llamadas simbas.

a. Yacimientos que se aplican tajeo por subniveles.

Las vetas que pueden ser explotadas por el método de explotación por subniveles haciendo uso de taladros largos deben ser de regulares a grandes, esto quiere decir que las vetas tienen que tener como mínimo 4 metros de potencia. La roca encajonante debe ser competente y tener un tiempo de auto soporte como mínimo de 6 meses, los esfuerzos que tienen que resistir la roca encajonante varía de acuerdo a la abertura que se realiza la explotación, pero como mínimo de esfuerzo que debe resistir para poder aplicar este método de explotación es de 8 000 psi (55 MPa). Además, las vetas deben de ser verticales o mínimo semi verticales para que el mineral roto fluya sin necesidad de realizar rastrillajes (Córdova, 2014, p. 41)

Las vetas con leyes de corte económicamente rentables donde se puede utilizar tajeo por sub niveles haciendo uso de taladros largos deben de tener como mínimo 4 metros de potencia, con esta potencia la voladura es más eficiente, cuando se tiene vetas con menor potencia la producción es más baja y el costo de tonelada rota es más caro, por disparo se rompe menos cantidad de mineral. También se puede aplicar en vetas con potencia menor a 1.5 metros, pero tiene que ser verticales cuando se tiene vetas con esta potencia la perforación se vuelve más dificultosa por ende tarda más tiempo en realizar esta actividad, todas las potencias de veta pueden ser explotadas por este método, pero al tener menos potencia sube el costo de tonelada rota y reduce toneladas/hombre guardia. Cuando se tiene vetas con potencia de 6 metros, los pilares de apoyo comúnmente se dejan para tener mayor estabilidad la caja techo. Los pilares dejados se recuperan al finalizar con el relleno los tajos cercanos. (Bustamante, 2013, p. 21).

La Cuando se realiza la perforación de taladros largos las vetas deben ser bien definidas debido que en muchas ocasiones se tiene desmonte o son cuerpos irregulares que no se puede evitar fácilmente por la gran cantidad de volúmenes de producción que se realiza con estos taladros, cuando se tiene zonas pobres en las vetas estas son rotas aumentando la dilución del mineral y aumenta el costo de tonelada rota. Cuando se tienen cajas (piso y techo) lisas ayudan a fluir el mineral con mayor facilidad hacia las tolvas o hacia la zona de limpieza haciendo más eficiente el proceso, además de ser lisas las cajas también es fundamentan que sean competentes y tener un tiempo largo de auto soporte para permitir realizar grandes excavaciones e incluso no relleno por amplios periodos de tiempo (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 32).

Las Minas Cuando existe un derrumbe o colapso a causa de la roca encajonante incompetente provocas una gran dilución y en muchas ocasiones ha existido grandes derrumbes que provocan la perdida de subniveles, cuando sucede estos eventos se continua con la explotación con tajos pequeños haciendo que reduzca el rendimiento de toneladas/hombre-guardia y aumentando el costo de producción (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 33).

b. Ventajas

- Tajeo por subniveles haciendo uso de taladros largos en su totalidad es mecanizada por ende la eficiencia es alta llegando hasta las 110 toneladas/hombre-guardia y a bajo costo.
- Tajeo por subniveles haciendo uso de taladros largos tiene un ritmo de producción alto llegando en sus mejores condiciones a producir en un mes calendario igual o mayor a 25 000 toneladas.
- Al realizar este tipo de explotación las labores son más seguras. Hasta el momento no se tiene registro de accidentes con este método, además por ser por subniveles se puede ventilar fácilmente y diluir los gases producto de la voladura que se realiza en su mayoría una vez por semana.
- Mayormente la recuperación de mineral es en un 90 %, cuando la recuperación es buena de los pilares que en algunas ocasiones se deja. La dilución de mineral es muy baja estando por debajo del 20%.
- Se puede acumular los taladros antes que sea disparados de acuerdo a la disponibilidad del equipo simba.
- En las minerías que tienen mecanizado al 100 % de sus operaciones la operación unitaria de voladura se puede hacer una vez por semana en cada tajo (Rincón, 2016, p. 19).

c. Desventajas

- Al realizarse la explotación por subniveles, como en todo método lo primero que se realiza es la preparación en este caso se hace subniveles cada 20 o 30 metros antes de iniciar con la rotura de o los tajos, haciendo de este método caro las labores de preparación
- Para realizar este método de explotación requiere que en su mayoría la veta sea mineral con valores económicos rentables.
- Este método de explotación en pendientes bajas suele ser poco rentable porque aumenta la dilución, en muchas ocasiones se desvía los taladros que estos cortan roca estéril.
- Los gases de las voladuras secundarias que se realiza para romper bancos suelen dirigirse hacia los tajos al realizarse 2 a tres por día. (Rincón, 2016, p. 41).

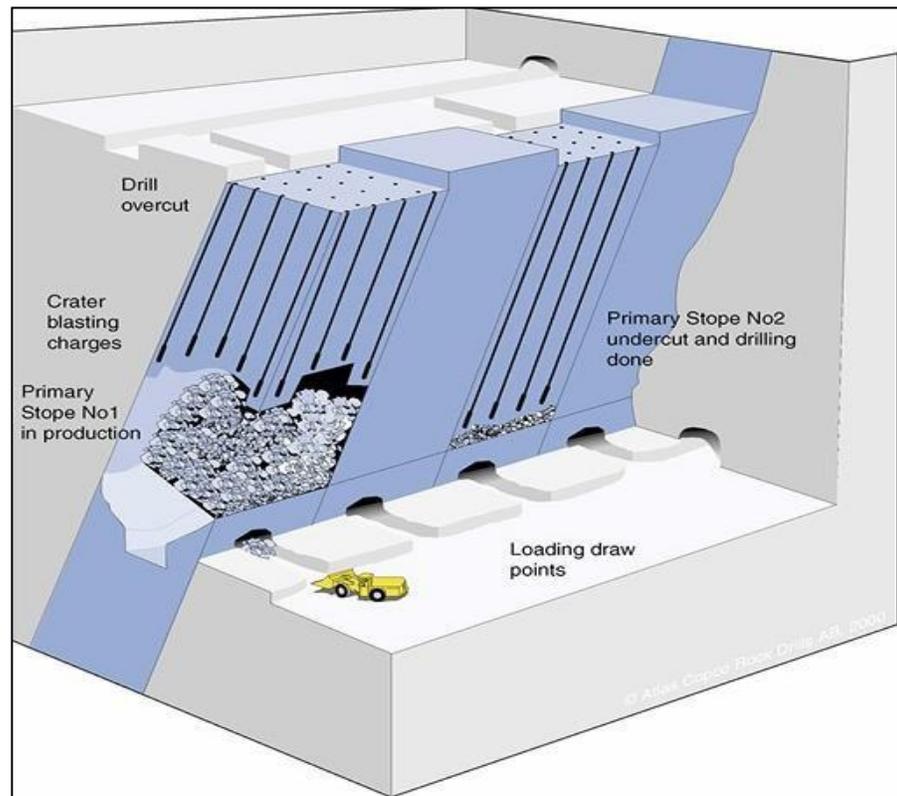


Figura 2. Esquema de tajeo por subniveles.
Fuente: Rincón, 2016.

Método de explotación por subniveles también llamado en inglés “sublevel stopping” este método consiste en extraer todo el mineral que hay para posteriormente dejarlo vacío sin relleno alguno. Este método de explotación tiene una gran producción motivo que los subniveles (preparación), que se realiza antes de la rotura del tajo se realizan en mineral por la cual van aportando mineral mientras se va preparando los tajos. Para evitar derrumbes en vetas con potencias grandes se divide en dos a más tajos, los pilares que se dejan son recuperados al finalizar la explotación del tajo (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 17).

En el método por subniveles la explotación inicia a partir del nivel principal realizando las drawpoint, los subniveles son realizados entre los niveles principales a una distancia en cota entre 20 a 30 metros de acuerdo a la capacidad de la máquina perforadora que se tiene, al romperse el mineral por taladros largos el mineral cae por gravedad hacia los drawpoint para luego ser limpiado y transportado hacia superficie o echadero de mineral. (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 18).

Características de la veta para su aplicación:

- Buzamiento de la veta tiene que ser vertical o sub vertical, con capacidad que fluya el mineral roto.
- El macizo rocoso encajonante tiene que ser competente y tener periodos largos de tiempo de auto sostenimiento.
- Con forme se va rompiendo el mineral tiene que mostrar una buena resistencia a los esfuerzos (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 24).

Tipos de perforación en taladros largos:

- Taladros en paralelo. Se utiliza en vetas con buzamiento que van de 85° a 90° y potencia que varía de 6 metros a más, para la perforación se utiliza barras de extensión de diámetro que van de 2” a 7 7/8” con estas barras es posible perforar hasta 90 metros, al realizarse mayor longitud de perforación se utiliza barras de mayor diámetro y así no

tener dificultades a la ora de cargar los taladros con carga explosiva (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 25).

Primeramente, se perfora el arranque para poder tener cara libre y se dispara solamente eso, posteriormente se desquicha toda la potencia de la veta (ancho de minad0) para en disparos posteriores se realiza la voladura todo el cuerpo del yacimiento, la perforación se realiza de arriba hacia abajo para evitar posibles desprendimientos a la hora de realizar esta actividad, la voladura inicia de abajo hacia arriba con salida hacia la cara libre que se generó con anterioridad, la distancia de los subniveles son variables de acuerdo cada mina y estos pueden ser hasta 60 metros (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 26).

- Perforación en forma de abanico o anillo. La perforación se inicia en los subniveles en forma descendente a partir de la cara libre que se ha generó con anterioridad, el mineral roto cae por gravedad a la zona vacía donde esta las tolvas o drawpoints limpieza de estos últimos se realiza con scoop de acuerdo al sistema que tenga cada unidad minera. Normalmente se dispara dos a tres abanicos, puede ser mas de acuerdo a la experiencia que se tenga. Las longitudes de los subniveles varían, pero en estos tiempos donde la tecnología de la minería se ha modernizado va aumentando la distancia de los subniveles que incluso 2 subniveles ha sido reemplazado en uno. Este tipo de perforación en anillos no es recomendable para vetas angostas, es estas vetas se recomienda hacer uso de la perforación en paralelo.

Método de explotación minera corte y relleno

Se utiliza en vetas de buzamiento regular, la rotura de mineral se realiza por longas echadas en forma ascendente desde el subnivel base que se realiza dejando un puente desde las galerías principales, la altura de minado depende de la potencia de la veta, la perforación puede ser en realce o brestring de acuerdo a la condición del terreno, una vez realizado la rotura de mineral se va al proceso de relleno detrítico o hidráulico con esto se obtiene un nuevo piso para realizar nuevamente la perforación.

El relleno que se utiliza por lo general es de las labores de preparación que se avance en desmonte esto es utilizado para rellenar tajos, o en otros casos cuando no hay material estéril es extraído desde superficie de alguna cantera adyacente a la mina, cuando se realiza relleno hidráulico en la mayoría de las minas utiliza el relave para rellenar los tajos los cuales son trasladados desde superficie por tuberías, a esto relaves se adiciona cemento en algunos casos para tener más compacta la masa de relleno (Rincón, 2016, p. 49).

Casi en su totalidad las mineras apuntan a mecanizar sus operaciones por ende se ha mecanizado este método de explotación de minería subterránea sustituyendo varios que se aplicaba en la minería mecanizada, la ventaja que posee este método es la excelente recuperación de mineral y garantiza la seguridad cuando el terreno es malo, la desventaja es el costo del relleno (Rincón, 2016, p. 49).

La explotación se realiza en cortes horizontales de abajo hacia arriba a partir de un subnivel base que se realiza dejando un puente desde la galería principal, la perforación puede realizarse en realce o brestring, una vez roto el mineral se realiza la limpieza en convencional con winche de arrastre y en mecanizada con equipo de bajo perfil, una vez realizado la limpieza y barrido de finos continua el proceso de relleno el cual genera

nuevo piso para realizar la perforación, el relleno ya sea detrítico o hidráulico sirve como sostenimiento de caja piso y techo.

Para relleno detrítico en la mayoría de las minas utiliza el desmonte de las labores de exploración o preparación que estén en la parte superior de los tajos en algunos casos que es raro se extrae en superficie desmonte de una cantera adyacente a la mina este material es tritura y mezclado con agua para posteriormente ser trasladado por tuberías (Bustamante, 2013, p. 50).

La desventaja que tiene este método es el costo elevado del relleno, las voladuras con limitadas además en el proceso de relleno la producción se paraliza hasta rellenar al 100% el tajo (Córdova, 2014, p. 23).

Para realizar este método es recomendable que las tenga un buzamiento superior a los 50° (Córdova, 2014, p. 24).

2.3. Definición de términos básicos

- **Optimización de producción:** Beneficiarse en mayor cantidad y a bajo costo haciendo crecer la producción de mineral con menos gastos y menor tiempo (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 18).
- **Veta:** Cuerpo mineralizado con contenidos de mineral ganga o mena (Rincón, 2016, p. 29).
- **Compañía minera:** Empresa dedica a la extracción de mineral metálico o no metálico (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 34).
- **Unidad minera:** Es las instalaciones y lugar donde un grupo de trabajadores realizan sus labores relacionados al rubro minero (Bustamante, 2013, p. 57).

- **Mineros Artesanales:** Trabajadores mineros que realizan explotación minera a pequeña escala, sin aplicar las normativas de seguridad y salud ocupacional (Bustamante, 2013, p. 52).
- **Limpieza:** Es el proceso minero que se realiza después de la voladura, con la finalidad de limpiar el frente para continuar con el ciclo de perforación y voladura (Córdova, 2014, p. 30).
- **Clasificación geomecánica:** tipo de rosa clasificada de acuerdo a sus características geomecánicas para definir el tiempo que puede estar sin sostenimiento y que tipo de sostenimiento se puede aplicar (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 12).
- **Tajo:** labor minera donde se desarrolla la perforación y voladura con la finalidad de romper mineral mena para su posterior tratamiento metalúrgico (Córdova, 2014, p. 17).
- **Controles geológicos:** Estudian las condiciones de formación y los lugares o ámbitos geológicos del emplazamiento de un yacimiento (Bustamante, 2013, p. 6).
- **Masa rocosa (MR):** Está compuesto por todas las discontinuidades entre las más resaltante podemos nombrar, fracturas, fallas, plegamientos entre otros (Bustamante, 2013, p. 71).
- **Matriz rocosa:** Podemos decir que es la roca intacta sin discontinuidades además tiene una reacción heterogénea y anisotropía (Pantaleón y Carbajal, 2017, p. 24).
- **Método de explotación:** Es una forma de extraer el mineral económicamente rentable mediante excavaciones de una manera más económica y rentable para una empresa. (Ferrer, 2015, p. 11).

- **Roca:** Agregado mineral, que está compuesto por distintos minerales (Ferrer, 2015, p. 23).
- **Minería Subterránea:** Es el conjunto de excavaciones que se realizan por el subsuelo, con la finalidad y objetivo de extraer o explotar recursos mineros económicamente rentables o que tengan valor económico (Córdova, 2014, p 25).

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de tablas y figuras

3.1.1. Ubicación

Sus operaciones de minera Poderosa se encuentran ubicadas en el departamento de La libertad, provincia y distrito de Pataz (sierra Liberteña) en esta parte del país, minera Poderosa tiene dos zonas de operación las cuales son llamadas zona norte y zona sur las cuales están situadas específicamente en los poblados de Vijus y Santa María respectivamente, geográficamente se encuentra ubicada al lado diestro del rio Marañón.

En la zona sur (Santa María), las cotas de sus laboreas mineras van desde 2120 hasta 3100 m.s.n.m. con coordenadas UTM que a continuación se detallan:

Norte: 9140234

Este: 214 769 E

La Compañía Minera Poderosa unidad Santa María está emplazada cerca al rio Abiseo, a diez minutos del distrito de Pataz, viajando en camioneta y 30 minutos caminando.

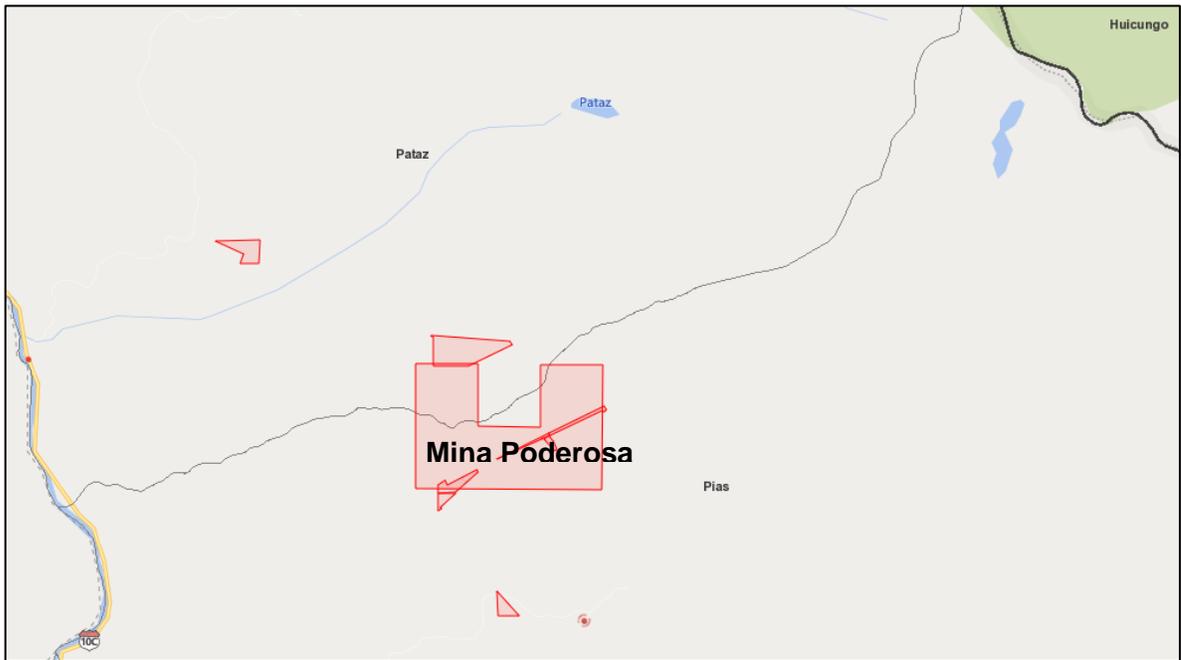


Figura 3. Ubicación de la mina Poderosa.

Fuente: Google Maps, (2019).

3.1.2. Accesibilidad

Considerando la ruta desde Lima por la Panamericana Norte se llega a Trujillo y de allí por la carretera afirmada con dirección a Huamachuco para llegar a Chagualito, pasando el puente que cruza el Río Marañón hay un desvío hacia el Norte por la margen derecha de este, hasta pasar el río Abiseo a 50 metros antes de llegar al aeropuerto Chagual hay un desvío hacia el lado derecho que va a la Unidad Santa María (Pataz).

Tabla 7
Accesibilidad a la zona de estudio.

LUGAR DE VIAJE	DESTINO	TIEMPO (HRS:MIN)	DISTANCIA (KM)	MEDIO
Lima	Trujillo	8:16	557.6	Bus
Trujillo	Santa María	10:42	357.9	Camioneta

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.1.3. Relieve

La topografía del terreno es accidentada e irregular, con presencia de pronunciadas pendientes y escarpas debido al tectonismo intenso dentro del área.

El relieve geomorfológico que presenta en la unidad Santa María se ha originado debido a factores tanto de meteorización y estructurales, se puede decir que para la formación de la zona también influyo algunos procesos geodinámicas tectónicas que ha dado la forma del relieve que se percibe en la actualidad.

3.1.4. Geología Regional

La geología regional está relacionada con la estratigrafía (estratos) de cordillera de los andes de la parte oriental del Perú el cual está conformada por tres ciclos: el Precámbrico, Hercínico y Andino los cuales dieron origen a la cuadrícula denominado Pataz.

En el ciclo Precámbrico esta constituye principalmente por el “Complejo del Marañón” el cual está compuesto por rocas volcánicas como las tobas e ignimbritas, en este completo también se puede diferenciar los esquistos, filitas, se puede apreciar la conformación de esta etapa en las orillas del rio Marañón donde hay columnas de esta formación geológica que superan los 190 metros de espesor.

El ciclo Hercínico se dio después del precámbrico ejecutándose sobre el último en el cual se puede decir que está compuesto de turbidíticas donde resalta los colores oscuros de formación geológica Contaya del Ordovícico, esta formación geológica se puede apreciar en el famoso batolito de Pataz, preferentemente al lado norte.

El ciclo andino es el último que se dio para la formación de la cuadrícula de Pataz, en este ciclo se da formación a las rocas calcáreas tanto las calizas y dolomitas del grupo Pucará del triásico – Jurásico estas rocas sedimentarias reposan en la formación del grupo Mitu u otras formaciones anteriores al triásico – Jurásico.

La zona de Santa María es un yacimiento de filones auríferos compuestos principalmente por cuarzo y sulfuros de tipo mesotermal, relacionados a granitoides de igualdad calcoalcalina, peraluminosa y conformada por una serie intrusiva la cual se divide en dos etapas: la primera de diorita – microdiorita y la segunda de granodiorita - monzogranito, el cual está emplazado en el batolito de Pataz de edad Missipiana de una extensión de 200 Km. y de 1 a 3 Km. de ancho.

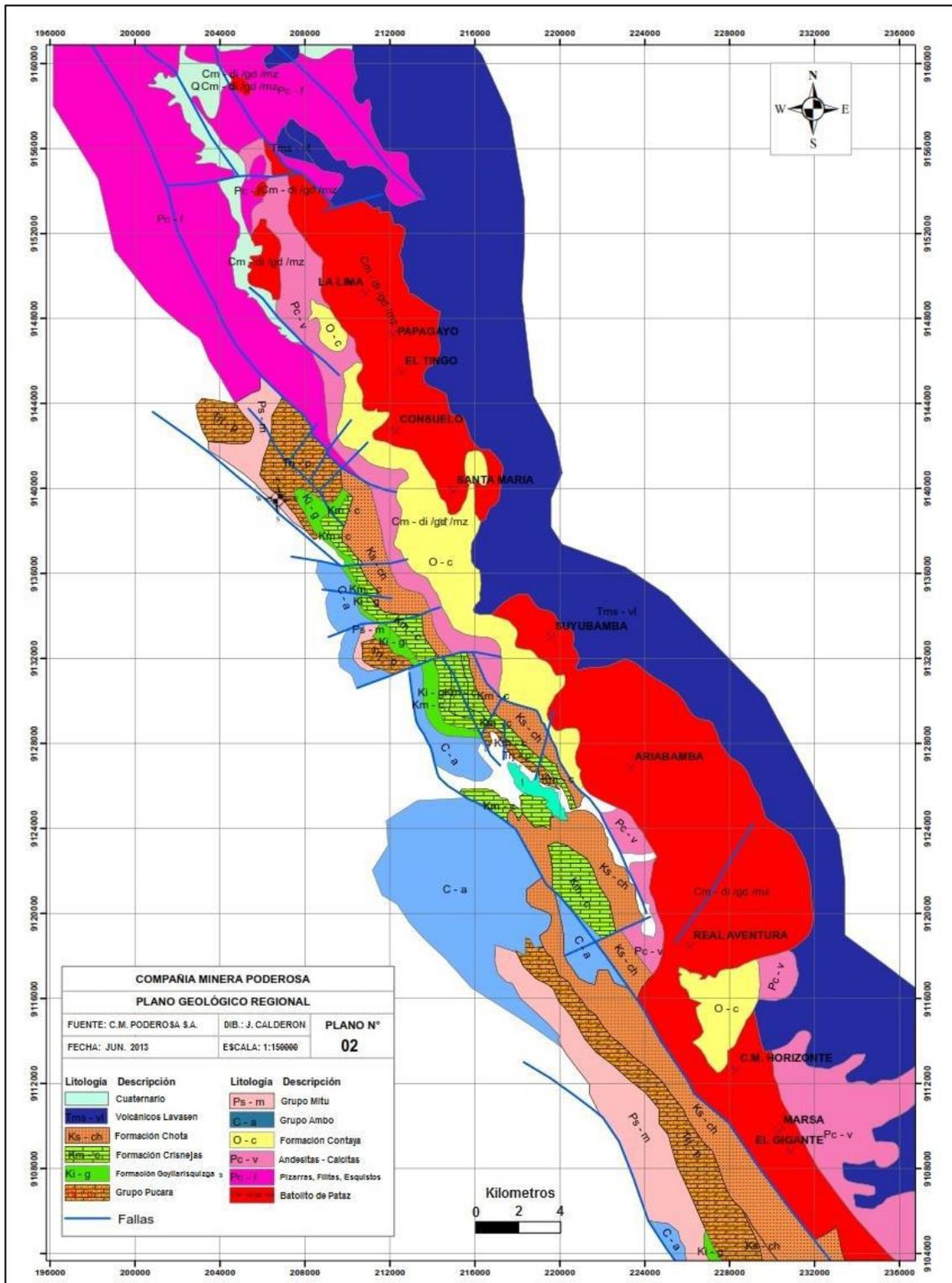


Figura 4. Geología regional del batolito de Patate.
Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

3.1.5. Geología Local

La geología local de la zona sur de minera Poderosa se divide en dos etapas que dieron lugar a las formaciones rocosas que se tiene a la fecha, en una primera etapa se puede decir que se generó por una serie acida dando formación a granodioritas, monzogranitos, diques aplíticos y pegmatíticos, en una segunda etapa se generó o pertenece a una serie intermedia, en la cual se tiene diques lamprófiros los cuales fueron formados tardíamente.

En la geología local donde se desarrolla sus operaciones en zona sur CMPSA, existe los tres tipos de rocas tanto ígneas, metamórficas y sedimentarias: las ígneas o rocas intrusivas entre se tiene dioritas, microdioritas, granodioritas y tonalitas en zona sur específicamente en Santa María la roca diorita, está compuesta principalmente de plagioclasas sódicas y hornblendas están cloritizadas hacia las fracturas de la misma. En el NV 2520 de la zona sur podemos apreciar pizarras del ordoviciano siendo estas últimas rocas metamórficas. En el lugar de estudio también podemos observar rocas sedimentarias las cuales están conformado por depósitos Coluviales, depósitos Aluviales y depósitos Fluviales

Las vetas de Qz-Au del yacimiento Poderosa, su localización y estilos de mineralización están íntimamente ligadas a un campo de esfuerzos regionales, a la reología de la roca hospedante, y la presencia de discontinuidades o planos de anisotropía como fallas, fracturas, contactos litológicos, diques y estratificaciones. Como resultado las zonas mineralizadas muestran geometrías muy diferentes, desde patrones regulares y orientaciones en rocas homogéneas y competentes como la mayoría de las rocas del batolito de Pataz.

Los valores de Au son variables, con promedios entre los 10 gr Au/t y 25 gr Au/t, y valores menos comunes que sobrepasan los 100 gr Au/t.

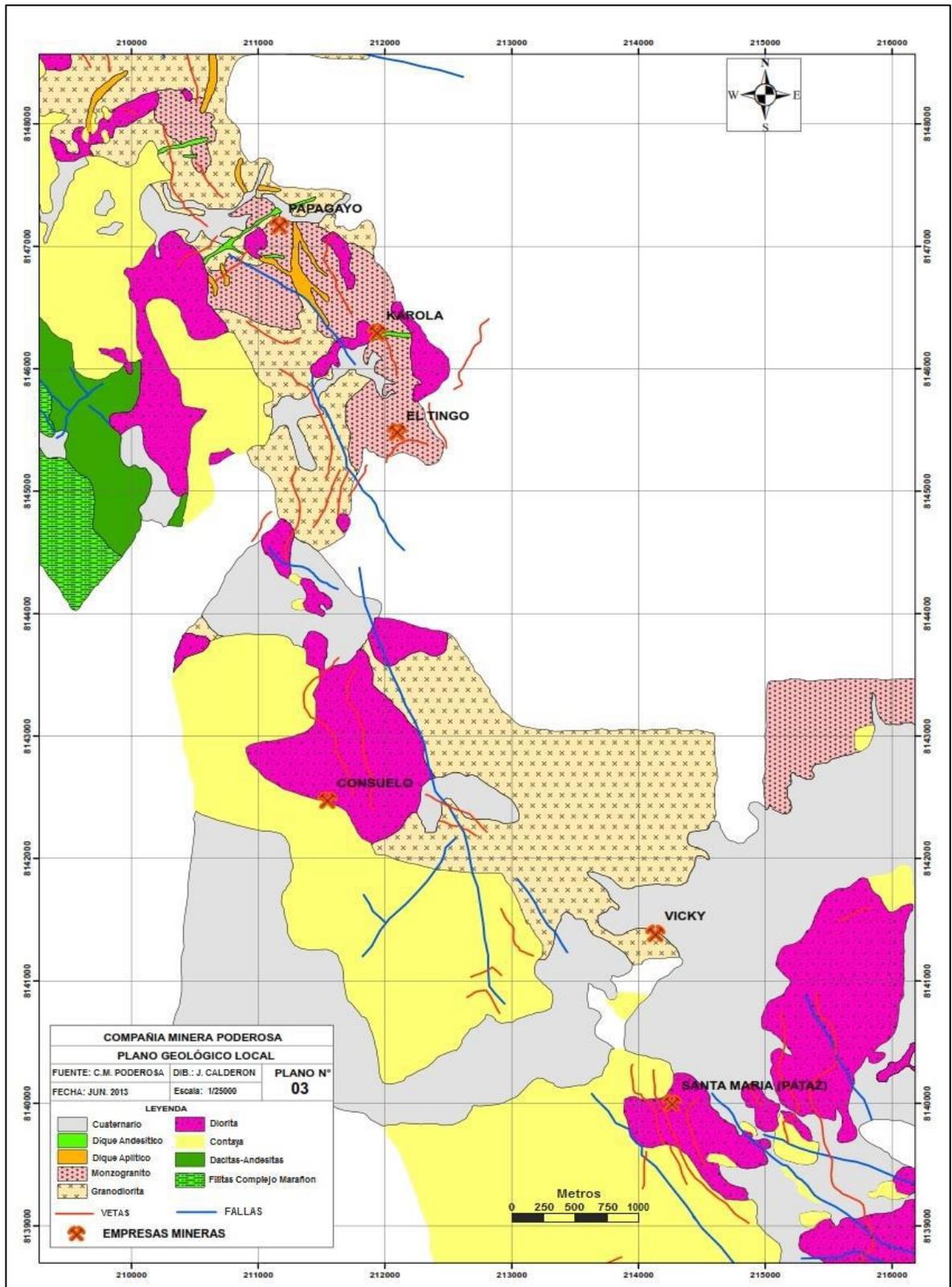


Figura 6. Geología local de la zona de estudio.
Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

3.1.6. Estratigrafía

La estratigrafía de la zona, están conformado a 3 ciclos orogénicos:

- orogénico Pre-cambrico.
- orogénico Hercínico (Paleozoico superior)
- orogénico Andino (del Triasico hasta fines del Terciario).

En el Precámbrico está compuesto por la estratigrafía del “Complejo de Marañón” al el cual está compuesto por rocas volcánicas entre ellas tenemos las tobas e ignimbritas

El Hercínico está compuesto con una secuencia de turbiditicas de colores oscuros, perteneciente a la formación geológica Contaya del Ordovícico,

Por último, ciclo Andino en el cual está presente las rocas calcarías entre ellas tenemos las calizas y dolomitas que varían en una potencia de 500 m. especialmente del grupo geológico Pucara del triásico - jurásico.

.

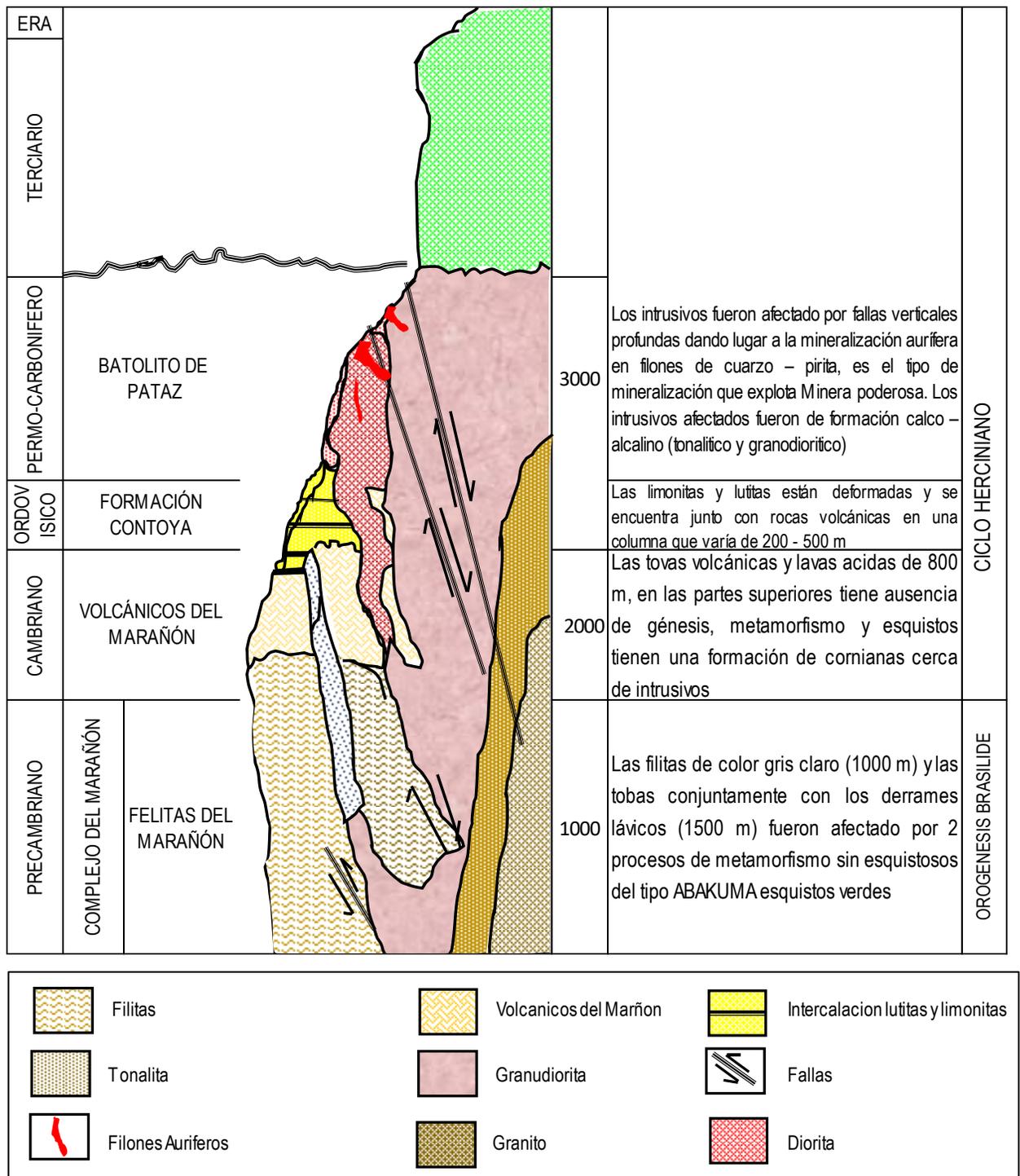


Figura 7. Columna estratigráfica de la cuadrícula de Pataz.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.1.7. Petrografía

- **Rocas Intrusivas**

Conformadas por dioritas, microdioritas, granodioritas y tonalitas. En la Zona de Santa María. La diorita, está compuesta principalmente de plagioclasas sódicas y hornblendas están principalmente cloritizadas hacia las fracturas de la misma.

- **Rocas metamórficas**

Conformadas por pizarras del ordoviciano ocurren en la Zona de Santa María (Mina Santa María, Nv. 2520) y en Suyubamba, se observa camino del pueblo Alacoto hacia Pias.

- **Depósitos Coluviales**

Depósitos formados principalmente por acción de la gravedad, cuya característica principal es de bloques angulosos y pobremente clasificados.

El distrito de Pataz está cubierto por depósitos coluviales, el comportamiento del suelo es inestable debido al tipo de suelo arcilloso que se forma y a la mixtura de la misma. De la misma manera el anexo de Suyubamba también es fácilmente identificable este tipo de depósitos.

- **Depósitos Aluviales**

Material cuaternario que ha sido transportado y tiene como característica principal en campo es de bloques subangulosos.

- **Depósitos Fluviales**

Material transportado por la presencia de afluentes de ríos como el Hualanga, francés, y afluentes menores como en la quebrada Santa María y en Suyubamba (rio Atiracra).

3.1.8. Geología estructural

- **Geología estructural regional**

Los macizos rocosos que conforman la zona de Pataz, se determina que ha sufrido 2 fases de deformación por esfuerzos, producto de ello se tiene grades anticlinales y sinclinales que se puede diferenciar en las laderas

agrestes de la cuadrícula de Pataz. En la primera fase se desarrolló esfuerzos de comprensión los cuales dieron origen al plegamiento. En la segunda fase los plegamientos que se formó producto de esfuerzos de compresión fueron perjudicados por fallas (normales he inversas) que generaron grandes alejamientos verticales, en esta segunda fase se puede decir que producto de las fallas que se dieron en ese entonces se deforma la fosa tectónica del Marañón.

- **Geología estructural local**

La geología estructural de donde desarrolla sus actividades Poderosa tiene un sistema de fracturamiento de dos familias una con tendencia N-S y otra de E-O. Estas dos familias de fallas que mejor se han desarrollado tienen las siguientes orientaciones: NW-SE, SW-NE. La inclinación son subverticales mayor 45°. La formación del fallamiento se realizó antes que se genere la mineralización, las cuales reaccionan a la mineralización Las vetas de Mina Santa María (veta Santa Maria, Virginia, Julie, Guadalupe) y Mina Atahualpa tienen un rumbo NW- SE.

3.1.9. Mineralogía de la mena

La variación de la composición mineralógica de la cantidad de minerales y alteración depende si la roca ha sido ígnea, metamórfica o sedimentaria, la cantidad de magma que haya transitado por las fallas y fracturas y a las reactivaciones de la veta.

Para que se realice la mineralización se dio 3 fases, en la primera fase se compuso cuarzo blanco, pirita, arsenopirita, en la segunda fase el cuarzo se fracturo generando un cuarzo gris-azulado, galena, esfalerita y calcopirita y por último en la tercera fase se mineralizo con mena el cuarzo blanco y también cuarzo gris-azulado.

3.2. Geología de la veta Julie

Julie es una veta de orientación NNW-SSE con Buzamiento promedio de 35° a 60°, típica veta formada por falla con arrastre estructuralmente está controlada por fallas longitudinales reactivadas que determinan la geometría de la veta y sistemas de fallas secundarias que desplazan a la veta en forma transversal.

Litológicamente está emplazada en una roca diorita la cual brinda el factor físico químico principal para la precipitación del oro. Mineralógicamente comprende Qzo blanco, sílice gris, pirita fina deleznable, galena y esfalerita en zonas de bonanza. La roca encajonante presenta alteración cuarzo sericita, filica y propilitica conforme se aleja de la silisificación

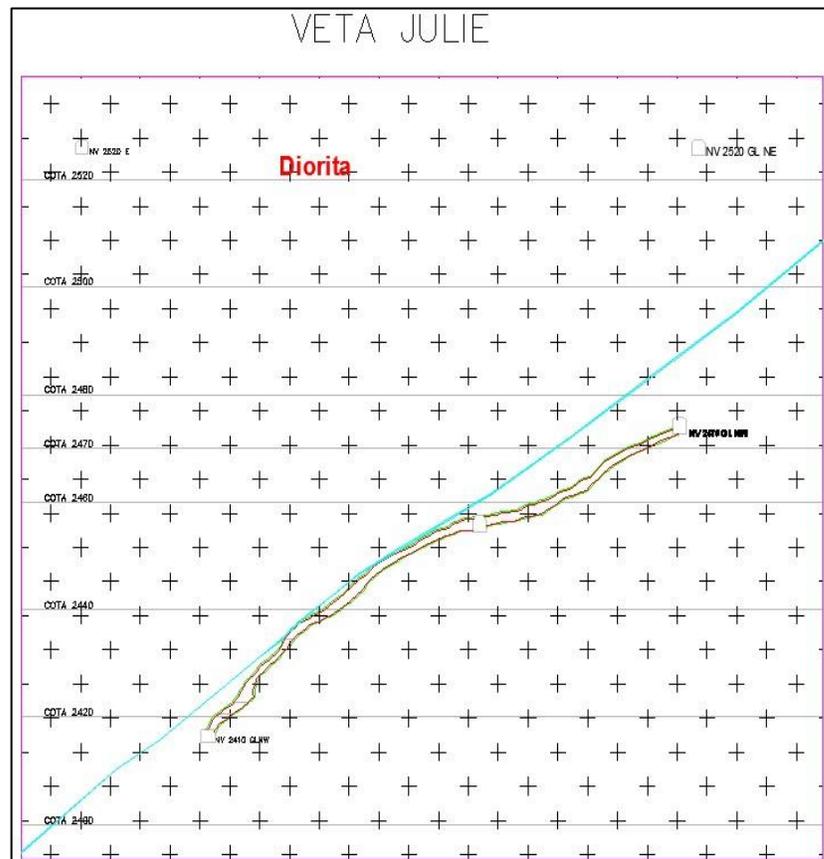


Figura 8. Plano Geológico - litológico de la veta Julie.

Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

3.3. Interpretación de los esfuerzos en la unidad Santa María

3.3.1. Interpretación del comportamiento de la geología estructural de la zona

En la zona sur (Santa María) de Poderosa predomina dos sistemas de fallamientos principal y un secundario a partir de ello se tiene más fallamientos de poca importancia. El primer sistema tiene una orientación NE-SW con una inclinación (buzamiento) y dirección de inclinación (dirección de buzamiento) $70^{\circ}/162^{\circ}$, el segundo sistema de fallamiento tiene una orientación SW-NE con buzamiento y dirección de buzamiento de $79^{\circ}/121^{\circ}$, el secundario NNW-SSE $64^{\circ}/065^{\circ}$. En la figura 9 y 10 se muestran las direcciones y orientaciones del sistema de fallas principales y secundarias.

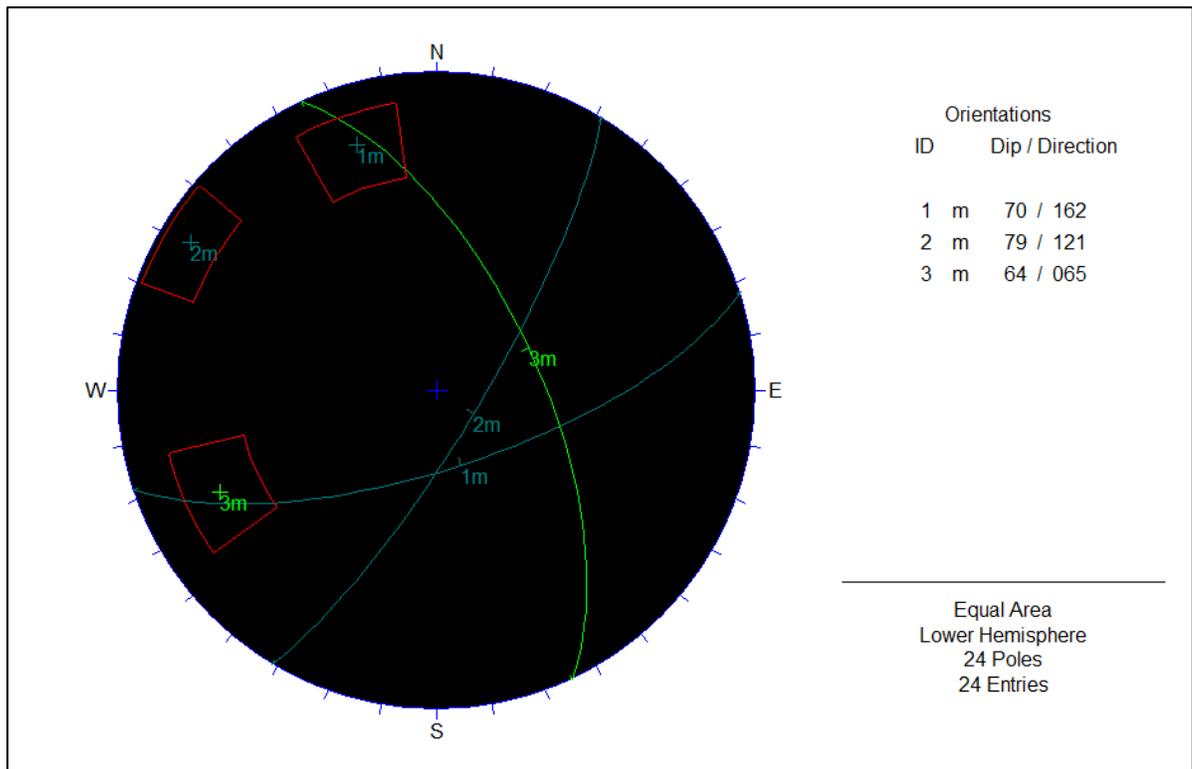


Figura 9. Orientación de fallamiento principal y secundario.

Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

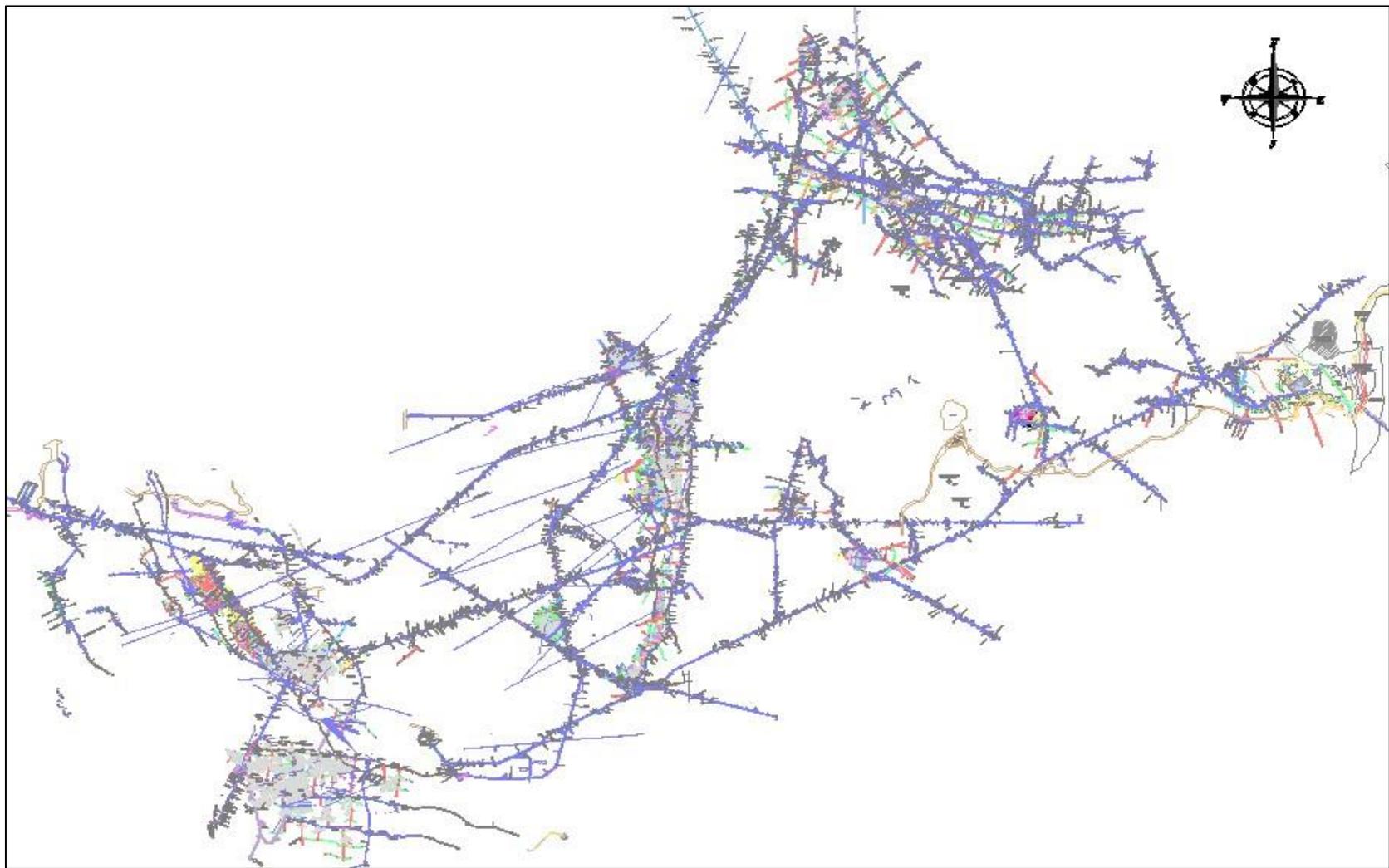


Figura 10. Plano estructural de Zona Santa María muestra el sistema de fallamiento NNE-SSW, NNW- SSE.
Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

3.3.2. Dedución de la dirección de los esfuerzos principales y secundario (σ_1 , σ_2 , σ_3)

Al realizarse la investigación de las estructuras de los esfuerzos del Cuerpo de Brenda se determinan, los valores que se generan por esfuerzos que actúan contrariamente (tensión) esto se determinó gracias al método de diedros Rectos y/o fallas. Se detalla en la figura 11.

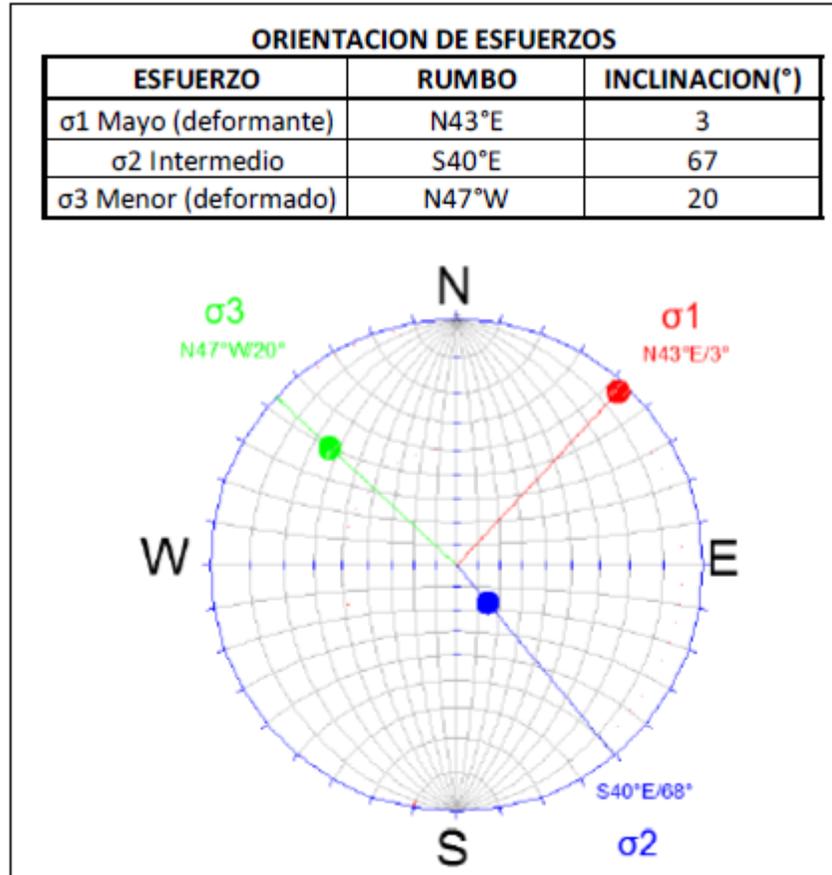


Figura 11. Dirección de los esfuerzos principales de la zona Santa María.
Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

En CMPSA en la zona Sur (Santa María) la dirección de los esfuerzos principales (mayor σ_1) es de forma tangencial con una dirección SW-NE formando un ángulo de 3°. La zona de deformación tiene un ángulo de 20° y una dirección al NW-SE (σ_3), los esfuerzos son de origen tectónico si se considera esfuerzos insitu.

Las direcciones de los esfuerzos pueden modificarse conforme se van realizando mayor cantidad de excavaciones mineras, al tener mayores áreas abiertas se genera o forman mayor cantidad de esfuerzos inducidos los cuales por lógica serán mayor que el esfuerzo insitu.

3.3.3. Orientación de las labores con relación a la dirección de los esfuerzos principales y secundarios

Las vetas que conforma la unidad productora Santa María de minera poderosa tienen un rumbo de N65°W, si lo unimos los esfuerzos principales con la proyección de las labores, se puede observar que se cortan diagonalmente generando una menor presión en los hastiales de las labores que van desarrollándose en veta para la exploración, al cortar diagonalmente los esfuerzos a las labores se genera mayor estabilidad generando mínimos crujiidos en la corona de la labor cuando se realice labores de profundización.

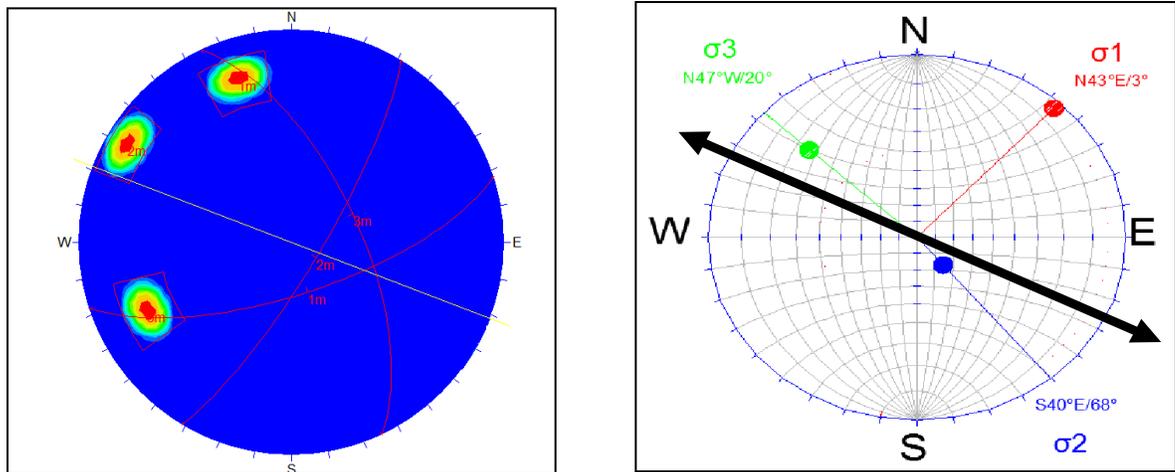


Figura 12. Orientación de los esfuerzos con respecto a la formación de vetas santa maría.

Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

3.3.4. Evaluación de la dimensión de los esfuerzos en profundidad

La resistencia de la roca encajonante de la veta corresponde a un R5, considerando que se tenga una roca intacta la resistencia será de 150 MPa para la roca diorita la cual es la encajonante en la veta julie y para la mineralización que está compuesta por cuarzo blanco, galena y pirita, es de 50 - 100 MPa, al comparar la presión que resiste la roca en una excavación artificial de profundidad que va 250 a 300 metros es de 8.10 a 9.72 MPa promedio teniendo en cuenta que mayor profundidad aumenta la presión y temperatura. Existe una de relación en profundidad de los esfuerzos verticales con los horizontales que es $K = 1.2$. A continuación se detalla la estimación de los esfuerzos, Ver tabla N° 7 (Shorey, 1994)

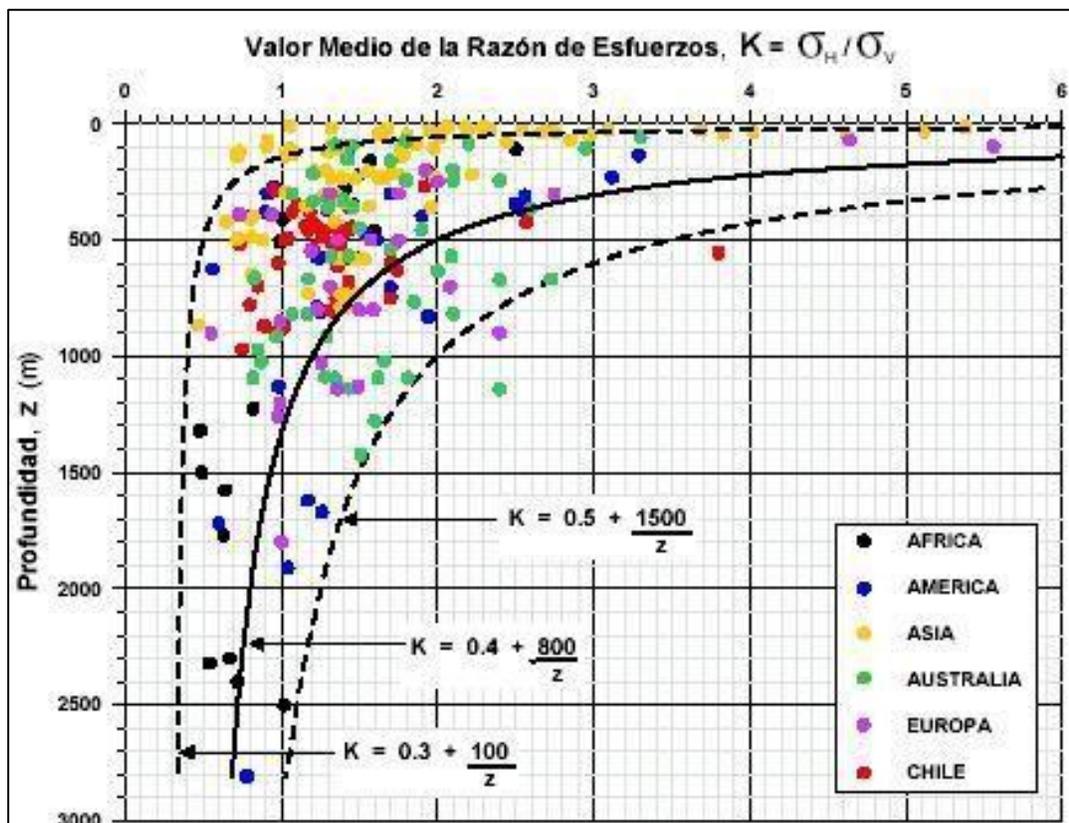


Figura 13. Estimación de los esfuerzos en profundidad (k).
Fuente: Shorey, 1994.

Tabla 8
Estimación de esfuerzos en Veta Julie (Z <= 300m).

DETERMINACION DE ESFUERZOS POR PROFUNDIZACIÓN						
Z	sv Mpa	K	sh Mpa	s1 Mpa	s2 Mpa	s3 Mpa
50	1.35	1.20	1.62	1.62	1.35	1.35
100	2.70	1.20	3.24	3.24	2.7	2.7
150	4.05	1.20	4.86	4.86	4.05	4.05
200	5.40	1.20	6.48	6.48	5.4	5.4
250	6.75	1.20	8.10	8.10	6.75	6.75
300	8.10	1.20	9.72	9.72	8.1	8.1
350	9.45	1.20	11.34	11.34	9.45	9.45
400	10.80	1.20	12.96	12.96	10.8	10.8
450	12.15	1.20	14.58	14.58	12.15	12.15
500	13.50	1.20	16.20	16.20	13.5	13.5
550	14.85	1.20	17.82	17.82	14.85	14.85
600	16.20	1.20	19.44	19.44	16.2	16.2
650	17.55	1.20	21.06	21.06	17.55	17.55
700	18.90	1.20	22.68	22.68	18.9	18.9

3.4. Evaluación Geomecánica

De acuerdo a los estudios geomecánicos de la veta julie NV 2360 se encuentran dentro de los parámetros de Roca Tipo IIIB: En el macizo rocoso encajonante que está compuesta en su mayoría de roca diorita hacia la franja mineralizada tiene un tipo de roca IIIB. De acuerdo la clasificación geomecánica RMR es de 42 a 50, a la clasificación de Barton define que es un Q de 0.80 a 1.95 y por ultimo de acuerdo a la evaluación geomecánica GSI corresponde a MF/R (muy fracturada regular)

La franja de mineral de acuerdo a la clasificación geomecánica de Bienawski muestra un RMR de 45 – 50, y de acuerdo a la clasificación de Barton tiene un Q de 0.90 a 0.71 y un índice de resistencia geológica GSI de F/R-P (fracturada regular- pobre). En la figura 15 muestra la zonificación geomecánica.

Se realizó la zonificación geomecánica de la veta Julie del nivel 2360 al 2520 en base al mapeo geomecánico de accesos e información estructural.



Figura 14. Mapeo geomecánico Tj 5740 – Veta Julie.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

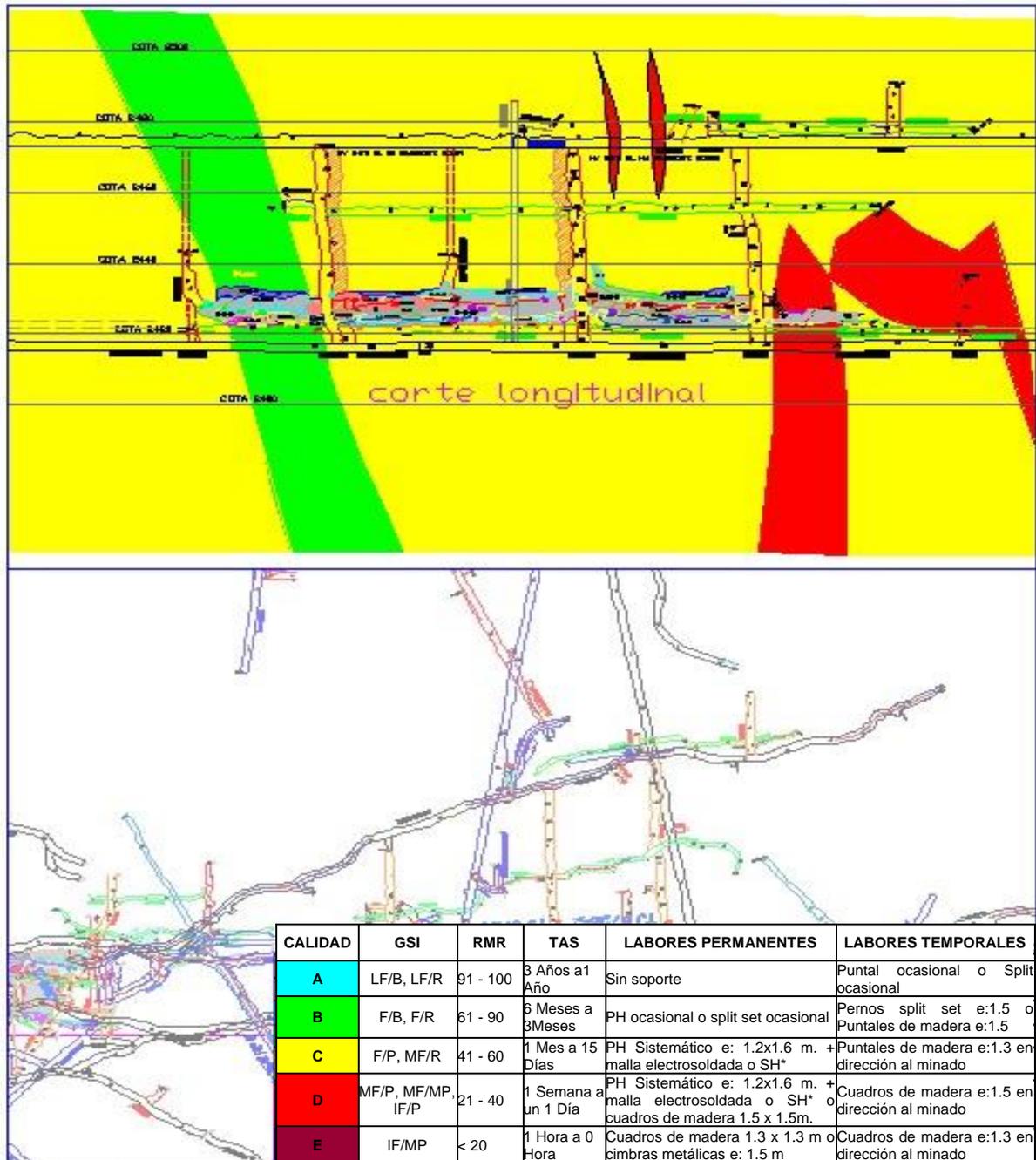


Figura 15. Clasificación del macizo rocoso en sección longitudinal – Veta Julie.
Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

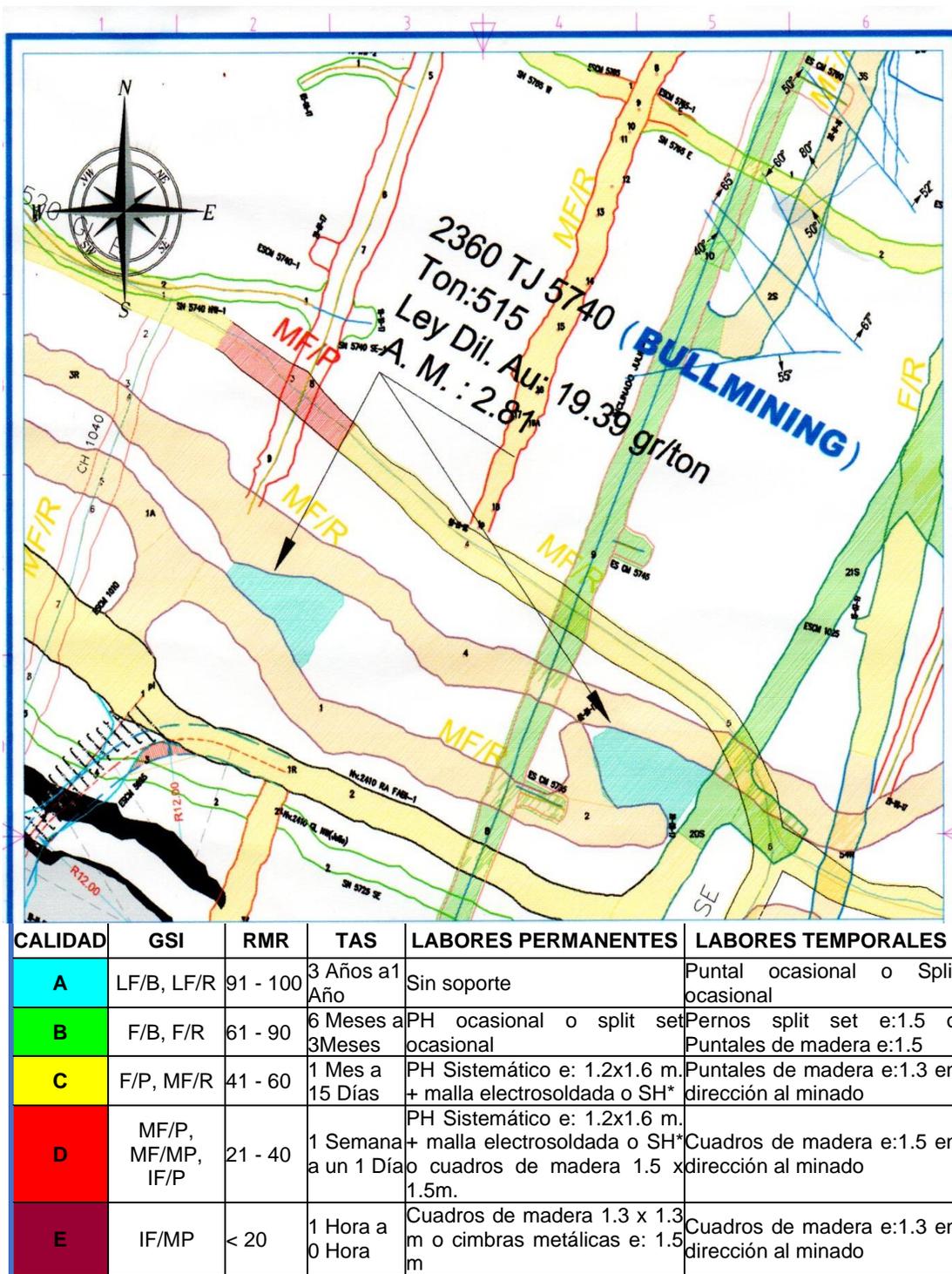


Figura 16. Plano Geomecánico Estructural – Veta Julie.
Fuente: Compañía minera Poderosa, 2019.

3.5. Selección del método de explotación a ser utilizado en la veta Julie NV

2360 Minera Poderosa

Al establecer el método de explotación a ser utilizado se tienen en cuenta principalmente las características: de la roca encajonante (geomecánica), forma (geometría) y la geología del yacimiento al ser explotado, a partir de estas tres características principales se determina que método de explotación se puede aplicar donde sea más rentable la recuperación del mineral, además garantizar la estabilidad del macizo rocoso. Para poder determinar que método de explotación se puede utilizar en la veta Julie NV 2360 de minera poderosa donde pueda ser más rentable y generar una estabilidad de las labores durante y después de la explotación, se utilizara el método cuantitativo de “Nicholas 1981” y el método UCB Mining Method este último método se basa en un algoritmo desarrollado por Miller, Pakalnis, Paulin (1995).

De acuerdo a “Nicholas 1981” y UCB, lo primero que debe realizarse es determinar el tipo geometría de la veta a explotarse para posteriormente definir el tipo roca encajonante (geomecánica) tiene la veta, en este último se caracterizan el mineral pared colgante y yacente.

– Geometría de la veta Julie NV 2360:

La veta Julie pertenece al dominio estructural de rumbo N50°W. El yacimiento es de forma tabular.

– Potencia de la veta Julie NV 2360:

La veta Julie en el NV 2360, de acuerdo a las exploraciones de reconocimiento que se han realizado para determinar la cantidad y calidad del mineral con labores de exploración que son galerías (GL) y chimeneas (CH) estas determinan que el ancho de la veta Julie en el NV 2360 va desde 0.10 m a 2,5 m, para determinar la potencia se considera veta de potencia reducida.

- **Inclinación de la veta Julie NV 2360:**
La veta Julie en el NV 2360 tiene un buz menor a 55° al NW y buz mayor a 55° al SE. De acuerdo a estos buzamientos que tiene la veta Julie en el NV 2360 se define que es de inclinación baja a intermedia.

- **Comportamiento de leyes en la veta Julie NV 2360.**
De acuerdo a las exploraciones realizadas y análisis de laboratorio de las muestras las leyes en la veta Julie del NV 2360 cambian en mínima cantidad en el espacio, por tal motivo se determina que es una distribución gradacional

- **Características Geomecánicas de la veta Julie NV 2360:**

Tabla 9
Características geomecánicas de la veta Julie NV 2360.

CARACTERÍSTICAS GEO MECÁNICAS DEL YACIMIENTO	MINERAL	- Resistencia Roca intacta	90 Mpa Fracturado media	competencia intermedia 10-20 f/m Presenta relleno suave
	CAJA TECHO	- Resistencia Roca intacta	130 Mpa Fracturado media	competencia intermedia 3 - 10 f/m Presenta relleno suave
	CAJA PISO	- Resistencia Roca intacta	120 Mpa Fracturado media	competencia intermedia 3 - 10 f/m Presenta relleno suave

Tabla 10*Factores de peso.***Factores de peso**

Geometría de la veta	1
Aspectos geomecánicas mineral	0.75
Aspectos geomecánicas pared colgante	0.6
Aspectos geomecánicas pared yacente	0.38

Ref. Nicholas (1981)

Tabla 11*Valores obtenidos para los diferentes métodos.*

Método	Yacimiento	Mineral	Colgante	Yacente	Total
Cut and Fill Stopping	14	6	4.8	3.8	28.6
Square Set	12	6	4.8	3.8	26.6
Longwall mining	10	6	4.8	3.04	23.84
Room and Pillar	12	4.5	3.6	2.28	22.38
Shrinkage Stopping	6	4.5	4.8	3.04	18.34
Sublevel Stopping	7	3.75	3	1.14	14.89
Block Caving	-43	6	4.8	3.42	-28.78
Sublevel Caving	-42	5.25	4.8	1.9	-30.05
Top Slicing	-43	4.5	4.2	3.04	-31.26

De acuerdo a la metodología de Nicholas, se determina 03 alternativas de explotación, Cut and Fill Stopping (28.6), Square Set (26.6) o Long Wall Mining (23.84) o también es posible la fusión de 2 ó 3 metodologías de explotación según evaluación económica por rentabilidad.

Para la Veta Julie en el NV 2360 se determina explotar mediante el método Cut And Fill Stopping, en este caso será mecanizado y convencional.

3.6. Modelamiento numérico para el nuevo método de corte y relleno

3.6.1. Simulación del Tajo 5740 con el método de explotación corte y relleno

GSI: F/P, RMR (35), factores influyentes de Espejos de falla paralelos al buz. de veta, Agua por goteo, condición de discontinuidades baja con rellenos suaves mojados, formación de falsas cajas potentes, TAS (1día a 7 días).

Para el análisis de estabilidad de la veta Julie en el nivel 2360 (TJ 5740), con el nuevo método de corte y relleno, se realiza la simulación con el software Phases2, el cual utiliza elementos finitos para realizar la simulación. Se muestra en la Figura 17. Se realizará el modelamiento geomecánico y análisis de estabilidad en el secuenciamiento de explotación considerando las aberturas máximas de 2.8 metros como alto de minado.

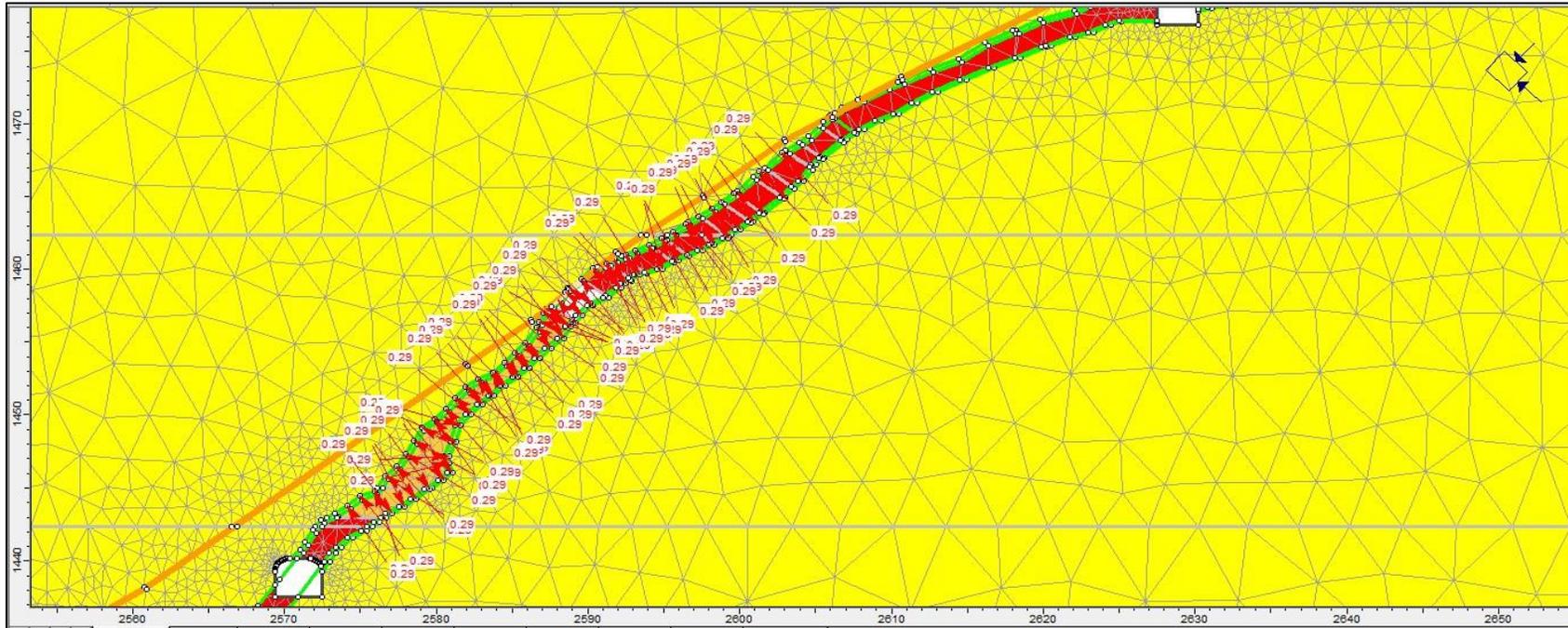


Figura 17: Disposición de veta Julie NV 2360 (TJ 5740).

Fuente: Elaboración propia, 2019.

a. Dimensionamiento de puentes con respecto a la galería base

Mediante el dimensionamiento de puentes con respecto a la galería base, se determina puentes de ancho mínimo 4.5 metros en el plano de buzamiento con el que se obtienen factores de seguridad mayores a 1.57, demostrando estabilidad (ver Figura 18).

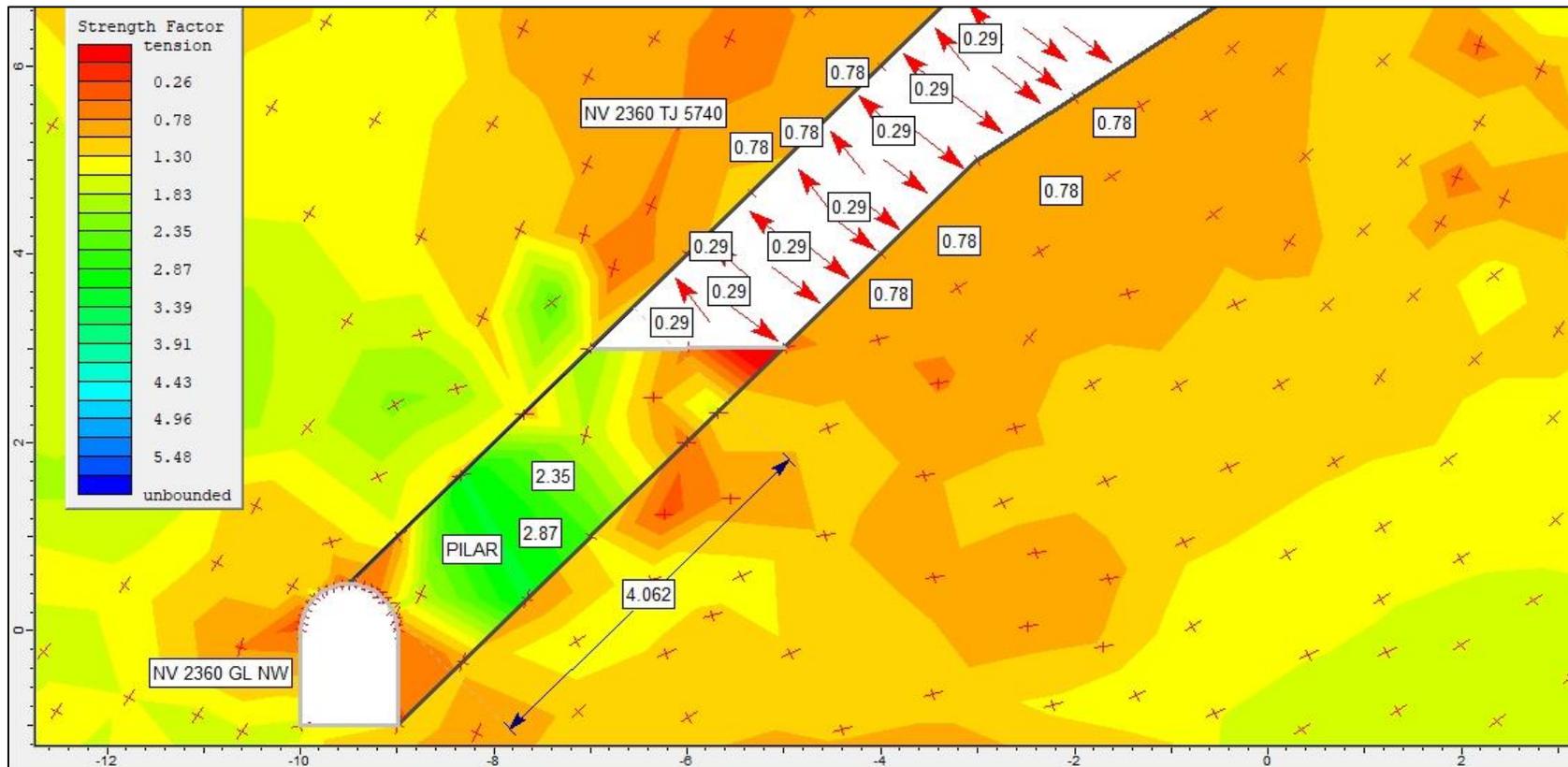


Figura 18: Dimensionamiento de puentes y/o pilares.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

b. Análisis de estabilidad durante la explotación

De acuerdo a parámetros geológicos y geomecánicos de la veta se determina altos máximos de minado (espacios abiertos) equivalentes a 2.8 metros para la altura de perforación, sostenimiento con puntales sistemáticos espaciados a 1.3m para anchos de minado menores a 3.0m, cuando el minado

sea mayor a 3 metros se utilizará cuadros de madera a una distancia de 1.5 m de eje a eje. Se puede apreciar $FS > 2.5$ lo que indica estabilidad (ver Figura 19).

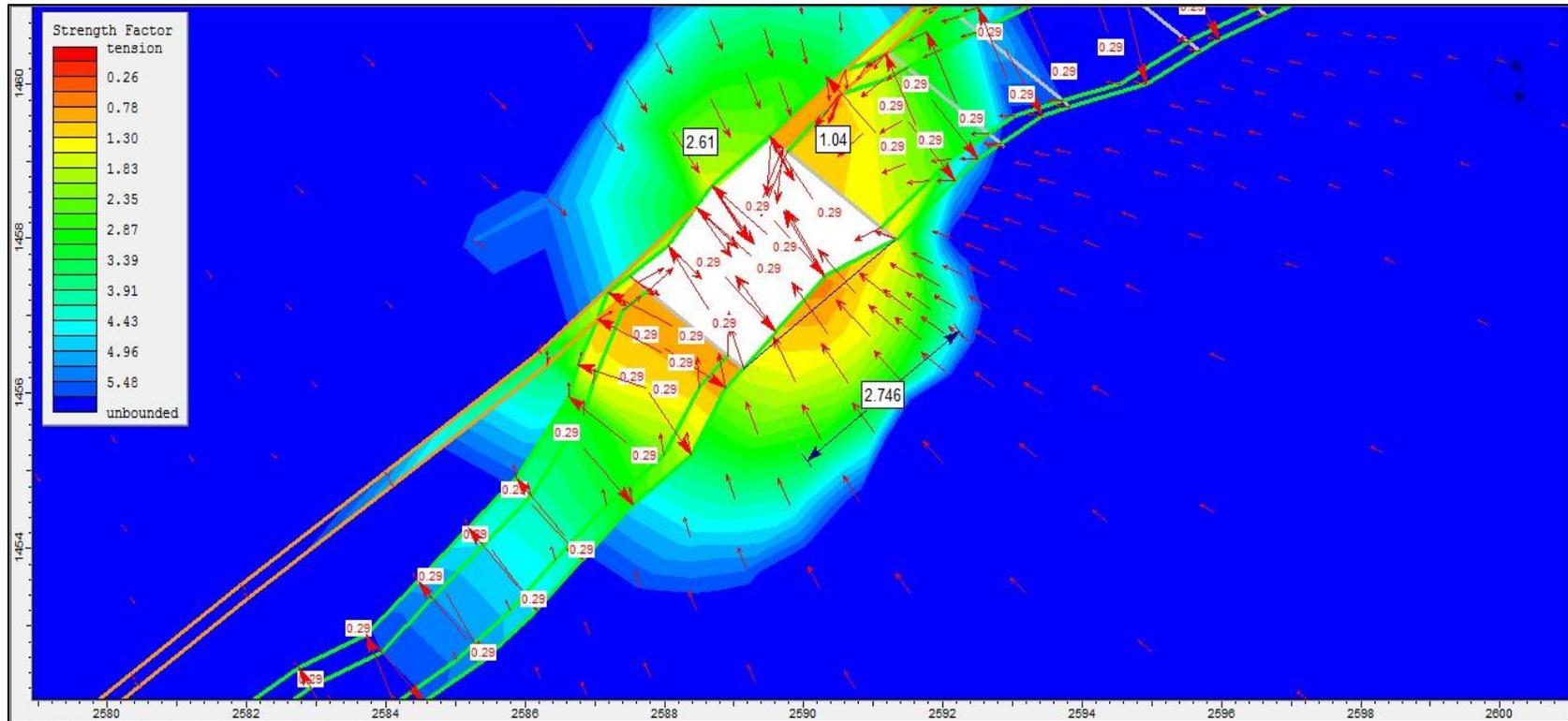


Figura 19: Dimensionamiento de aberturas máximas de minado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A los 2.8 metros de abertura se procede a realizar el relleno detrítico hasta reducir la abertura a 1.0m antes de realizar la voladura del siguiente corte. Se evidencian incrementos en los F.S a 3.39 evidenciando estabilidad (ver Figura 20).

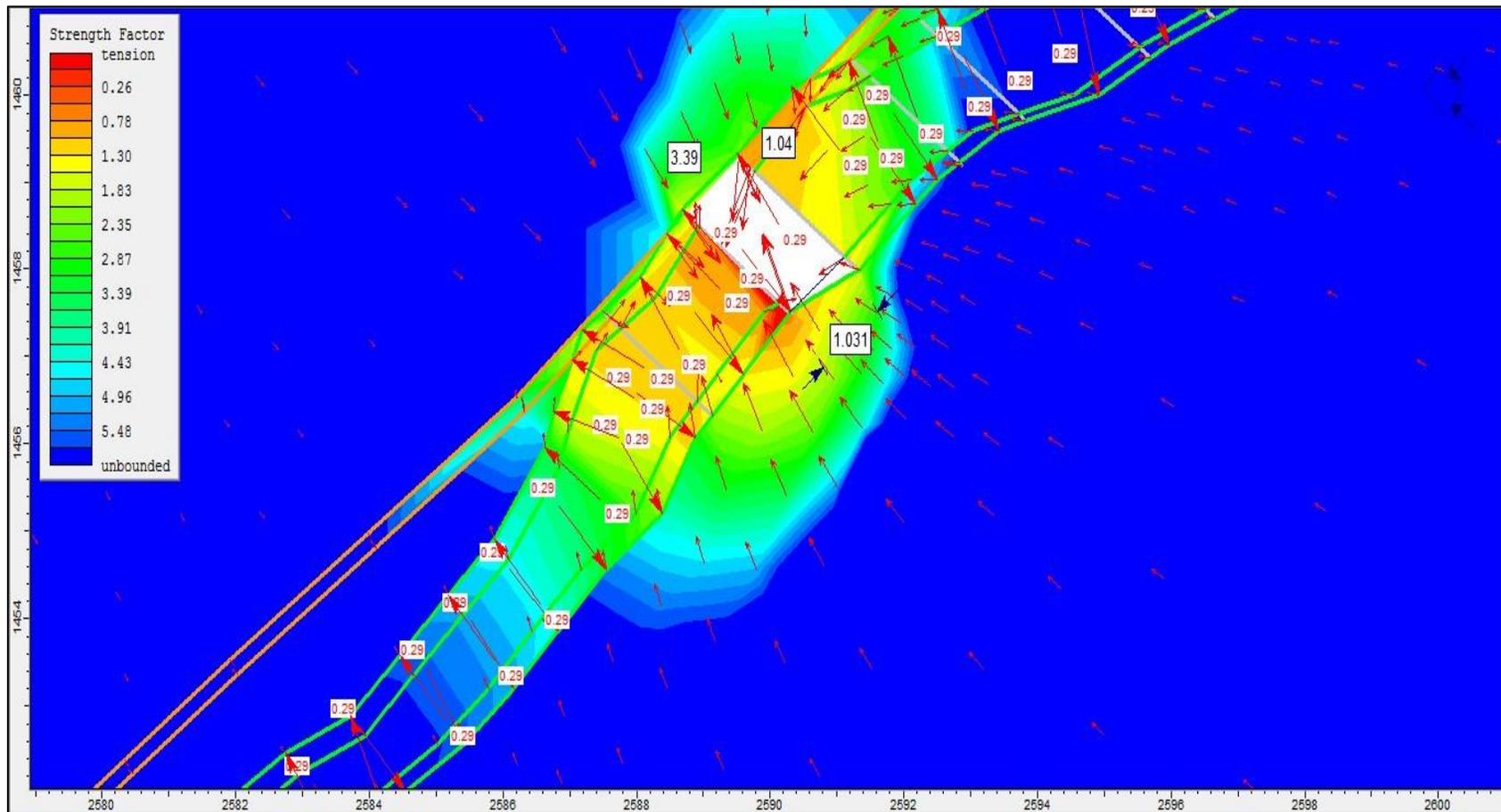


Figura 20: Ciclo de relleno del tajo y control de espacios abiertos.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.6.2. Simulación del Tajo 5740-1 con el nuevo método de explotación corte y relleno

GSI: F/R, RMR (55-60), factores influyentes sistemas de fracturamiento paralelos al buz. De veta, condición de discontinuidades media.

Para el análisis de estabilidad de la veta Julie en el nivel 2360 TJ 5740 utilizamos el Software Phases2, con el cual podemos realizar una simulación para determinar la estabilidad del tajo cuando se está explotando. Se muestra en la Figura 21. Se realizará el modelamiento geomecánico y análisis de estabilidad en el secuenciamiento de explotación considerando las aberturas máximas de 4.5 metros como alto de minado.

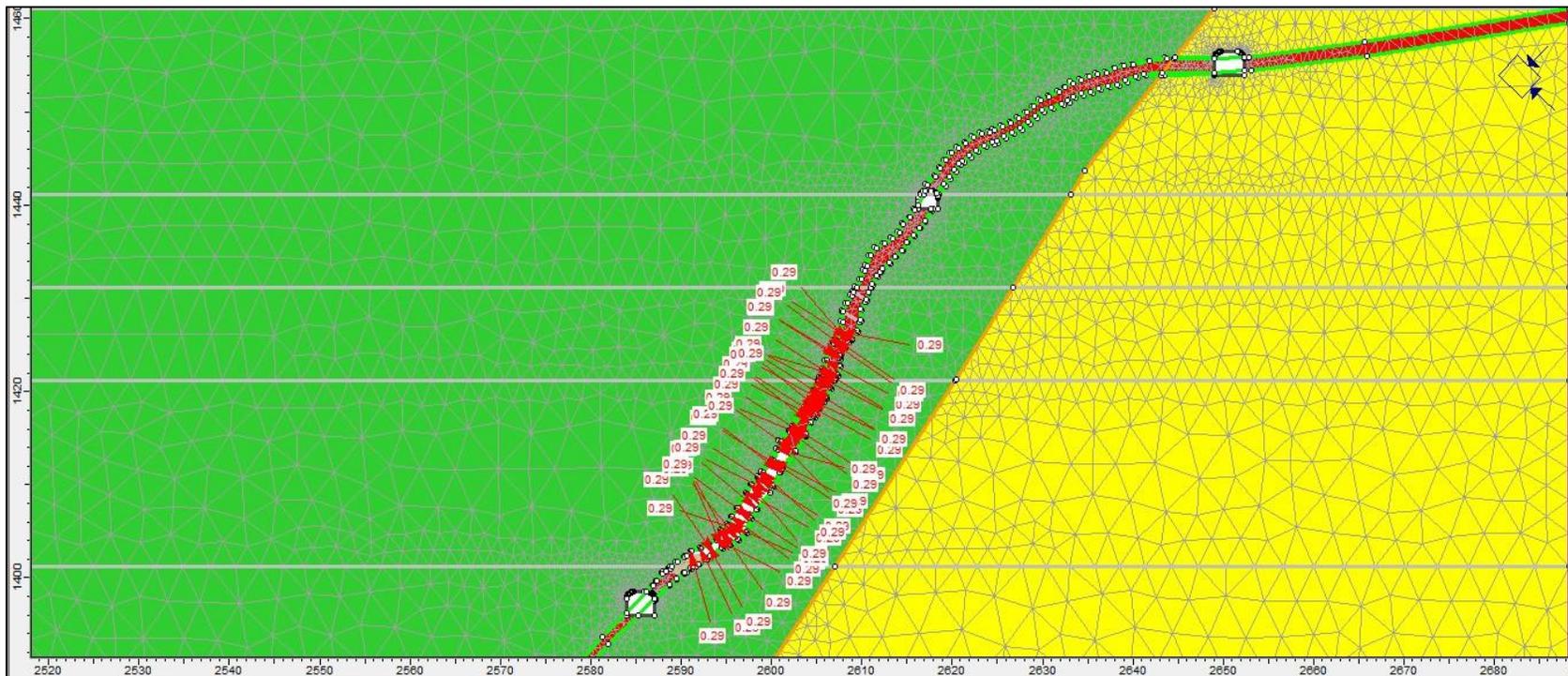


Figura 21: Disposición de veta Julie NV 2360 (TJ 5740-1).

Fuente: Elaboración propia, 2019.

a. Dimensionamiento de puentes con respecto a la galería base

Se determina puentes de ancho mínimo 4.5 metros en el plano de buzamiento con el que se obtienen factores de seguridad mayores a 2.0, demostrando estabilidad (ver Figura 22).

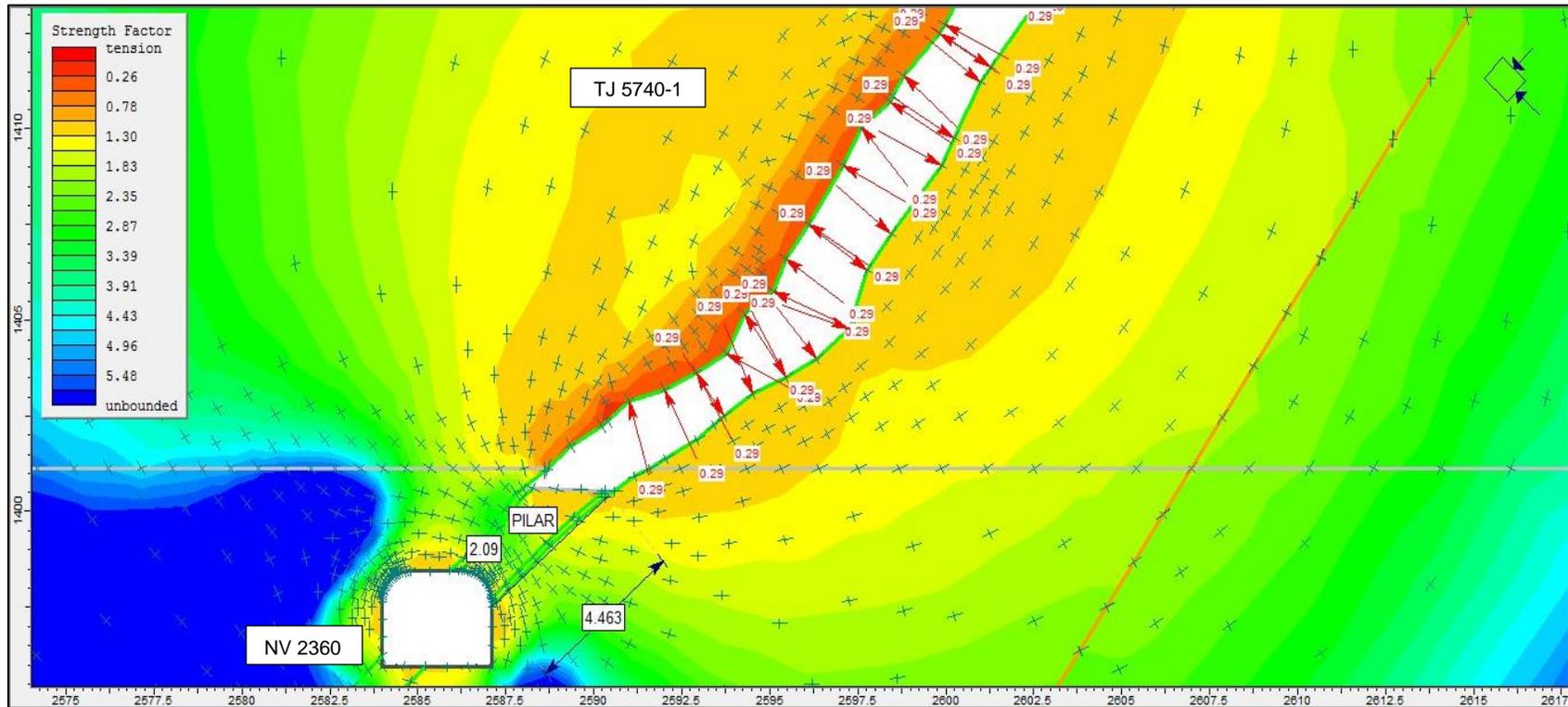


Figura 22: Dimensionamiento de puentes y/o pilares.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

b. Análisis de estabilidad durante la explotación

En la figura se representa la explotación del tajo el cual se encuentra sostenido con Puntales, pero no cuenta con relleno, podemos apreciar la concentración de esfuerzos inducidos por espacios abiertos en

la corona de labor con FS < 1.0 (0.52 a 0.76) lo que indica riesgo de colapsamiento y/o desprendimientos de rocas según tiempo de exposición del mismo (ver Figura 23).

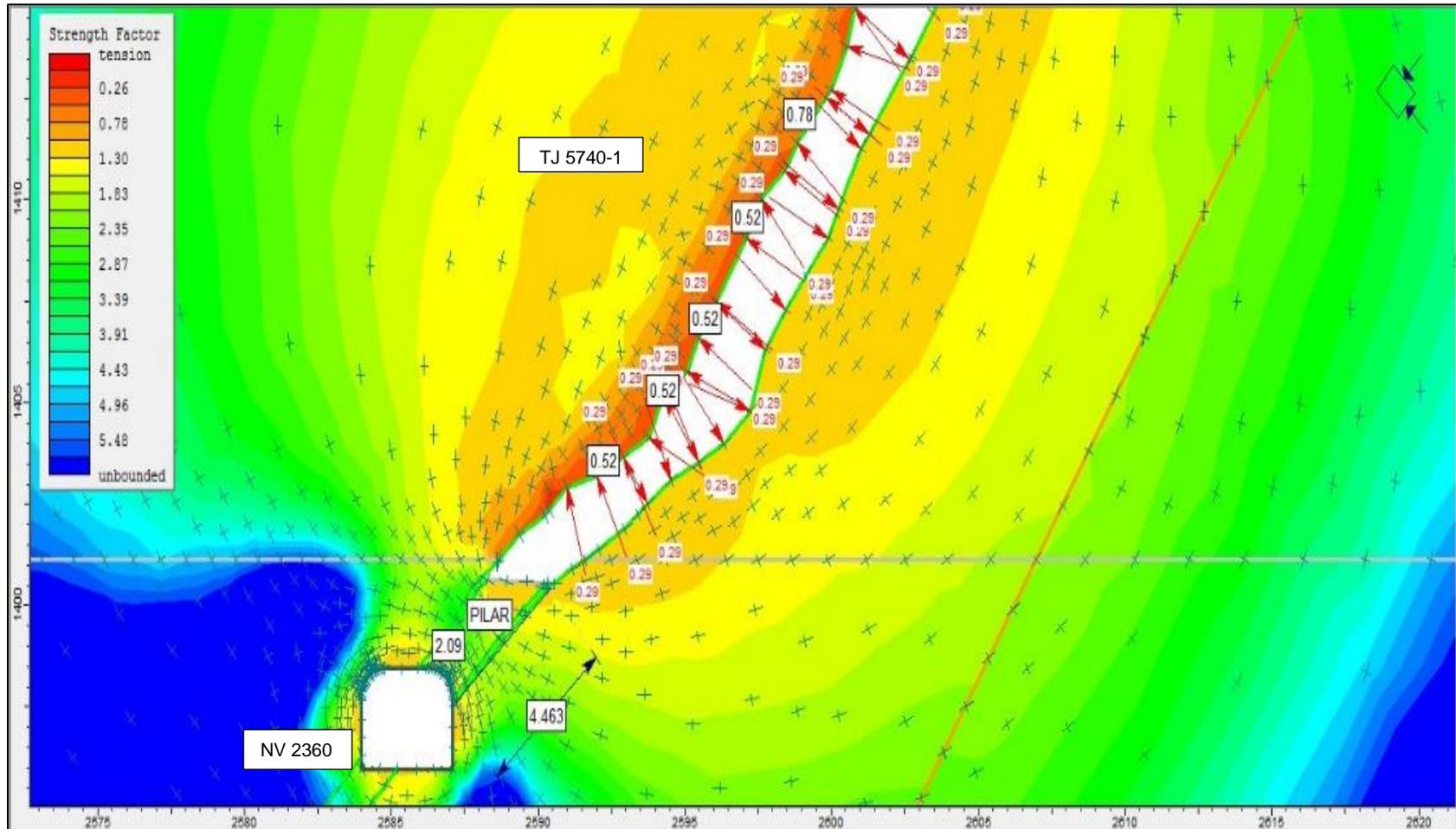


Figura 23: Análisis de estabilidad en un tajo sin relleno.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

De acuerdo a parámetros geológicos y geomecánicos locales en la veta Julie (TJ 5740-1) se determina altos máximos de minado (espacios abiertos) equivalentes a 4.5 metros para mantener estabilidad mediante equilibrio de esfuerzos inducidos, sostenimiento con puntales sistemáticos espaciados a 1.3 m para anchos de minado menores a 3.0 m y se utilizara cuadros cónicos de madera espaciados a 1.5 m de eje a eje para anchos de minado mayores a 3 metros. Se puede apreciar $FS > 1.57$ lo que indica estabilidad (ver Figura 24).

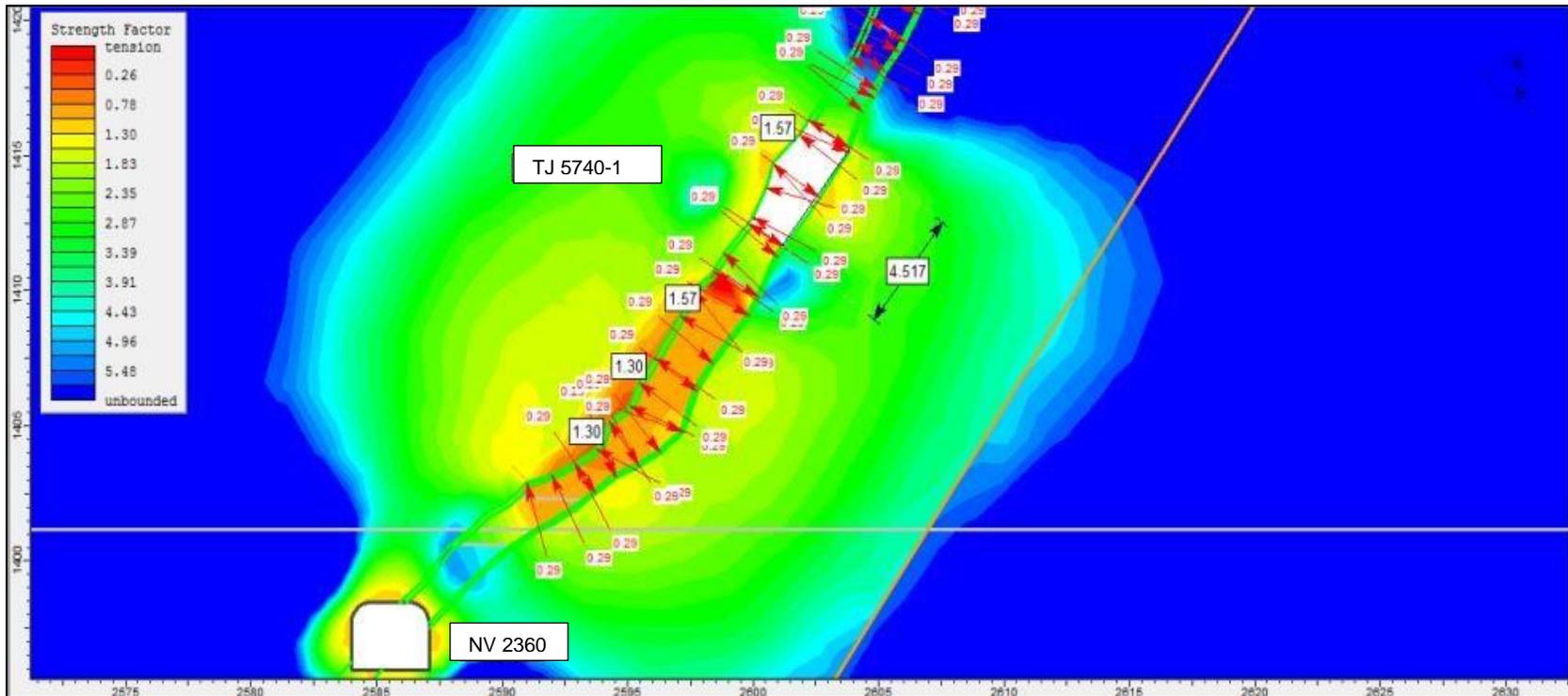


Figura 24: Análisis de estabilidad y aberturas máximas de explotación.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

A los 4.5m metros de abertura máxima se procede a realizar el relleno detrítico hasta reducir la abertura a 2.0m antes de realizar la voladura del siguiente corte. Se evidencian incrementos en los F.S a 2.09 evidenciando incremento de estabilidad (ver Figura 25).

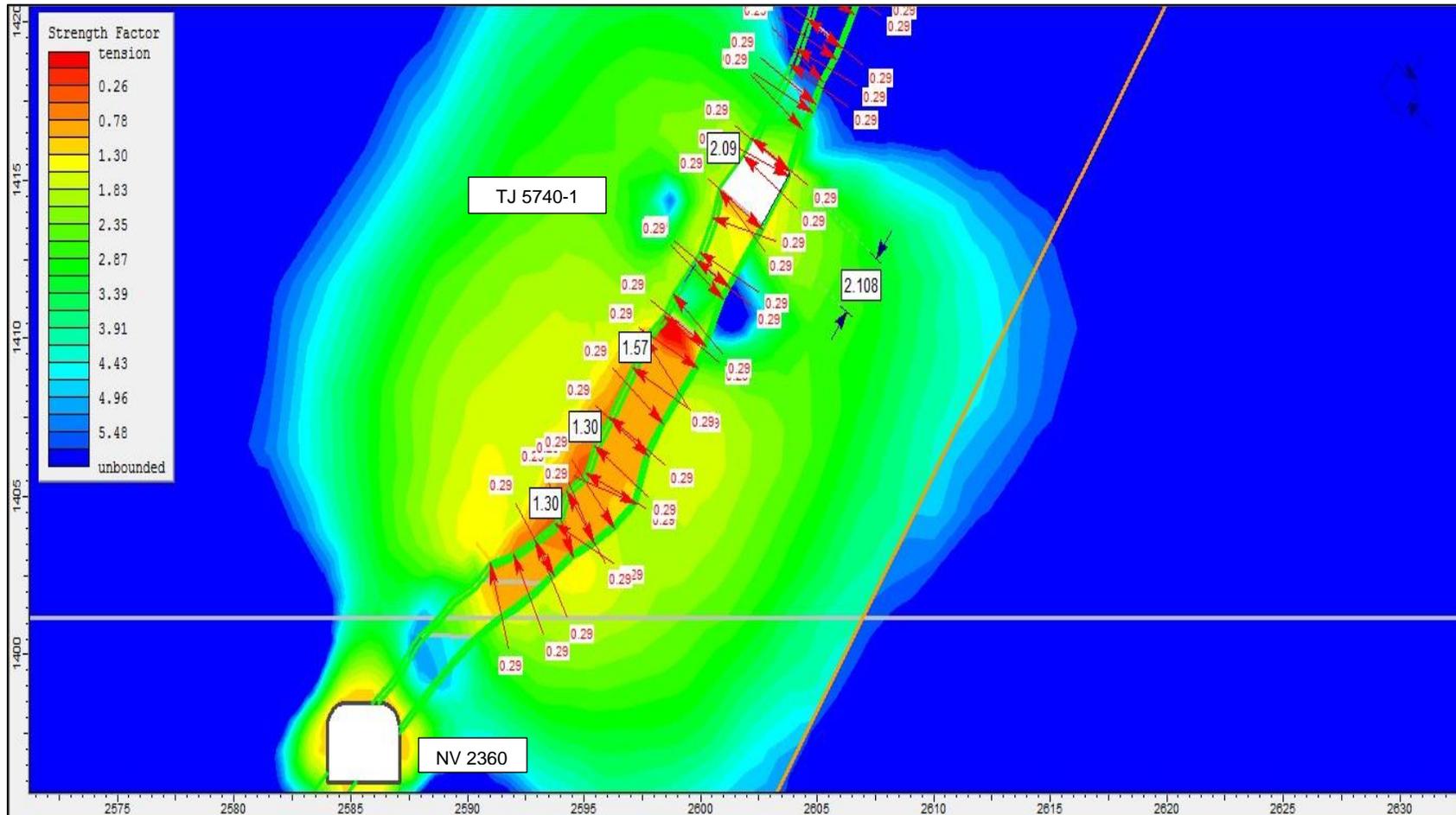


Figura 25: Ciclo de relleno del tajo y control de espacios abiertos.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.7. Contratación de la hipótesis

3.7.1. Hipótesis General

Con la evaluación geomecánica se propone utilizar el método de explotación Cut and fill en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019, con lo cual las labores se volvieron más seguras, por lo tanto, esta hipótesis queda aprobada.

3.7.2. Hipótesis Secundarias

- Los esfuerzos que intervienen en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019, están alterando la calidad de roca haciéndolo menos competente, por lo tanto, esta hipótesis queda aprobada.

- Las características del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR va de mala a regular por tanto el método de explotación debe ser mejorado en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019, por lo tanto, esta hipótesis no queda aprobada.

- El método de explotación se ha mejorado mediante la evaluación geomecánica que determinó que la roca es de mala calidad de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, con un factor de seguridad menor a 1, por lo tanto, esta hipótesis queda aprobada.

CONCLUSIONES

- La veta Julie NV 2360 se encuentra mineralizada por cuarzo blanco, pirita, galena, esfalerita y calcopirita presentan dos sistemas de fallamientos principal y un secundario. El primer sistema tiene una orientación NE-SW con dip y dip direction $70^{\circ}/162^{\circ}$, el segundo sistema de fallamiento tiene una orientación SW-NE con dip y dip direction $79^{\circ}/121^{\circ}$, el secundario NNW-SSE $64^{\circ}/065^{\circ}$.
- Para determinar el tipo de roca se utilizó la clasificación geomecánica de Bienawski 1989 el cual determinó que la roca es de tipo IIIB: En el macizo rocoso encajonante que está compuesta en su mayoría de roca diorita hacia la franja mineralizada tiene un tipo de roca IIIB. De acuerdo la clasificación geomecánica RMR es de 42 a 50, la clasificación de Barton define que es un Q de 0.80 a 1.95 y por ultimo de acuerdo a la evaluación geomecánica de GSI corresponde a MF/R (muy fracturada regular)
- De acuerdo a los resultados de la caracterización geomecánica se determinó la aplicación del método de explotación cut and fill para la veta Julie con altos máximos de minado 2.8 m, con dimensiones mínimas de pilares de 4.5 m en plano de buzamiento de veta con respecto a las Galerías Principales. Adicionalmente, se recomienda aplicar el sostenimiento sistemático con Puntales con jackpot espaciados a 1.3 m (anchos < 3.0 m) y/o cuadros de madera (anchos > 3.0 m) de presentarse parámetros geomecánicos de calidad de roca inferiores a lo establecido.
- De acuerdo a la evaluación geomecánica y simulación con el software Phases2 se determina dimensiones mínimas de pilares de 4.5 m en plano de buzamiento de veta con respecto a las galerías y rampas Principales cuando se emplea método de corte y relleno.
- Se define el método de explotación Cut and fill en la veta Julie NV 2360 para garantizar la estabilidad del terreno y evitar eventos no deseados durante el proceso de minado.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo al avance de minado se debe realizar el relleno secuencial a la explotación respetando los parámetros máximos de tiempos de autosoporte por calidad de roca dentro del ciclo de minado, para evitar posibles derrumbes dentro de la labor minera.
- Durante la explotación minera, de acuerdo al diseño de mina, se debe mantener siempre la corona o techo de labor nivelada, y con ello se evitará posibles accidentes.
- Colocar guarda cabezas con rajados y puntal Jack pot, cuando el alto de minado es menor a 2 m o pernos helicoidales cuando el alto del minado es mayor a 2 metros a lo largo de la veta Julie en la totalidad de sus tajos.
- Realizar el topeo de tajo vacío con relleno detrítico para evitar problemas de estabilidad por esfuerzos inducidos en futuras labores de profundización.
- Monitorear constantemente el comportamiento geomecánico, ya que a medida que avanza la explotación la litología va cambiando.
- La información tomada in situ debe ser con bastante exactitud debido a que se pueden presentar discontinuidades durante el proceso de rotura.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Bustamante, A. (2013). *Geomecánica Aplicada en la Prevención de Pérdidas por Caída de Rocas Mina Huanzalá-Cía. Minera Santa Luisa S.A.* (tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Campos, R. (2016). *Resistencia a Compresión Uniaxial del Concreto $F'C=175$ kg/cm² y $F'C=210$ Kg/cm² al Reemplazar en 25%, 50%, 75% y 100% Desperdicios del Proceso Minero (Pebble) por Agregado Grueso.* (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Córdova, N. (2014). *Geomecánica en el Minado Subterráneo Caso Mina Condestable.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Crespo, J. (2013). *Elección del Sistema de Explotación del Bloque R-Norte de la veta Santa Ana, Distrito Minero Zaruma-Portovelo.* (tesis de pregrado). escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Ferrer, F. (2015). *Planeamiento de Minado de Largo Plazo para Proyecto Minero No Metálico desarrollada acerca del planeamiento de minado para la cantera Atocongo.* (tesis de pregrado) .Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Mena, A. (2012). *Planeamiento de Minado Subterráneo para Vetas Angostas: Caso Práctico; mina "Esperanza de Caravelí" de Compañía Minera Titán S.R.L.* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Pantaleón, H., & Carbajal, C. (2017). *Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea.* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Quispelema, C. (2016). *Diseño De Explotación y Cierre De La Mina En La Cantera "Bloque IV", Ubicada en la Provincia De Pichincha.* (tesis de pregrado). Universidad Central de Ecuador Quito, Ecuador.

- Recio, D. (2014). *Aplicación de la Regresión Logística en la Predicción Empírica de Fenómenos Complejos en Obras Subterráneas: Squeezing y Rotura de Pilares de Carbón*. (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Rincón, B. (2016). *Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó del Área del Contrato 01-068-96 "Cooperativa Cooprocóron Sugamuxi" Municipio de Gámeza Boyacá*. (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica, Boyacá, Colombia.
- Rivera, R. (2015). *Análisis de Riesgo y Operabilidad en las Operaciones de Mantenimiento de Bandas Transportadoras en la Industria Minera*. (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Rodríguez, M. (2012). *Propuesta de Mejora de la Gestión de Mantenimiento Basado en la Mantenibilidad de Equipos de Acarreo de una Empresa Minera de Cajamarca*. (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Saavedra, L. (2016). *Diseño Óptimo de Experimentos para Estimar el Campo de Esfuerzos en el Macizo Rocosó en Torno al Frente de Avance de una Cavidad Minera*. (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Toledo, W., & Tovar, R. (2014). *Sistema In-Pit Crushing and Conveying (IPCC) Alternativa para optimizar el proceso de carguío/transporte en minado por open pit*. (Conferencia para la mina Bisa). Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
- Toroverero, F. (2014). *Evaluación Geomecánica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca- El Gavilán*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Valeriano, F. (2015). *Caracterización Geotécnica y Modos de Falla Estructural en el Talud en Roca del Cerro Espinal Juliaca*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: “EVALUACION GEOMECANICA PARA OPTIMIZAR EL METODO DE EXPLOTACION POR SUBNIVELES EN LA VETA JULIE - NV 2360, COMPAÑÍA MINERA PODEROSA, 2019”

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema principal: ¿La evaluación geomecánica optimiza el método de explotación por subniveles en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019?</p>	<p>Objetivo general: Realizar la evaluación geomecánica para optimizar el método de explotación por subniveles en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.</p>	<p>Hipótesis general: La evaluación geomecánica determina que la roca es de mala calidad por lo tanto se deben proponer mejoras para optimizar el método de explotación por subniveles en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019.</p>		<p>Tipo de investigación La investigación es Mixta por que se usó datos y resultados de cantidades como el número de discontinuidades y se utilizó la clasificación de Bienawski que determina la calidad de la roca.</p>
<p>Problemas secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son los esfuerzos que intervienen en el macizo rocoso de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019? - ¿Cuál es la calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR Bienawski 89 en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019? - ¿Cuánto se optimiza el método de explotación con la evaluación geomecánica de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analizar los esfuerzos que intervienen en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019. - Determinar la calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR Bienawski 89 en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019. - Optimizar el método de explotación mediante la evaluación geomecánica de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019. 	<p>Hipótesis secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los esfuerzos que intervienen en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019, afectan la calidad de roca haciéndolo menos competente. - La calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR es mala por tanto el método de explotación debe ser mejorado en la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa, durante el año 2019. - El método de explotación mejora cuando se aplica la evaluación geomecánica de acuerdo al tipo de roca de la Veta Julie - NV 2360, Compañía Minera Poderosa. 	<p>Variable Independiente: Evaluación geomecánica</p> <p>Variable Dependiente Método de explotación por subniveles</p>	<p>Nivel de investigación Se utilizó la investigación secuencial porque en una fase inicial se reúnen y estudian datos medibles de las discontinuidades, y en un segundo periodo se obtienen y estudian las comparaciones con la clasificación del RMR de Bienawski.</p> <p>Método de la investigación En esta investigación se utilizó el Derivativo. En este método la obtención y el estudio de los datos medibles, se realizó en función de los resultados cualitativos.</p> <p>Diseño de investigación El diseño de la investigación será explicativo secuencial.</p> <p>Población Veta Julie con orientación NW – SE con buzamiento de 35° a 50°, en compañía minera Poderosa.</p> <p>Muestra 4 estaciones de evaluación geomecánica en la veta Julie del NV 2360, en compañía minera poderosa</p>

Anexo 2: Instrumento: Ficha de toma de datos de campo

REGISTRO GEOLÓGICOGEOTECNICO				PROYECTO :												UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS								
				UBICACIÓN :																				
CODIGO				TRAMO :																				
RESPONSABLE				HOJA Nº :		DE																		
SISTEMA				EJECUTADO POR:				FECHA:																
DATA GPS				MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
DIS. Nro.	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS		SIÓN	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.	
								E=Estratif.	D=Diaclasa			RE M B O R A F A N C U E S I S R E	ND:	DIRECCION.					TIPO	DUREZA				
					1=Fresco	1 = Alto	Bloq-Regul	Fn=F. Norm						1=> 2	1 = < 1	1=Nada	1=Muy Rug	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1=Inalterada	1 = Seco	1= Lec. Real		
					2=Lev Met	2 = Med	Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa						2= 2-0,6	2 = 1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar		
					3 =Mod	3 = Bajo	Bloq/Des	Fd=F. Direcc						3= 0,6-0,2	3 = 3-10	3=0,1-1,0	3=Lig. Rug	3 = Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy		
					4=Alt Met		Fract	mf=Microfalla						4=0,2-0,06	4=10-20	4 =1,0-5,0	4=Ond.-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm.	4=Muy Alt	4 = Goteo			
					5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees.						5= < 0,06	5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Trit.	5=Suave>5mm.	5=Descomp	5 = Flujo			
								C=Contacto			RQD=	Z / R	DIP	DD					6 = Bx					
																			7 = Panizo					
																			8 = Veta					

Anexo 3: Instrumento: Caracterización geomecánica

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		