

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR TALADROS
LARGOS EN VETA VIRGINIA DE LA UNIDAD SAN CRISTOBAL DE
LA COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ROGER SERGIO VILLALTA COLCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR TALADROS LARGOS EN
LA VETA VIRGINIA DE LA UNIDAD SAN CRISTOBAL DE LA COMPAÑÍA
MINERA VOLCAN S.A.A.

PRESENTADA POR:

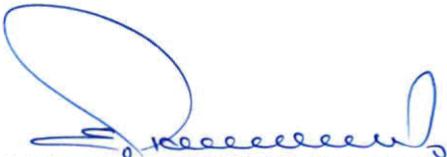
Bach. ROGER SERGIO VILLALTA COLCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

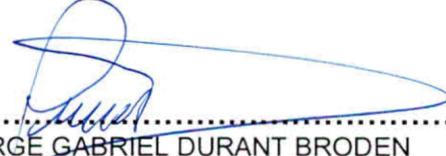
INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR LOS JURADOS:

PRESIDENTE:


.....
M. Sc. EUGENIO ARAUCANO DOMINGUEZ

PRIMER MIEMBRO:


.....
D. Sc. JORGE GABRIEL DURANT BRODEN

SEGUNDO MIEMBRO:


.....
Mg. FELIPE MAMANI OVIEDO

DIRECTOR / ASESOR:


.....
M. Sc. ESTEBAN MARIN PAUCARA

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Métodos de extracción de yacimientos minerales metálicos y no metálicos

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a quien significa la
alegría y felicidad de mis días, mi hijo*

Diego Alessandro.

*A quien me dio la oportunidad de existir
y apreciar lo hermosa que es la vida, mi*

madre Isabel Colca Huaranca.

El autor

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por mostrarme la paz y el sentido de fe para conseguir mis objetivos.

Agradezco a mis padres y hermanos, por el apoyo constante e incondicional en mi formación profesional y personal.

Y mi profundo agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por compartir sus conocimientos en el proceso de mi formación profesional

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	4
INDICE DE TABLAS.....	10
INDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCION.....	16

CAPÍTULO I**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Descripción de la realidad problemática.....	17
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Pregunta general.....	18
1.2.2. Pregunta específico.....	18
1.3. Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación de la investigación.....	19

CAPÍTULO II**REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.2. Bases teóricas.....	25
2.2.1. Métodos de explotación con taladros largos.....	25

2.2.2.	Método taladros abanicos – SLC.....	25
2.2.3.	Método taladros paralelos – SLV.....	25
2.2.4.	Perforación de taladros largos.	26
2.2.5.	Índice de resistencia geológica GSI.	26
2.2.6.	Teoría de Lauffer.....	27
2.2.7.	Clasificación de Lauffer.	27
2.2.8.	Clasificación geomecánica de Bieniawski 1989.	28
2.2.9.	Corrección por orientación propuesto por Bieniawski 1989.....	29
2.2.10.	Descripción del modelo numérico.....	29
2.3.	Definiciones conceptuales.....	30
2.4.4.	Diseño de excavación subterránea.	36
2.4.5.	Diseño de sostenimiento en excavación subterránea.	36
2.5.	Aspecto litológico local.....	37
2.5.1.	Filitas.....	37
2.5.2.	Conglomerados y brechas volcánicas.....	37
2.5.3.	Calizas.	38
2.5.4.	Mineralización.....	38
2.5.5.	Gravedad específica.	38
2.6.	Geometría del cuerpo.	39
2.7.	Operaciones de minado subterráneo.....	39
2.7.1.	Control de la perforación.....	41
2.7.2.	Control del carguío en la voladura.	41
2.7.3.	Aplicación de la voladura controlada.....	42
2.7.4.	Sostenimiento.....	43
2.8.	Formulación de hipótesis.....	43
2.8.1.	Hipótesis general.	43

2.8.2.	Hipótesis específico.....	43
2.8.3.	Variable independiente.....	44
2.8.4.	Variable dependiente.....	44

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Diseño de la investigación.....	45
3.1.1.	Fases de la investigación.....	45
3.1.2.	Método de investigación.....	46
3.2.	Nivel de investigación.....	46
3.3.	Población y muestra.....	47
3.3.1.	Población.....	47
3.3.2.	Muestra.....	47
3.3.3.	Muestreo.....	47
3.3.4.	Cálculo de tamaño de muestra.....	47
3.3.5.	Operacionalización de variables.....	48
3.3.6.	Técnicas y análisis de datos.....	48
3.3.7.	Instrumentos.....	49
3.3.8.	Análisis de datos.....	49
3.3.9.	Instrumentación para el control del comportamiento del macizo rocoso.....	51
3.4.	Exposición de pruebas de acuerdo a hipótesis.....	51
3.4.1.	Exposición de pruebas y resultados de acuerdo a hipótesis específico 1.....	51
3.4.2.	Caracterización geomecánica de RMR de Bieniawski 1989.....	51
3.4.3.	Parámetros geomecánicos.....	51
3.4.4.	Objetivos de caracterización geomecánica de RMR de Bieniawski.....	52
3.4.5.	Caracterización de roca intacta.....	52
3.4.6.	Propiedades físicas.....	52

3.4.7.	Propiedades mecánicas resistencia compresiva uniaxial en laboratorio.	53
3.4.8.	Resistencia compresiva uniaxial de macizo rocoso (esclerómetro).	53
3.4.9.	Resistencia compresiva uniaxial de veta Virginia (esclerómetro).	54
3.4.10.	Mapeo geomecánico nivel 920-1020, subnivel 308-2 Progresiva 00,00-26,00 m.	56
3.4.11.	Objetivos del mapeo nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2 Progresiva 00,00 - 26,00 m.	58
3.4.12.	Caracterización de macizo rocoso.	58
3.4.13.	Análisis estructural con brújula.	58
3.4.14.	Descripción cuantitativa.	59
3.4.15.	Orientación de familias de discontinuidades.	59
3.4.16.	Clasificaciones geomecánicas de macizo rocoso.	60
3.4.17.	Índice de la calidad de roca RQD (Rock Quality Designation).	62
3.4.18.	Determinación de RMR con resistencia compresiva uniaxial (RCU) de laboratorio nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m	63
3.4.19.	Descripción de características de masa rocosa en nivel 920 - 1020, subnivel 308-2.	65
3.4.20.	Rumbo perpendicular al eje de subnivel 308-2 nivel 920-1020.	66
3.5.	Exposición de pruebas de acuerdo a hipótesis específico 2.	68
3.5.1.	Características geométricas del depósito mineral nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, 308 - 8.	68
3.5.2.	Resistencia de la sustancia rocosa (RSR) en subnivel 308-2 para método UBC. .	71
3.5.3.	Esfuerzo vertical (σ_1).	71
3.5.4.	Determinación de esfuerzo vertical (σ_1) de macizo rocoso a una profundidad de 800 m. con software Roclab 1.0.	71
3.5.5.	Determinación de esfuerzo vertical (σ_1) de veta Virginia a una profundidad de 800 m. con Software Roclab 1.0.	74

3.5.6.	Resistencia de veta (mena-UBC).	76
3.5.7.	Evaluación de fluencia de esfuerzos en el tajo con software Phase2.	77
3.6.	Resultados de geometría del depósito mineral de acuerdo a hipótesis 2.	77
3.6.1.	Método de selección UBC (Universidad de Columbia Británica)	78
3.6.2.	Datos de entrada en sistema de clasificación UBC (1995).	79
3.7.	Aplicación de software UBC edumine.	79
3.7.1.	Elección de método de minado cut and fill stoping.	85
3.7.2.	Geología.	86
3.7.3.	Diseño taladros largos.	86
3.7.4.	Perforación.	86

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	Resultados de acuerdo al objetivo 1	88
4.1.1.	Propiedades físicas de la roca intacta.	88
4.1.2.	Propiedades mecánicas de la roca intacta.	88
4.1.3.	Características geomecánicas del macizo rocoso (Bieniawski 1989).	89
4.2.	Resultados de acuerdo al objetivo 2	90
4.3.	Resultado de selección del método de minado de sublevel stoping con software UBC edumine.	91
4.4.	Aplicación de taladros largos sublevel stoping en Unidad San Cristóbal.	92
4.5.	Discusiones.	93
CONCLUSIONES		96
RECOMENDACIONES		97
BIBLIOGRAFÍA		98
ANEXOS		101

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación según tiempo estable.	27
Tabla.2.2. Ábaco de calidad de macizo rocoso (Bieniawski 1989).....	29
Tabla 2.3. Corrección por orientación – Bieniawski 1989.....	29
Tabla 2.4. Gravedad específica de muestras.....	39
Tabla 3.1. Operacionalización de variables.....	50
Tabla 3.2. Valores de k con esclerómetro nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, progresiva 00,00-26,00 m.....	53
Tabla 3.3. Valores de k con esclerómetro nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, zona de veta Virginia.....	55
Tabla 3.4. Valuación de calidad de roca según RQD (Deere et al., 1970).....	63
Tabla 3.5. RMR básico y RMR corregido- nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, progresiva 00,00-26,00 m.....	64
Tabla.3.6. Ábaco de clase y calidad (Bieniawski 1989).....	65
Tabla 3.7. Corrección por orientación propuesto por Bieniawski 1989.....	65
Tabla.3.8. Calidad del macizo rocoso con RCU de laboratorio MRP servicios especializados.....	66
Tabla 3.9. Calidad del macizo rocoso y mena en sistema de vetas Virginia.....	66
Tabla.3.10. RMR de macizo rocoso y mena en veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-1, subnivel 308 - 7.....	67
Tabla 3.11. GSI de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7.....	67
Tabla 3.12. Q de Barton de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1, 68 subnivel 308-7.....	68
Tabla 3.13. Estructura litológica de la veta Virginia nivel 920 – 1020 subnivel 308 - 1, 308-8.....	69
Tabla 3.14. Potencia promedio en sistema de vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 -1, subnivel 308-7.....	70
Tabla 3.15. Abaco de resistencia de la sustancia rocosa (RSR) por zonas para método UBC.....	76
Tabla.3.16. Definición de la geometría del depósito y grado de distribución para método UBC.....	80
	10

Tabla. 3.17. Características mecánicas de la roca. 81

Tabla.3.18. Clasificación de la geometría y grado de distribución para los diferentes métodos de explotación..... 81

Tabla. 3.19. RMR de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-2..... 82

Tabla. 3.20. GSI de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-2..... 82

Tabla. 3.21. Q de Barton de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-2 82

Tabla.3.22. Abaco de características mecánicas de la roca para los diferentes métodos de explotación. 83

Tabla. 4.1. RMR de veta Virginia nivel 920 – 1020, subnivel 308 – 2, progresiva 00,00 - 26,00 m.....94

Tabla 4.2. Calidad de macizo rocoso y mena por correlación en veta Virginia nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, subnivel 308 - 7..... 90

Tabla 4.3. Sinopsis de estructura litológica de la veta Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1,308-8. 90

Tabla 4.4. Sinopsis de potencia promedio en veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7..... 91

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Tipos de mapeos..... 57

Figura 3.2. Secuencias de mapeo..... 57

Figura 3.3. Densidad de polos nivel 920 – 1020, subnivel 308 – 2, progresiva 00,00 – 26,00 m..... 60

Figura 3.4: Densidad de polos y planos..... 61

Figura 3.5. Diagrama de planos nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00-26.00 m.61

Figura 3.6. Diagrama de rosseto nivel 920 – 1020 subnivel 308 – 2, progresiva 00,00 – 26,00 m.....62

Figura 3.7. Estructura litológica de veta Virginia - Unidad San Cristóbal..... 69

Figura: 3.8. Concentración de polos en diagrama de Rosseto – Unidad San Cristóbal 70

Figura 3.9. Disturbancia para masa rocosa en nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, subnivel 308-2..... 72

Figura 3.10. Esfuerzo principal mayor y menor nivel 920 – 1020, subnivel 308 – 1, subnivel 308 – 2.....72

Figura 3.11. Resultados de los esfuerzos en profundidad de 800 m. con software roclab de masa rocosa. 73

Figura 3.12. Valores de esfuerzo normal y esfuerzo de corte con roclab de masa rocosa. .73

Figura 3.13. Disturbancia para veta Virginia en nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, subnivel 308-2..... 74

Figura 3.14. Esfuerzo principales veta Virginia- nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, subnivel 308-2..... 75

Figura 3.15. Resultados de esfuerzos en profundidad de 800 m. con software roclab de veta Virginia..... 75

Figura 3.16. Valores de esfuerzo normal y esfuerzo de corte con rocklab de veta Virginia.....76

Figura. 3.17. Panel de datos de entrada a software UBC edumine..... 84

Figura 3.18. Resultados de datos de entrada a software UBC edumine 84

Figura 3.19. Método de minado sugeridos por software UBC edumine 85

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RMR: *Rock Mass Rating* de *Bieniawski*

RB: *Raise Boring*

RQD: *Rock Quality Designation*

F.S: Factor de Seguridad

RCU: Resistencia compresiva Uniaxial.

MEF: Método de elementos finitos.

Q: Índice tunelero de *Barton*

TM: Toneladas métricas

Ton. Toneladas

MPa: Mega pascales

RESUMEN

La Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcán S.A.A., actualmente viene explotando yacimientos polimetálicos de Zn, Pb, Ag y Cu, en el proceso de explotación se tiene problemas de desprendimiento de rocas, baja producción de minerales, y altos costos de minado, frente a esta problemática, se ha planteado la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia; donde el objetivo del trabajo de investigación es determinar las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral, para la aplicación del método de taladros largos; siendo la metodología de estudio el proceso de análisis del macizo rocoso mediante las muestras tomadas en veta Virginia, teniendo 04 familias en la roca filita excelsior, RMR corregido de 54, Tipo de roca III, de calidad regular o media en Nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, el RMR de caja techo y piso es 47 y el RMR de mena es 41 evaluados en siete sub niveles, la geometría del depósito mineral es tipo irregular, el ancho de la veta es de 3,02 m y el ancho de minado 3,08 a 4,00 m con potencias de 2,85 m hasta 3,00 m, buzamiento máximo de 75° SE y buzamiento mínimo de 59° SE, en una dirección de excavación de N42° E; y finalmente se ha obtenido los siguientes resultados: Resistencia compresiva uniaxial RCU de filita silisificada 62,15 MPa, la RCU de filita cloritizada, 61,41 MPa, la RCU con esclerómetro 72,06 MPa y la RCU de mena 94,19 MPa; con la aplicación del método de Taladros Largos hay diferencia significativa en el costo de operación entre el Corte y Relleno Ascendente (Realce) y la productividad anual se incrementó en 700 000 TM/año adicionales producidas en la Mina San Cristóbal.

Palabras claves. Geomecánica, geometría del yacimiento, métodos de explotación, taladros largos

ABSTRACT

The San Cristóbal Unit of the Volcán Mining Company S.A.A., currently extracting polymetallic deposits of Zn, Pb, Ag and Cu. In the process of exploitation there are problems like rockfall, low mineral production and high mining costs, given those problems, it has been proposed the application of long drills in the exploitation of the Virginia vein, where the objective of this research work is to determine the geomechanical properties of the solid rocks and the geometry of the mineral deposit, for the application of the method of long drills; being the study methodology the analysis process of the solid rock through samples taken in the Virginia vein, having 04 families in the filita excelsior rock, corrected RMR of 54, type of rock III, of regular or average quality in level 920 - 1020, sublevel 308 - 2, the RMR of the roof box and floor is 47 and the RMR of the ore is 41 evaluated in seven sub levels, the geometry of the mineral deposit is irregular, the width of the vein is 3,02 m and the mined width is 3,08 to 4,00 m with potencies of 2,85 m to 3,00 m, maximum dip of 75 ° SE and minimum dip of 59 ° SE, in an excavation direction of N42 ° E; and finally the following results have been obtained: Uniaxial compressive strength of silicified phyllite 62,15 MPa, the RCU of chloritized phyllite, 61,41 MPa, the RCU with sclerometer 72,06 MPa and the RCU of ore 94,19 MPa; with the application of the Long Drills, there is a significant difference in the cost of operation between the Cut and Up Filling (Enhancement) and the annual productivity was increased by 700,000 MT/year additional produced in the San Cristóbal Mine

Keywords. Geomechanics, reservoir geometry, exploitation methods, long drills

INTRODUCCION

La Mina San Cristóbal de la Compañía Minera Volcán S.A.A. se ubica en el distrito de Yauli, provincia del mismo nombre región Junín, tiene 3 zonas definidas de producción: Zona Lidia que produce un promedio de 920 TM/día, la zona alta 1 150 TM/día y la Zona Baja 2 250 TM/día produce en promedio 4 300 TM/día con producción programada de 133 000 TM /mes, 1 596 000 TM/ año. Las leyes promedio son: 5,5 % de Zn, 1,5% de Pb, 3,8 onzas de Ag y 0,30 % de Cu. En la zona baja se ha alcanzado una producción de 2 300 a 2 400 TM/día, en la actualidad en la zona baja se ha presentado desprendimiento de rocas, baja producción de minerales, los costos de minado son altos, frente a esta realidad, para cumplir con los objetivos del trabajo de investigación se ha planteado la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A., considerando las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral, orientados básicamente en reducir los índices de accidentabilidad por caída de rocas y mejorar los índices de productividad, se trabajó hasta el 2 009 con el método de explotación corte y relleno ascendente, con sus variantes (realce 60% y *breasting* 40%), se han presentado serios problemas de desprendimiento de rocas principalmente del techo de la excavación y de los hastiales.

El trabajo de investigación se divide en cuatro capítulos, en el Capítulo I, se considera el planteamiento del problema motivo de tesis, en el Capítulo II, se desarrolla la revisión de literatura, analizando las bases teóricas fundamentales y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el trabajo de investigación, en el Capítulo III, se describe los materiales y métodos de la investigación y la operacionalización de variables y en el Capítulo IV, se plantea las discusiones y análisis de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

La Mina San Cristóbal de Compañía Minera Volcán S.A.A. Se ubica en el distrito de Yauli, provincia del mismo nombre región Junín, actualmente viene presentado desprendimiento de rocas, baja producción de minerales, los costos de minado relativamente altos, frente a esta realidad, para cumplir con los requerimientos, en el presente trabajo de investigación se plantea la extracción de recursos minerales por método de explotación en vetas angostas, con taladros largos en paralelo en veta Virginia, orientados básicamente en reducir los índices de accidentabilidad por caída de rocas y mejorar los índices de productividad, se trabajó hasta el 2009 con el método de explotación corte y relleno ascendente, con sus variantes (realce 60% y *breasting* 40%), observándose como desventaja de este método (realce) las condiciones sub estándar en su ciclo de minado como: la exposición por caída de rocas al personal, equipos y sostenimiento, tiempo de apertura de la excavación, ya que durante estas actividades se estaba debajo de un techo perturbado efecto de la voladura. En base a una estadística de incidentes que se reportaron desde el año 2005 al 2009 sobre caída de rocas, se resume en un índice de frecuencia promedio de 3,5 en el método corte y relleno ascendente (realce).

Teniendo como premisa estas condiciones y con la finalidad de mejorar nuestros estándares de seguridad e incrementar los índices de productividad; se realizó una evaluación geo- estructural, geotécnica y productiva; se vio por conveniente realizar tajos piloto para la aplicación del método taladros largos (*Bench And Fill*), obteniéndose resultados prácticos que dieron las variantes con respecto a la potencia de veta, buzamiento, calidad de la zona mineralizada, roca encajonante e incremento del % de recuperación del mineral.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1.Pregunta general.

¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral para la aplicación del método de taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.?

1.2.2.Pregunta específico.

- a. ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso para la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.?
- b. ¿Cómo es la geometría del depósito mineral para la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1.Objetivo general

Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

1.3.2. Objetivos específicos.

- a. Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.
- b. Determinar la geometría del depósito mineral para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

1.4. Justificación de la investigación.

El presente trabajo de investigación propuesta ayudará en la solución de problemas de baja producción, desprendimiento de rocas sueltas existente en la veta Virginia de la Unidad Minera San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

El incremento de la producción trae consigo beneficios económicos para la empresa minera, logrando una reducción en los costos, la determinación de la calidad del macizo rocoso, permiten proponer métodos eficientes de estabilización que mejora los márgenes de la organización y por lo tanto mejoran las utilidades lográndose mayor rentabilidad, las reservas minerales garantizan el tiempo de vida de la mina en la Unidad Minera San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

El cumplimiento con las normas ambientales y la responsabilidad social empresarial, con respecto a sus trabajadores y a las comunidades aledañas en un clima de entendimiento, se logra el incremento de la eficiencia operativa, estas operaciones mineras en el marco de las normas legales vigentes, cumplen con los estándares establecidos tanto en las operaciones mineras subterráneas con cero accidentes por desprendimiento de rocas y la planta de recuperación metalúrgica, dando una mejor utilización del recurso del relave cuidando el medio ambiente.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación.

Veyrat S., *et al.* (2015), Subterránea S.C. Minera Atacama Kozan., mencionan: S.C. Minera Atacama Kozan, explota un yacimiento de cobre ubicado a 15 km del sureste de Copiapó, en la comuna de tierra amarilla. En el yacimiento se lleva a cabo la extracción del mineral por medio del sistema *sublevel stopping*. En este trabajo se analiza el sector manto Norte, abarcando los niveles de *drilling* a la cota 165 y de producción a la cota 136, los caserones manto Norte 01, 04, 05, 06 y manto Norte Este y galerías adyacentes. Se expone la toma de datos en mina, así como el análisis posterior de la estabilidad de las excavaciones. Desde el punto de vista geológico, la estructura general del área de estudio está definida sobre una estructura anticlinal, compuesta por una secuencia de materiales vulcano-sedimentaria. Estos materiales pertenecen al grupo Chañarcillo, de edad comprendida entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior.

Sulca R., (2015), el estudio se realizó con la finalidad de evaluar técnico económicamente, la aplicación del minado por subniveles con taladros largos en mantos, minado masivo cuya aplicación tiene por finalidad incrementar la producción de 1 000 a 4 000 toneladas de mineral de cobre por día. Para esto previamente se realizaron estudios

geomecánicos y luego de evaluar los principales índices de eficiencia, productividad y control de los equipos de acarreo y perforación, se determinó implementar este método de minado conforme a las características del yacimiento. Durante el desarrollo de la tesis se realizó la evaluación técnica de la aplicación del método de minado masivo, obteniendo un rendimiento de 112,94 TM/hombre-Gdía, a la par se hizo la evaluación económica, siendo el costo en dólares por tonelada de 24,53 US\$/TM, de igual forma se estimó el TIR obteniéndose un 371,57%. La aplicación del método de minado por subniveles usando taladros largos en mantos de la mina Marcapunta Norte, es un proyecto ambicioso para el incremento de la producción, que se encuentra en proceso de ejecución y será referente principal para la aplicación de este método en otros mantos de gran potencia.

Calla J., *et al.* (2012), En mina San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S.A.A, se trabajó hasta el 2009 con el método de explotación corte y relleno ascendente, observándose como desventaja de este método, las condiciones sub estándares en su ciclo de minado, ya que durante estas actividades se estaba debajo de un techo perturbado efecto de la voladura. El método de minado *bench and fill* exige una infraestructura adecuada. Todos ubicados estratégicamente a distancias adecuadas, para incrementar la productividad del método, y las condiciones de seguridad, se vio por conveniente realizar tajos piloto para la aplicación del método *bench and fill*, obteniéndose resultados prácticos que dieron las variantes con respecto a la potencia de veta, buzamiento, calidad de la zona mineralizada, roca encajonante e incremento del % de recuperación del mineral. Con este método se está obteniendo un minado seguro, productivo, de bajo costo y rentable para el año 2012, actualmente en mina San Cristóbal el 70% de la producción proviene de los taladros largos (*bench and fill*).

Calla J., (2012), menciona, actualmente, los objetivos la Compañía Minera Volcán S.A.A., están orientados básicamente en reducir los índices de accidentabilidad por caída de rocas y mejorar nuestros índices de productividad reflejados en finos de concentrado, según

los planes, a corto, mediano y largo plazo, de la Mina San Cristóbal; los cuales están direccionados en la importancia de preparación de nuevos tajos, diseñados según la infraestructura futura que requiera el método de taladros largos (*bench and fill*), con objetivos bien definidos de mayor productividad, menor exposición del personal (equipos a control remoto) y menor costo de operación, por las características del macizo rocoso de la zona de minado en la zona baja en donde la calidad de regular o media con un RMR que varía de 40 a 45.

Lira R., (2005), En su trabajo denominado: optimización en perforación y voladura de taladros largos en la unidad minera Iscaycruz, concluye que: El éxito de la perforación y voladura en la mina Iscaycruz se debe a un trabajo coordinado y en equipo entre los departamentos de planeamiento, geología y mina. La utilización de tecnología minera moderna permite la explotación de yacimientos con seguridad y economía. Los costos promedio de perforación es de 0,64 US\$/TM y el costo de voladura es de 0,41 US\$/TM, los que representan respectivamente el 7% y el 4,5% del costo de minado. El diseño y la aplicación de la malla de perforación y voladura tipo VCR permiten tener un menor metraje en taladros de producción, un menor consumo de explosivos, un buen control de la fragmentación del material y seguridad para el personal y equipos.

Quispe S., (2010), El sistema de vetas Virginia en la Unidad San Cristóbal, las principales estructuras mineralizadas son: vetas tipo rosario con buzamiento de 45° a 60°, cuerpos y mantos. En factores litológicos considera como cuerpos y mantos emplazados en el contacto de caliza Pucara y volcánico Mitu, vetas emplazadas en filitas, en la zonificación de la mina, considera que el sistema de vetas Virginia está dividida en dos zonas: zona I: Comprende los niveles 390 hasta el nivel 730, la explotación es mecanizada; para la perforación se utiliza Jumbos electrohidráulicos de un brazo, el acarreo se realiza con *scooptram* de 3,5 yardas cubicas y el transporte se realiza con camiones de 25 TM,

zona II (zona baja): Comprende desde el Nivel 780 hasta el nivel 1 020, la explotación es mecanizada; para la perforación se utiliza Jumbos electrohidráulicos de un brazo, el acarreo se realiza con *scooptram* de 3,5 y 6 yardas cúbicas y el transporte se realiza con camiones de 25 TM, a partir de julio del presente año (2010), en el Nivel 1020 se está empleando el método de minado de Taladros largos, con resultados favorables para la Compañía.

Gonzales M., *et al.* (2012), En su tesis titulado: explotación de un cuerpo mineralizado por subniveles con taladros largos en la unidad de producción Uchucchacua de la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería de Minas-Civil menciona: involucra criterios técnicos y económicos orientados a la selección del método óptimo para la explotación del cuerpo Magaly, como una alternativa de solución al problema de producción de 13 metros profundidad por taladro en el cuerpo Magaly-tajo775 de la UP. Uchucchahua para ello es de necesario considerar las condiciones geológicas, geométricas y las características geomecánicas del macizo rocoso del cuerpo Magaly además es importante la roca circundante del cuerpo mineralizado. Teniendo presente otros aspectos fundamentales que son la dilución, recuperación de reservas minerales, el valor del mineral probado y probable, el costo de producción, consecuentemente se evalúan mediante el valor presente neto.

Córdova D., (2008), La ingeniería de minas moderna ha adoptado a la geomecánica como una herramienta tecnológica importante para lograr mejores condiciones de seguridad y eficiencia en las operaciones mineras. Las actividades geomecánicas que se realizan en una mina subterránea requieren ser conducidas en un medio ambiente organizacional que permita la integración de conceptos, información y actividad analítica de parte del personal involucrado con la explotación de la mina,

Silva M., (2017), en la explotación de estructuras mineralizadas (vetas, mantos y cuerpos), menciona que mediante el método *over cut and Fill (Breasting)*, para nuestro caso en estudio el Sistema de vetas Virginia (Veta 722, Veta 658, Veta Split 658), con geometría irregular (Tipo rosario), potencia aproximado de 2,5 m, donde el buzamiento varía de 55° a 60°, la calidad de la roca encajonante tiene RMR promedio de 42 (34-51), la calidad de la veta tiene RMR promedio de 33 (32-35) y anchos de minado de 3,8 m. Este método no ha satisfecho la producción deseada, identificándose varias deficiencias como: producción no oportuna, altos tiempos improductivos, porcentaje de dilución elevada y bajos rendimientos, estos factores hacen que se mantenga costos de operación elevados. Radica ahí el motivo a buscar una alternativa, Ya evaluada la parte geológica y geomecánica del yacimiento se realiza el diseño de las labores de desarrollo, preparación y explotación, en este último se realiza el trabajo técnico de cálculo de los parámetros de diseño del tajo.

Romero J., (2012), en su investigación respecto a selección de métodos extractivos y su impacto en la productividad minera – estudio de caso en la minería de carbón colombiana considera un nuevo enfoque para la selección del método extractivo mediante una metodología fácilmente replicable; este enfoque puede ser usado en el proceso de planeación y diseño minero. Seleccionar el método extractivo es uno de los problemas de decisión multicriterio discreta (DMD) donde los decisores han tenido problemas en la asignación de peso a cada criterio. Para resolver este problema, este documento aplica el método PAJ y propone una metodología de comprobación mediante la asignación de peso a los criterios con entropía y la selección del método mediante PRES, el modelo presentado en este documento muestra su aplicación a un yacimiento de carbón localizado en el costado occidental del “Cerro Tasajero” en Norte de Santander, Colombia. Este documento identifica la necesidad de usar métodos multicriterio cuantitativos como ayuda para probar la exactitud del método PAJ.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Métodos de explotación con taladros largos.

Según las investigaciones de EXSA, perforación y voladura en taladros largos, métodos de explotación SLC-SLV, “*sublevel stoping*”, es una aplicación de los principios de la voladura de banco a cielo abierto a las explotaciones subterráneas, consiste en el arranque del puente entre dos niveles de perforación en sentido descendente y ascendente.

El sistema establece un único nivel base (nivel de extracción) para varios subniveles superiores, la distancia entre los niveles base oscila entre 80 y 100 metros, Existen dos variaciones en este método:

- El método taladros en abanico.
- El método taladros en paralelo (LHB).

2.2.2. Método taladros abanicos – SLC.

Este método es aplicado en cuerpos diseminados, la perforación de taladros son de longitudes variables superiores a los 15 metros dependiendo de las dimensiones del block mineralizado. La altura entre Subniveles de perforación es de 30 m, a partir de estos subniveles se realizan perforaciones de taladros ascendentes y descendentes en abanicos para lo cual se utilizan diámetros de broca de 64 mm. Con la finalidad de minimizar la desviación de los taladros. Ver anexo B1

2.2.3. Método taladros paralelos – SLV.

Este método es aplicado básicamente en *bloks* de mineral de potencias menores, vetas donde la potencia minable es de 1,50 metros hasta 3,00 metros, la sección de los subniveles son de 2,50m x 2,50m, sirven como subnivel de perforación así como también para el desplazamiento de los equipos de perforación y de limpieza *scooptram*, el buzamiento de las vetas tienen un promedio de 75° lo que es una inclinación favorable en el desplazamiento del material dentro del tajo. La altura entre subniveles es de 15,0 m, a partir

de estos subniveles se realizan perforaciones de taladros paralelos al buzamiento de la veta en sentido ascendente y descendente con una longitud entre 12,0 m – 15,0 m, para lo cual se utilizan diámetros de broca de 64 mm con la finalidad de minimizar la desviación de los taladros. Ver anexo B2

Los *Ch - slot* utilizado como cara libre son preparados con una sección de 2,0 m x 2,0 m, estas chimeneas están ubicadas a los extremos del tajo de tal forma que la explotación se hace en retirada y en rebanadas verticales. El acceso a los tajeos de explotación es por rampa y cortadas normalmente ubicados en la caja piso de los tajeos. La galería de extracción (*by pass*) debe ser desarrollada en el nivel base (caja piso) del tajeo, paralela a la zona mineralizada y en estéril, el desarrollo de estocadas o “*draw points*” que unen la galería de extracción con la galería sobre veta, para la recuperación del mineral derribado. Las galerías de perforación (subniveles) deben estar en la zona mineralizada. Se ejecuta una *Ch - slot* que sirve como cara libre para iniciar la voladura.

2.2.4. Perforación de taladros largos.

La perforación de taladros largos es la principal actividad en el minado por subniveles, esta operación requiere de bastante control y precisión antes de iniciar la perforación, el control y precisión son un factor determinante para lograr una voladura óptima y eficiente. El uso de diámetros menores y longitud de taladros mayores básicamente generan la desviación del taladro, lo cual es un problema común pero controlable de acuerdo a la calidad del macizo rocoso. Ver anexo B3

2.2.5. Índice de resistencia geológica GSI.

Con la intención de obtener un índice basado en observaciones geológicas, y que además cubriese el rango de las rocas de mala calidad, surge el índice GSI (*Geological Strength Index*) definido en (Hoek, E., et al., 1995). Este índice evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento y las características de las discontinuidades.

También tiene en cuenta la estructura geológica, el tamaño de los bloques y la alteración de las discontinuidades. Ver anexo C, en donde presenta la carta utilizada para la estimación del índice GSI, a partir de observaciones geológicas.

2.2.6. Teoría de Lauffer.

Esta teoría tiene vigencia en las excavaciones subterráneas respecto al auto soporte es decir el tiempo de auto soporte de una galería, tajeo, túneles etc. *Lauffer* propuso que el tiempo de auto-sostenimiento para una abertura sin sostenimiento, está relacionado a la calidad de la masa rocosa en la cual la abertura es excavada. En un túnel, la abertura sin sostenimiento es definida como el ancho del túnel o la distancia entre el frente y el sostenimiento más cercano, si esta distancia es mayor que el ancho del túnel.

La importancia del concepto del tiempo de autosostenimiento radica en que un incremento en la abertura del túnel conduce a una reducción importante del tiempo disponible para la instalación del sostenimiento.

2.2.7. Clasificación de Lauffer.

En función de ambos parámetros, clasifica en 7 tipos diferentes, ver Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Clasificación según tiempo estable.

Tipo	Longitud libre	Tiempo estable	Descripción
A	4 m	20 años	sana
B	4 m	6 meses	algo fracturada
C	3 m	1 semana	fracturada friable
D	1,5 m	5 horas	muy friable
E	0,8 m	20 minutos	de empuje inmediato
F	0,4 m	2 minutos	de empuje inmediato fuerte
G	0,15 m	10 segundos	

Fuente. Propuesta de *Lauffer* 1958.

2.2.8. Clasificación geomecánica de Bieniawski 1989.

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “*Rock Mass Rating*”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia compresiva de la roca.
- Índice de la calidad de la Roca - RQD.
- Espaciamiento de juntas.
- Condición de juntas.
- Presencia de agua.
- Corrección por orientación.

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 – 100. Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.
- Se clasifican las rocas en 5 categorías. En cada categoría se estiman los valores de la cohesión y el ángulo de fricción interna del macizo rocoso, ver Tabla 2.2.

A continuación se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación.

Tabla.2.2. Ábaco de calidad de macizo rocoso (Bieniawski 1989).

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy buena	100 - 81	> a 4 kg/cm ²	> a 45
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm ²	35 - 45
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm ²	25 - 35
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm ²	15 - 25
V	Muy mala	< a 20	< a 1 kg/cm ²	< a 15

Fuente. Ingeniería Geológica-Gonzales de Vallejo L. 2002.

2.2.9. Corrección por orientación propuesto por Bieniawski 1989.

A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de una excavación subterránea y una labor minera superficial, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son más o menos favorables con relación a la labor minera que se va ejecutar, ver Tabla 2.3. *Bieniawski* ha propuesto la siguiente clasificación:

Tabla 2.3. Corrección por orientación – *Bieniawski* 1989.

Rumbo perpendicular al eje				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0 - 20 (Independiente del rumbo)
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento				
Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	regular	Desfavorable

Fuente. *Bieniawski* 1989

2.2.10. Descripción del modelo numérico.

Según la mecánica del medio continuo, el modelo matemático se describe de una manera completa mediante las leyes de conservación y las leyes de comportamiento a las cuales se les adiciona las condiciones de frontera y las condiciones iniciales.

2.3. Definiciones conceptuales.

La definición de términos básicos, es la aclaración del sentido en que se utilizan las palabras o conceptos empleados en la identificación y formulación del problema. Consiste en dar el significado preciso y según el contexto a los conceptos principales, expresiones o variables involucradas en el problema formulado. (Tamayo, 1993).

2.3.1. Esfuerzo.

Es el conjunto de fuerzas que afectan a un cuerpo material y tienden a deformarlo, Los esfuerzos que existen en un macizo rocoso inalterado están relacionados con el peso de las capas suprayacentes y con la historia geológica del macizo. Este campo de esfuerzos se altera cuando se realiza una excavación subterránea y en muchos casos, esta alteración introduce esfuerzos suficientemente grandes que pueden sobrepasar la resistencia de la roca. En esos casos, el debilitamiento de la roca adyacente a los límites de la excavación puede llevar a la inestabilidad de ésta, manifestándose por el cierre gradual de la excavación, desprendimiento del techo y de las paredes o explosiones de rocas (*“rock burst”*). Los esfuerzos tectónicos pueden ser básicamente de tres tipos: Compresión, tracción y cizallamiento. (Páez L., 2009).

2.3.2. Compresión.

Producido por fuerzas que actúan convergentemente en una misma dirección. Como consecuencia se produce un acortamiento de la corteza. (Caballero, C. 1998).

2.3.3. Distensión (tensión, estiramiento o tracción).

Producida por fuerzas divergentes que actúan en una misma dirección. Como consecuencia se produce un estiramiento de la corteza. (Goodman R., 1980).

2.3.4. Cizallamiento.

Originado por fuerzas paralelas que actúan en sentidos opuestos.

2.3.5. Esfuerzo normal (σ).

Es la componente normal del esfuerzo, es decir la componente perpendicular al plano sobre el cual actúa el esfuerzo, (Goodman R., 1980).

2.3.6. Esfuerzo tangencial (τ).

Es la componente tangencial del esfuerzo, es decir, la componente paralela al plano sobre el que actúa el esfuerzo.

2.3.7. Deformación.

Son cambios en la forma y/o volumen que pueden experimentar las rocas. Como resultado del esfuerzo aplicado, una roca puede fracturarse o deformarse formando un plegamiento. La deformación se produce cuando la intensidad del esfuerzo es mayor que la resistencia interna de la roca.

2.3.8. Deformación unitaria normal (ϵ).

Es la deformación unitaria en la dirección de la deformación.

2.3.9. Deformación unitaria tangencial (γ).

Es la variación relativa del ángulo que forman los lados de un elemento infinitesimal o bien como la deformación por unidad de longitud, cuando la longitud sobre la que se produce la deformación es perpendicular a la dirección de la deformación que se toma.

2.3.10. Dureza.

La dureza de las rocas es el principal tipo de resistencia a superar durante la perforación, cuando se logra la penetración inicial el resto de las acciones se desarrollan más fácilmente.

2.3.11. Resistencia.

Se llama resistencia de una roca a la porosidad de oponerse a su destrucción bajo una carga exterior, estática o dinámica. (Price N., *et al.* 1994).

2.3.12. Elasticidad.

La mayoría de los minerales constituyentes de las rocas tienen un comportamiento elástico frágil, que obedece a la Ley de Hooke, y se destruyen cuando las tensiones superan el límite de la elasticidad. Según el carácter de deformación, en función de las tensiones provocadas para cargas estáticas, se consideran tres grupos de rocas. (Caballero C., 1998).

2.3.13. Plasticidad.

Como se ha indicado anteriormente, en algunas rocas, la destrucción le precede la deformación plástica. Las rocas reales se deforman consolidándose al mismo tiempo; para el aumento de la deformación plástica es necesario incrementar el esfuerzo. La plasticidad depende de la composición mineral de las rocas y disminuye con el aumento del contenido de cuarzo, feldespato y otros minerales duros. (Caballero C., 1998).

2.3.14. Abrasividad.

Capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro, en el proceso de rozamiento durante el movimiento. La dureza de los granos, la porosidad, superficies de contacto rugosas con concentraciones de tensiones locales.

2.3.15. Textura.

La textura de una roca se refiere a la estructura de los granos de minerales constituyentes de esta. Se manifiesta a través del tamaño de los granos, la forma, la porosidad, etc. Todos estos aspectos tienen una influencia significativa el tipo de rendimiento de la perforación. También influye de forma significativa el tipo de material que constituye la matriz de una roca y que une los de mineral.

2.3.16. Estructura.

Las propiedades estructurales de los macizos rocosos, tales como esquistosidad, planos de estratificación, juntas, diaclasas y fallas, así como el rumbo y el buzamiento de

estas afectan a la linealidad de los barrenos, a los rendimientos de perforación y a la estabilidad de las paredes de los taladros. (Ragan, 1987).

2.3.17. Discontinuidades en macizos rocosos.

Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa, es importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso. (Salazar E. *et al.* 2013).

2.3.18. Parámetros de las discontinuidades.

Los parámetros de descripción de las discontinuidades son diez.

2.3.19. Orientación.

Es la posición espacial y se da con el rumbo y buzamiento de la superficie de discontinuidad. Es importante ver la actitud de los bloques y fracturas para efectos de estabilidad.

2.3.20. Espaciamiento.

Es la distancia perpendicular entre dos discontinuidades de una misma familia. Debe advertirse que el espaciamiento aparente, el que muestra en superficie la roca, por regla general es mayor que el real. Se utiliza el promedio.

2.3.21. Persistencia.

Es la longitud de la traza de una discontinuidad en un afloramiento (se trabaja estadísticamente y con criterios probabilísticos como el espaciamiento).

2.3.22. Rugosidad.

Se alude a la rugosidad de la superficie y a la ondulación de la discontinuidad, pues ambos afectan la resistencia del macizo rocoso. Una alta rugosidad aumenta la resistencia a la fricción. (Salazar E., *et al.* 2013).

2.3.23. Resistencia de las paredes de la discontinuidad.

Es la resistencia a la compresión inconfiada, pues es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad. (Ramírez O. *et al* 1991).

2.3.24. Abertura.

Es la distancia perpendicular entre las paredes de las distancias de las diaclasas cuando estas no tienen relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas. (Stagg Zienkiewicz 1970).

2.3.25. Relleno.

Alude al material entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación.

2.3.26. Flujo.

Agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe por el caudal y debe evaluarse si el agua brota o no con presión. (Jaeger J.C., 1972).

2.3.27. Número de familias presentes.

Es indicativo del grado de fracturamiento del macizo y depende de la dirección y tipo de esfuerzos. El menor número de familias en un macizo es tres; también las familias presentan características distintivas, no solamente en dirección y espaciamiento sino también en condiciones de relleno, caudal e incluso edad y tipo de esfuerzos que la origina.

2.3.28. Tamaño de bloques.

El que se cuantifica con algunas metodologías específicas. Deben identificarse además los bloques críticos: aquellos que tienen tamaños finitos y posibilidad de desprenderse.

2.4. Estabilidad del macizo.

La estabilidad en el macizo rocoso pueden considerarse en: Estabilidad general y estabilidad cinemática.

2.4.1. Estabilidad general.

En un macizo rocoso se evalúa el material rocoso, el sistema de diaclasas, las condiciones del agua y las condiciones de esfuerzos. En el material rocoso se evalúa la compresión inconfiada y la resistencia a la tracción utilizando núcleo de prueba. (Coates D., 1997).

En el sistema de diaclasas se evalúan los parámetros señalados de rugosidad, separación (distancia), abertura (tamaño de bloques), rellenos, orientación (número de familias), persistencia y continuidad. En las condiciones del agua se evalúan la cantidad y los efectos del agua.

En las condiciones de esfuerzos se evalúan, en cantidad, los cambios en la masa y los cambios en la carga. Aquí es posible considerar la necesidad de estudios de sismicidad local.

2.4.2. Estabilidad cinemática.

Para evaluar la estabilidad de un bloque rígido, previendo una falla de talud en un macizo rocoso, hay que averiguar rasgos geométricos para ver el tamaño, forma y disposición de bloques o cuñas de roca, recurriendo a un análisis de estabilidad o inestabilidad cinemática.

2.4.3. Auscultación y control de túneles y galerías.

El proceso apunta a observar la dinámica de los procesos en la masa rocosa y con respecto a la galería, particularmente esfuerzos, deformaciones y degradaciones por agentes ambientales. El propósito es garantizar la estabilidad y servicio de la estructura.

2.4.4. Diseño de excavación subterránea.

El diseño de una excavación subterránea, es una estructura de gran complejidad, es la medida para el diseño de los sistemas de fortificación (sostenimiento).

El objetivo principal del diseño de los sistemas de refuerzo para las excavaciones subterráneas, es de ayudar al macizo rocoso a soportarse, es decir, está orientado a controlar la “caída de rocas” el tipo de inestabilidad que se manifiesta de varias formas. Vigilar los riesgos de accidentes a personas y equipos.

2.4.5. Diseño de sostenimiento en excavación subterránea.

El diseño de sostenimiento de una excavación subterránea es un campo especializado, el procedimiento de diseño para el sostenimiento de terrenos por lo tanto tiene que ser adaptado a cada situación ó yacimiento.

Las actividades que realiza un geomecánico son los siguientes:

- Caracterización del macizo rocoso aplicando clasificaciones geomecánicas: G.S.I., RMR, Q, etc.
- Zonificación geomecánica en excavaciones subterráneas.
- Mapeo geomecánico de exploraciones, desarrollo y explotación.
- Logueo geomecánico de testigos de perforación diamantina.
- Evaluaciones geomecánicas para el diseño de métodos de explotación en minería.
- Diseño de métodos de sostenimiento temporal y permanente.
- Elaboración de estándares y procedimientos de sostenimiento en minería.
- Geomecánica de la secuencia de explotación del minado.
- Diseño y control de calidad de sostenimiento en labores de interior mina, planificación y capacitación a personal supervisor y obrero.
- Simulaciones con programas computacionales a diseños geomecánicos: *Dips*, *Unwedge*, *Phase2*.

- Utilización de instrumentación geomecánica en minería subterránea.
- Manejo de equipos geomecánicos: Extensómetros de barra, extensómetros de cinta, martillo de *Schmidt* para la clasificación de roca, equipos de ensayos de tracción de pernos (*Pull test*).
- Geomecánica aplicando la voladura controlada.
- Geomecánica en el planeamiento de minado a corto, mediano plazo.
- Valorización mensual del sostenimiento a empresas contratistas.
- Control de Herramientas de gestión implementadas para el área de geomecánica.

2.5. Aspecto litológico local.

Los dominios lito-estructurales conceptuados en los trabajos de investigación geomecánica de campo mostrado, evidencian a nivel local la presencia de tres tipos de litología predominantes:

2.5.1. Filitas.

Estructuras rocosas, que según el cuadro tecto-estratigráfico serían la unidad litológica más antigua en el sector de interés (alcance del proyecto) y corresponderían al grupo Excélsior.

Estas rocas a nivel macroscópico muestran bandeamiento y foliación con desarrollos marcados de los cristales en una dirección, se muestran estructuralmente muy fracturadas a intensamente fracturadas como consecuencia de la intensa actividad tectónica al que ha sido expuesta.

2.5.2. Conglomerados y brechas volcánicas.

Estructuras rocosas constituidas por sedimentos continentales de coloraciones marrones y tonalidades rojizas intercaladas con clastos de rocas volcánicas y rocas calcáreas, de baja compacidad pobremente gradados. Estructuralmente se encuentra muy disturbada, se exponen en la transición entre el contacto falla Volcánico-Caliza.

2.5.3. Calizas.

Estructuras rocosas de composición calcárea, con discontinuidades que exponen rellenos de vetillas de calcita- piritita y niveles lutáceos. Estructuralmente se encuentran muy fracturadas, intensamente fracturadas a descompuestas en sectores asociados a procesos de alteración hidrotermal argilización y zonas de contacto con las rocas Volcánicas donde se han generado intensos fallamientos inversos escalonados y sobre-escurrimientos sobre el volcánico) generados por esfuerzos compresivos, (columna estratigráfica. Ver anexo D).

2.5.4. Mineralización.

La mineralización principal que rellena hidrotermalmente las estructuras es polimetálica, con mineralización económica de Zn-Pb-Ag y Cu asociados al cuarzo, piritita, magnetita y hematita. El emplazamiento del mineral económico es generalmente por impregnación hidrotermal y la mineralización es de tipo filoneo (relleno de fisuras) emplazados en los volcánicos del Grupo Mitu, Filitas del Grupo Excelsior y calizas del Grupo Pucará y por reemplazamiento (cuerpos y mantos), que se encuentran emplazado netamente en las calizas del Grupo Pucará.

2.5.5. Gravedad específica.

Es la relación entre el peso de un material y su volumen. La comparación en el sistema métrico decimal se realiza en TM/m^3 , kg/dm^3 , gr/cm^3 . Considerando la diversidad mineralógica, roca caja y contenido metálico de cada estructura mineralizada, se han realizado determinaciones individuales en el laboratorio CIMM Perú, las muestras fueron colectadas bajo la supervisión de un geólogo y mediante un procedimiento que asegura su representatividad. Las determinaciones se realizaron mediante el método de la cera, ver Tabla 2.4.

2.6. Geometría del cuerpo.

Se construye en base a la posición espacial de los canales y las intersecciones de los sondeos al cuerpo. El nivel 820 determina el límite superior y los contornos laterales están dados por interpretación geológica de los logeos diamantinos. Los sondeos tienen una disposición radial lo cual imposibilita efectuar un correcto modelamiento geométrico en 3D vía la técnica de los wireframe. El eje mayor del cuerpo 658 sigue un rumbo N50°W y buzamiento de 50-55°SW.

Tabla 2.4. Gravedad específica de muestras

Estructura	Litología	G.E. Mineral	G.E. Desmonte
Veta 658	Filita	3,52	2,97
	Caliza	3,47	2,75
	Volcánico	3,43	3,00
Veta 722	Filita	3,21	2,75
	Caliza	3,23	2,75
	Volcánico	3,28	2,90
Veta Split 658		3,44	2,77
Veta San Cristóbal	Intrusivo	3,49	2,75
	Filita	3,49	2,75
	Caliza	3,49	2,75
	Volcánico	3,39	2,86
Veta K	Intrusivo	3,49	2,67
	Caliza	3,72	2,75
	Volcánico	3,72	2,75
Cuerpo 658	Caliza	3,43	2,74

Fuente. Área de geología - Compañía Minera Volcan S.A.A.

2.7. Operaciones de minado subterráneo.

San Cristóbal es una mina subterránea en la cual se utilizan diversos equipos, forma de explotación, entre otros aspectos pero lo más importante el personal que labora ahí, la cual se tiene que cumplir normas estrictas de seguridad para su mayor eficiencia.

La Mina San Cristóbal Tiene 3 Zonas definidas de producción: Zona Lidia que produce un promedio de 920 TM/día; la Zona Alta: 1150 TM/día y la Zona Baja: 2 250 TM/día produce en promedio 4 300 TM/día con producción programada de 133 000 TM/mes. Las leyes promedio son: 5,5 % de Zn, 1,5% de Pb, 3,8 Onzas de Ag y 0,30 % de Cu. Para su concentración, los minerales son transportados a Planta Mahr Tunel ubicado en el pueblo del mismo nombre y a Planta Victoria ubicado en mina Carahuacra y en menor escala a planta de Andaychahua. El método de explotación principal es el de “Corte y Relleno Mecanizado con Relleno Detrítico e Hidráulico”. Usualmente las vetas en San Cristóbal tienen una potencia que varía de 3,5 m a 4,0 m para lo cual se realiza el método de corte y relleno ascendente normal, para ello, en el segundo Corte se hace una perforación en Breasting (cara libre) ya que el primer corte se hace con perforación en avance lineal, con taladros de alivio.

Al tener vetas que varían entre 6,0 m y 7,0 m, el procedimiento es, una vez terminado el tajo siguiendo la caja techo se recupera mineral haciendo desquinche en la caja piso, extraído el mineral, se prosigue con el relleno en retirada a medida que se desquincha. Para el caso de vetas con potencias mayores a 8,00 m, se realizan ventanas y estocadas, espaciadas según la ley del mineral, esto se realiza con perforación de avance. Para vetas entre 16,0 m y 20,0 m, se procede como Cámaras y Pilares (pilares irregulares de aproximadamente 4,0 m x 4,0 m). Un método de aplicación reciente es el Hundimiento por sub niveles cortos, el cual viene dando mejores beneficios económicos y es más seguro. Se aplica en vetas con buzamiento sobre los 65° y el RMR de roca caja entre 25 y 50. Labores para aplicación de método: Desarrollo de dos rampas de nivel a nivel separadas 300 m. Accesos horizontales de 30 metros. Ejecución de chimenea central de nivel a nivel entre rampas. Desarrollo de sub niveles en sección de 3,5 m x 3,5 m, hasta llegar al nivel superior.

2.7.1. Control de la perforación.

La perforación en mina San Cristóbal es realizada por equipos Jumbos en frentes y tajeos, Raptor Y SIMBA para Taladros largos, se realiza los siguientes controles con el objetivo de evitar errores. Ver anexo E1

- Desviación en el paralelismo de los taladros de producción o Diámetro de los taladros de cara libre (rimados).
- Espaciamiento irregular de los taladros
- Irregular longitud de los taladros
- Intersección entre taladros
- Falta de control de la dirección y gradiente de la labor.
- Falta de delimitación del contorno de la labor.

2.7.2. Control del carguío en la voladura.

Existen procedimientos para el transporte y manejo de explosivos, antes de proceder a cargar los taladros con explosivos se debe supervisar la condición de cada taladro para lo cual debe ser limpiado con aire comprimido e incluso con agua en terrenos duros, ver anexo E2 se controla para garantizar una óptima voladura:

- Control de la Densidad de carga, número de taladros por metro cuadrado, el armado y colocación de los Cebos.
- Carguío y confinamiento de la columna explosiva de acuerdo al tipo de taladro.
- Colocación correcta del taco.
- Amarre del cordón detonante con ganchos de los faneles o exceles.
- Secuencia de salida (retardos).
- Amarre de la mecha rápida y lenta (carmex).
- Coordinación para el chispeo en varias labores.

2.7.3. Aplicación de la voladura controlada.

En zona Lidia, Nivel 630 y 730 San Cristóbal el terreno es filita gris con presencia de panizados entre sus estratos cuya estructura es desde fracturado pobre (F/P) hasta muy fracturado regular a pobre (MF/R-P) las filtraciones de agua y las vibraciones inducidas por voladuras adyacentes contribuyen a la degradación de la estructura.

Para este tipo de terreno es necesario la aplicación de algún tipo de voladura controlada siendo lo más apropiado la perforación de taladros del mismo diámetro que los de producción tanto en la corona como en los hastiales tal como se observa en anexo E3 estos taladros serán llamados de alivio, no se cargarán con explosivos su función principal es crear una línea de tensión a lo largo del perímetro de la sección a fin de mantener intacta la frontera de la malla predefinida.

Como el comportamiento de la roca varía de un dominio a otro si mejora la calidad de roca en los hastiales no será necesario perforar taladros de alivio solo controlar su longitud de carga con los explosivos nominales tales como el *Exadit 65 %* ó *Exablock* de bajo *Brisance*.

Los objetivos de la voladura controlada son evitar la sobrerotura de la roca así como mantener la solidez y capacidad de autosostenimiento de la roca asimismo evitar sobre costos en la aplicación de sostenimiento y utilización de horas hombre. Para este efecto es recomendable que se realice una buena perforación a fin que todos los taladros del contorno sean paralelos al eje de la galería y posteriormente aplicar las diversas técnicas de este tipo de voladura.

Consiste en el empleo de carga explosivas lineales de baja energía colocados simultáneamente para crear y controlar la formación de una grieta continua que delimite la superficie final de un corte, se puede realizar antes (Precorte) con taladros de alivio del mismo diámetro que los de producción o después de la voladura principal (recorte) ambos

con la finalidad de crear secciones uniformes con la fragmentación requerida y el avance proyectado

2.7.4. Sostenimiento.

Los elementos de soporte más usados en esta unidad son el *Shotcrete* con fibra metálica Dramix. En el diseño de mezcla se aplica aditivos retardantes para mantener el Slum por el lento y largo recorrido hacia niveles de profundización, asimismo aditivos plastificantes para mayor reología (trabajabilidad) y acelerantes (Meyco) en caso de presencia de agua. El *shotcrete* para su función como elemento de soporte en terrenos de regular calidad debe ser asociado con pernos *split set*, *hidrabolt* ó helicoidales dependiendo del tipo de labor. En terrenos de buena calidad tipo II por ejemplo el *shotcrete* es aplicado como refuerzo ante la caída de pequeños bloques sobre todo en rampas, galerías y cruceros. En terrenos más deleznable o de mayor relajación. Ver anexo F1

El *shotcrete* es aplicado con Robots lanzadores los cuales son alimentados por *Mixer* (Hurones) de 4m³ de volumen. El relleno hidráulico es considerado también como elemento estabilizador de las cajas; los pernos son aplicados con los equipos *Boltec*.

2.8. Formulación de hipótesis.

2.8.1. Hipótesis general.

Las características geomecánicas del macizo rocoso y geometría del depósito mineral, permitirá la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

2.8.2. Hipótesis específico.

- a. Las características geomecánicas del macizo rocoso, permitirá aplicar del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

- b. La geometría del depósito mineral permitirá la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

2.8.3. Variable independiente.

Las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

2.8.4. Variable dependiente.

Método de explotación por taladros largos, considerando las características geomecánicas y la geometría del depósito mineral en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño de la investigación.

Es el que establece, qué se debe hacer para alcanzar los objetivos del estudio y para contestar las interrogantes de conocimiento que se han planteado, en un estudio pueden utilizarse uno o más diseños, utilizar más de un diseño aumenta la complejidad y los costos de la investigación. Es un plan detallado para realizar un estudio que maximice el control de los factores que podrían interferir con la validez de los hallazgos. (Arias F.G.1999),

3.1.1. Fases de la investigación.

El presente trabajo de investigación se ha realizado en nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2 progresiva 0,00 - 26,00 m de la Unidad San Cristóbal, considerado el siguiente plan detallado:

- Recolección de información de campo
- Evaluación de especímenes en laboratorio
- Consolidación de datos en gabinete
- Post proceso
- Simulación

- Diseño
- Consolidación de trabajo final

3.1.2. Método de investigación.

El presente trabajo de investigación es descriptivo aplicativo y cuasi experimental de enfoque cuantitativo, estocástico y determinístico pues se han obtenido datos de campo mediante un mapeo, que posteriormente son analizados con la aplicación de *software Dips*, además parte de los datos de campo han sido evaluados con la aplicación de diferentes fórmulas que justifica el método determinístico, los datos de laboratorio constituyen valores específicos que se utilizarán para una aplicación en un determinado momento para la solución al problema, considerando que la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández, Fernández y Baptista, 2003 p 119).

3.2. Nivel de investigación.

En los niveles de investigación puede ser considerada lo siguiente:

Descriptivo. Es la descripción del dominio estructural del macizo rocoso en una circunstancia temporal y geográfica determinada, su finalidad es describir parámetros, se describen frecuencias promedios, y procedimientos de tendencia central, se estiman parámetros con intervalos de confianza, los logros con los procedimientos estadísticos en nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2 progresiva 0,00 - 26,00 m de la Unidad San Cristóbal.

Explicativo. Explica el comportamiento de una variable en función de otra por ser estudios de causa-efecto, calidad de masa rocosa y geometría del depósito mineral para el minado.

3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población.

Población es una colección de elementos es decir es el conjunto de mediciones que se obtengan de registro lineal en el proceso de mapeo geomecánico de nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 1 y subnivel 308 - 2, propiedades físico-mecánicas tanto de la roca intacta así como del macizo rocoso, este conjunto de elementos se procesarán en el software *Dips*, *Phase2*, *roclab* para la caracterización del macizo rocoso.

3.3.2. Muestra.

Es una fracción de la población o parte de una población, está constituido por las características de las discontinuidades del macizo rocoso del nivel 920-1020, subnivel 308 -1, 308-2, el cual constituye un conjunto de unidades o elementos del mapeo geomecánico de RMR de *Bieniawski* 1989 en una evaluación estocástica de sus componentes.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo es una herramienta de la investigación científica cuya función específica es recolectar información del terreno mediante un mapeo geomecánico de detalle del nivel 920-1020, subnivel 308 1, subnivel 308-2 a subnivel 308-8.

3.3.4. Cálculo de tamaño de muestra.

De acuerdo a las características del trabajo de investigación el tamaño de muestra es igual al tamaño de la población considerando de que una progresiva es la toma de datos en un tramo determinado y todos los datos es tomado para graficar en el histograma para evaluar minuciosamente la variación de las características de discontinuidades o diaclasas. Existen dos formas de determinar el número de muestra con aplicación de fórmulas respectivas: Número muestra conociendo la población y número de muestra sin conocimiento de la población. (Arias F., 1999).

El número de muestra respecto a las discontinuidades del macizo rocoso dependerá del tamaño de la progresiva o tramo, estos datos de campo se obtendrán en el terreno conforme las características lito estructurales del macizo rocoso, las características de cada una de las discontinuidades se evalúan haciendo uso del *software Dips* con gráficos de histogramas respectivas por la cantidad total de discontinuidades en la progresiva donde no es necesario determinar el número de muestras, lo que se trata es determinar el número total de discontinuidades en una progresiva y avances respectivos. (Córdova N., 2008).

Cuando se tiene conocimiento del tamaño de muestra se puede hacer uso de la fórmula de Fisher y Navarro.

$$n = \frac{(N)(Z^2c)(P)(Q)}{D^2(N - 1) + (Z^2c)(P)(Q)}$$

Donde:

- N=Población
- Z=Nivel de confianza
- P=probabilidad de éxito
- Q=probabilidad de fracaso (Q=1-P)
- D=Precisión (error máximo permisible en términos de proporción)

3.3.5. Operacionalización de variables.

La operacionalización de las variables es definir y desintegrar la variable en sus indicadores e índices para poder efectuar las mediciones respectivas con los instrumentos más adecuados. Ver tabla 3.1

3.3.6. Técnicas y análisis de datos.

Los más apropiados en el presente trabajo de investigación son las técnicas estadísticas, la información recolectada será representada en tablas de contingencia, con

tantas entradas como indicadores tengan las variables, o también serán representadas en gráficos, cualquiera que sea su forma, los cuales se mencionarán en cada caso específico, como es el caso de *Dips* de *rocscience*.

3.3.7. Instrumentos.

Un instrumento es un recurso de que se vale el investigador, para acercarse a los fenómenos, y extraer de ellos información, dentro de cada instrumento concreto pueden distinguirse dos aspectos diferentes: forma y contenido en las técnicas de recolección que emplea.

- Equipos para mediciones insitu, brújulas
- Mapas.
- Cuestionarios
- Papelería
- Formularios
- Catálogos
- Software *Dips*.
- Software *Roclab*.

3.3.8. Análisis de datos.

El análisis de datos que se requiere en esta investigación, se realiza mediante un análisis cuantitativo, se busca describir datos y posteriormente a efectuar el análisis estadístico. Las muestras tomadas en campo, procesados en gabinete, nos proporcionaran los datos, y con estos datos obtendremos los resultados buscados de acuerdo a los objetivos en el trabajo de investigación.

Tabla 3.1. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTOS	
Características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral en veta Virginia de la unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.	Caracterización de la roca intacta	Propiedades Físicas	Densidad	Laboratorio	
			Porosidad		
			Peso específico		
			Cohesión		
			Angulo de fricción interna		
	Caracterización del macizo rocoso	Propiedades mecánicas	Resistencia compresiva uniaxial por método destructivo	Laboratorio	
			Resistencia compresiva uniaxial por método no destructivo	Esclerómetro	
			Dominio estructural del macizo rocoso	Mapeo geomecánico	Registro lineal. Software
			Índice RQD	Método de <i>Palmtron</i>	Formulas
			RMR de Bieniawski	Clasificación RMR y diseño de soporte	Abaco
	Geometría del depósito mineral en veta Virginia	GSI <i>Hoek</i> y Paul <i>Marinos</i>	Q de <i>Barton</i>	Correlación de RMR de <i>Bieniawski</i> y Q de <i>Barton</i>	Abaco
			Estructura del macizo rocoso	Abaco	
			Condición del frente	Abaco	
			GSI <i>co Rocklab</i>	Software	
			Forma		
Fundamento teórico y parámetros de elección de método de taladros largos con sistema de clasificación UBC	Condiciones de geometría del depósito y grado de distribución de leyes	Potencia	Registro de investigación geológica	Abaco	
		inclinación			
		Profundidad			
		Distribución de leyes			
Método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.	Características mecánicas de la roca	Forma - ancho	Abaco de investigación geológica		
		Grosor de la mena			
		inclinación			
		Profundidad			
		Grado de distribución			
Minado con taladros largos nivel 920 - 1020	Operaciones unitarias	Calidad del macizo rocoso en RMR	Abaco		
		Resistencia de sustancia rocosa	Software		
			costos de operación	Reporte de indicadores	

3.3.9. Instrumentación para el control del comportamiento del macizo rocoso.

La instrumentación requerida se observa utilizando las siguientes herramientas:

Extensómetro de cinta digital. Para medir las deformaciones y/o convergencia de las paredes o techos de las excavaciones subterráneas. Ver anexo G1

Martillo de Schmidt. Es un instrumento para realizar ensayos de dureza y/o resistencia de la roca, se mide mediante el rebote sobre la superficie de la estructura. Ver anexo G2

Equipo de *pull test*. Esta máquina de arranque de pernos determina la capacidad de carga o de anclaje de los pernos de roca (anclaje puntual o repartido) en un determinado macizo rocoso. Ver anexo G3

Equipo para determinar esfuerzo a de resistencia compresiva uniaxial. Ver anexo G4

3.4. Exposición de pruebas de acuerdo a hipótesis.

3.4.1. Exposición de pruebas y resultados de acuerdo a hipótesis específico 1.

Las características geomecánicas del macizo rocoso permitirá aplicar el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

3.4.2. Caracterización geomecánica de RMR de Bieniawski 1989.

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “*Rock Mass Rating*”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso en RMR básico y RMR corregido, mediante una evaluación minuciosa de las discontinuidades del macizo rocoso conformado por roca encajonante y el mineral valioso en nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 2, de Unidad San Cristóbal de Compañía Minera Volcan S.A.A.

3.4.3. Parámetros geomecánicos.

De acuerdo a RMR “*Rock Mass Rating*” de Bieniawski 1989 los parámetros son:

- Resistencia compresiva de la roca (propiedades mecánicas)

- Índice de calidad de roca *Rock Quality Designation* (RQD).
- Espaciamiento de juntas.
- Condición de juntas.
- Presencia de agua subterránea.
- Corrección por orientación de juntas.

En el presente trabajo de investigación cada uno de estos parámetros mencionados se ha evaluado en el terreno (in situ), se han cuantificado mediante una serie de parámetros asignando valores, haciendo uso del ábaco de RMR para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 – 100.

3.4.4. Objetivos de caracterización geomecánica de RMR de Bieniawski.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso con un valor numérico (Caracterización de masa rocosa).
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga (familias).
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

3.4.5. Caracterización de roca intacta.

Se refiere a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

3.4.6. Propiedades físicas.

Las rocas, y minerales son sustancias heterogéneas caracterizadas por amplios rangos de variación composicional, textural y estructural. Esta variabilidad hace que las propiedades de los materiales, que son las que dictan sus campos de aplicación, sean también variables. Dentro de las propiedades físicas se incluyen densidad, porosidad, permeabilidad

a líquidos y gases, capacidad calorífica, conductividad y expansión térmica, etc. Entre las propiedades químicas pueden incluirse la resistencia a soluciones ácidas y alcalinas, y a las reacciones inducidas por la presencia de sales. Las propiedades mecánicas incluyen la resistencia a la compresión, tensión, flexión e impacto y penetración por otro cuerpo y por otras acciones que involucran la generación de fuerzas, como la cristalización de hielo y sales en el interior del sistema poroso de los materiales y los cambios volumétricos de los mismos debidos a cambios de temperatura. Ver anexo H1, anexo H2, anexo H4.

3.4.7. Propiedades mecánicas resistencia compresiva uniaxial en laboratorio.

Los resultados de los ensayos de 5 testigos de roca se observa en anexo H3.

3.4.8. Resistencia compresiva uniaxial de macizo rocoso (esclerómetro).

Para obtener la información de valores k se ha hecho uso del esclerómetro conforme se observa en Tabla 3.2, para obtener la resistencia compresiva uniaxial se requiere valores de densidad y peso específico de la muestra los que han sido determinados en laboratorio de núcleos provenientes de nivel 920-1020, subnivel 308-2 progresiva 00,00-26,00 m.

Tabla 3.2. Valores de k con esclerómetro nivel 920-1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m.

Valores de k con esclerómetro Nivel 920 - 1020, SN 308 - 2, progresiva 00,00 – 26,00 m.	
Sentido horizontal - Hastial derecho	
N°	Progresiva 0 - 26 m.
1	42
2	41
3	38
4	32
5	44
6	46
7	40
8	38
Promedio	40,125

Fuente: Volcan.

Tipo de roca: Filita silisificada

Pe = Peso específico.

$$Pe = D (g) = 2,45 (9,8 \text{ m/s}^2) = 24,01 \text{ KN/m}^3.$$

$$\sigma_c = 10^{(0,00088)(Pe)(Ir)+1,01}$$

Donde:

σ_c = Resistencia compresiva uniaxial (RCU).

Ir (Índice de rebote de martillo promedio horizontal) = 40,125

Pe (peso específico) = 24,01 KN/m³

$$\sigma_c = 10^{(0,00088)(24,01)(40,125)+1,01}$$

$$\sigma_c = 10^{0,8477431+1,01}$$

$$\sigma_c = 10^{1,8577}$$

$$\sigma_c = 72,06 \text{ MPa}$$

3.4.9. Resistencia compresiva uniaxial de veta Virginia (esclerómetro).

Para el obtener la información de valores k se ha hecho uso del esclerómetro conforme se observa en Tabla 4.6, para obtener la resistencia compresiva uniaxial se requiere valores de densidad y peso específico de la muestra los que han sido determinados en laboratorio de núcleos provenientes de nivel 920-1020, subnivel 308-2 progresiva 00,00-26,00 m. Ver Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Valores de k con esclerómetro nivel 920-1020, subnivel 308-2, zona de veta Virginia.

Valores de k con esclerómetro nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, zona veta Virginia	
Sentido horizontal - veta Virginia	
N°	Veta Virginia
1	37
2	40
3	41
4	39
5	36
6	38
7	35
8	40
Promedio	37

Fuente: Volcan.

Tipo de roca = Veta Virginia (mineral)

D= Densidad.

Pe=Peso específico.

$$Pe = D (g) = 3,02 (9,8 \text{ m/s}^2) = 29,596 \text{ KN/m}^3.$$

$$\sigma_c = 10^{(0,00088)(Pe)(Ir)+1,01}$$

Donde:

σ_c = Resistencia compresiva uniaxial (RCU).

Ir (Índice de rebote de martillo promedio horizontal)= 37

Pe (peso específico) = 29,596 KN/m³

$$\sigma_c = 10^{(0,00088)(29,596)(37)+1,01}$$

$$\sigma_c = 10^{0,964+1,01}$$

$$\sigma_c = 10^{1,974}$$

$$\sigma_c = 94,19 \text{ MPa}$$

3.4.10. Mapeo geomecánico nivel 920-1020, subnivel 308-2 Progresiva 00,00-26,00

m.

Según Mamani (2017), Es la representación de las características de la estructura del macizo rocoso en un plano topográfico y geológico, local y regional, Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin duda, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada en un mapeo geomecánico. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (*Palmstrom, 1998*).

Se ha realizado un mapeo geomecánico pormenorizado de las discontinuidades en donde se ha tomado en cuenta las características geológicas y geomecánicas, secuencia de mapeo propuestas en Figura 4.1 y Figura 4.2, en nivel 920-1020, subnivel 308-2 Progresiva 00,00-26,00 m. de la Unidad San Cristóbal.

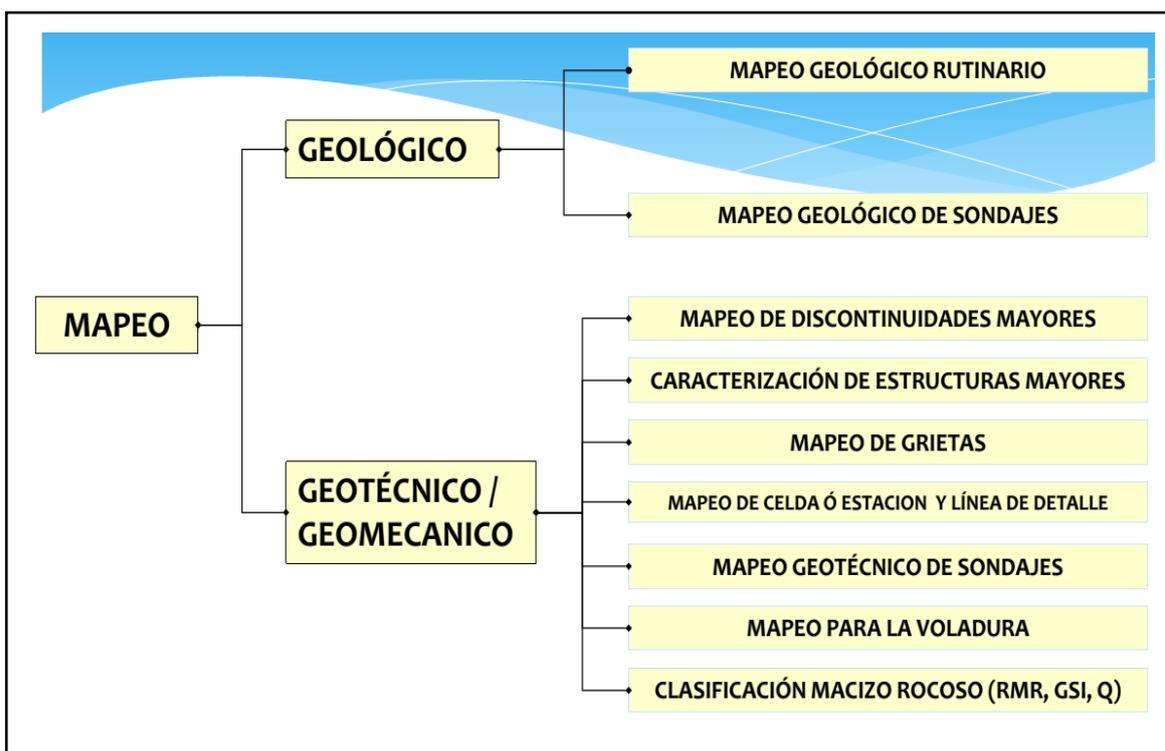


Figura 3.1. Tipos de mapeos
Fuente. Mapeo geomecánico - Mamani 2017.



Figura 3.2. Secuencias de mapeo.
Fuente. Mapeo geomecánico - Mamani 2017.

3.4.11. Objetivos del mapeo nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2 Progresiva 00,00 - 26,00 m.

El objetivo es determinar el modelo geológico de la mina (litología, mineralización, distribución, otros parámetros), mediante el mapeo de discontinuidades.

- Modelo de discontinuidades mayores
- Recomendaciones para voladura
- Clasificar el macizo rocoso
- Identificar en detalle una geometría o volumen (ej. una cuña)
- Complementar información acerca de un aspecto geológico relevante para un proyecto, patrón estructural, desviación de una falla mayor (en rumbo o manteo), profundidad de una zona de suelo, zona de quebrada, etc.)

3.4.12. Caracterización de macizo rocoso.

Dentro de la caracterización del macizo rocoso algunos de estos parámetros, como la rugosidad, resistencia de las paredes, apertura y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades. (Ferrer, M. *et al.*, 1999). La caracterización geológica debe permitir no solo definir la geometría de subsuperficie, en lo relacionado con los contactos entre los diversos entes geológicos, sino también permitir una definición de los distintos tipos de unidades geotécnicas básicas que aparecen en el área de interés.

3.4.13. Análisis estructural con brújula.

El análisis estructural, procura representar la orientación espacial de las diferentes estructuras geológicas, El objetivo principal de hacer un levantamiento geotécnico, con datos geológicos y estructurales, de las estructuras presentes en el macizo rocoso, es obtener información de la orientación de todas las estructuras geológicas como fallas, juntas, diques, discontinuidades, grietas de tracción, entre otras. Ver anexo H5

3.4.14. Descripción cuantitativa.

Los métodos sugeridos por la *International Society for Rock Mechanics* (ISRM), para la descripción cuantitativa de discontinuidades en macizos rocosos se reseñan 10 parámetros que es preciso describir para lograr este tipo de caracterización.

- Número de familias o sistemas de estructuras que aparecen en el macizo rocoso.
- Orientación de cada familia (definida por valores característicos del buzamiento y de la dirección de buzamiento).
- Espaciamiento entre estructuras de una misma familia o set estructural (puede ser verdadero si se mide en la dirección normal al plano de las estructuras, o aparente si se mide en otra dirección).
- Persistencia o extensión de las estructuras de cada familia de discontinuidad.
- Rugosidad de las estructuras de cada familia.
- Apertura (estructuras abiertas) o potencia (estructuras selladas) de las estructuras de cada familia.
- Tipo de relleno presente en las estructuras de cada familia.

3.4.15. Orientación de familias de discontinuidades.

La orientación de las discontinuidades es el primer factor geológico que influye en dominio estructural, la terminología recomendada para los datos de orientación de discontinuidades es el buzamiento y dirección de buzamiento, la orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de ingeniería condiciona la presencia de inestabilidades y roturas a su favor. La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Su medida

se realiza mediante la brújula con clinómetro. Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un sistema o familia.

3.4.16. Clasificaciones geomecánicas de macizo rocoso.

Para definir las condiciones del macizo rocoso existen criterios de clasificación geomecánica ampliamente difundidos en todo el mundo, como los desarrollados por *Barton* y colaboradores (1974), *Laubscher* (1977), *Bieniawski* (1989), *Hoek* y *Marinos* (2000) y otros. Por su simplicidad y utilidad, están los criterios RMR (calidad de la masa rocosa) de *Bieniawski* (1989) y GSI (Índice de Resistencia Geológica) de *Hoek* y *Marinos* (2000). Ver anexo I1, anexo I2, anexo I3, anexo I4.

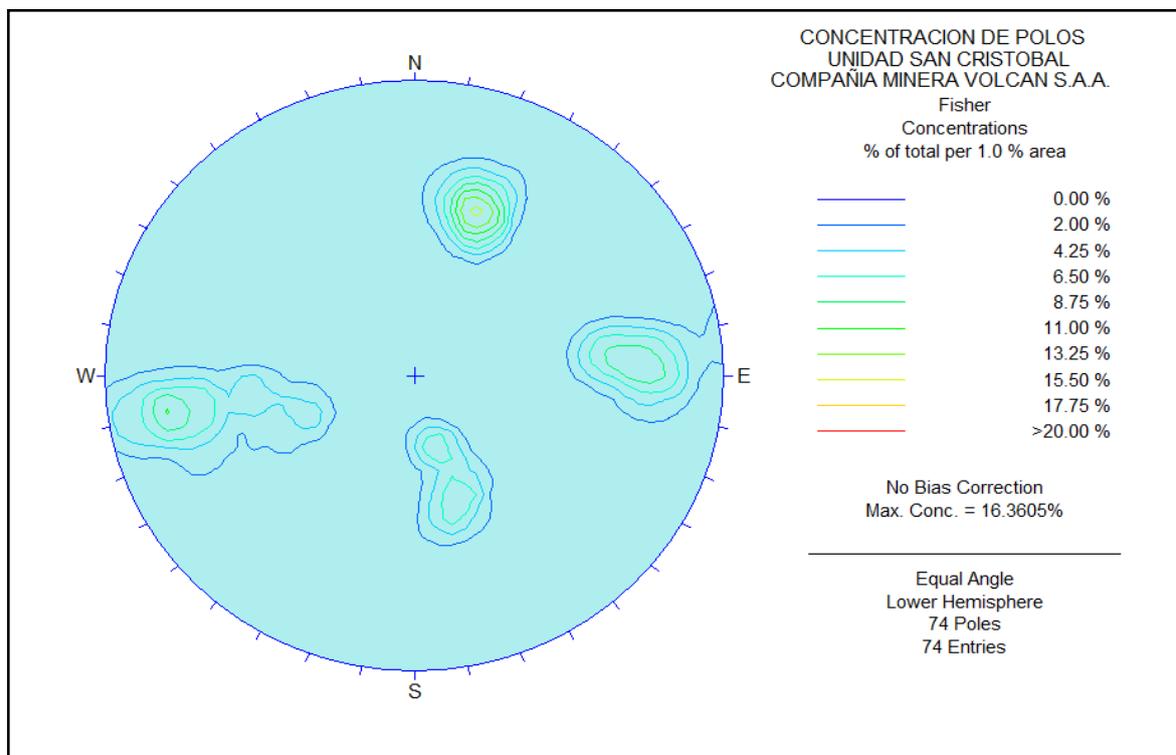


Figura 3.3. Densidad de polos nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m

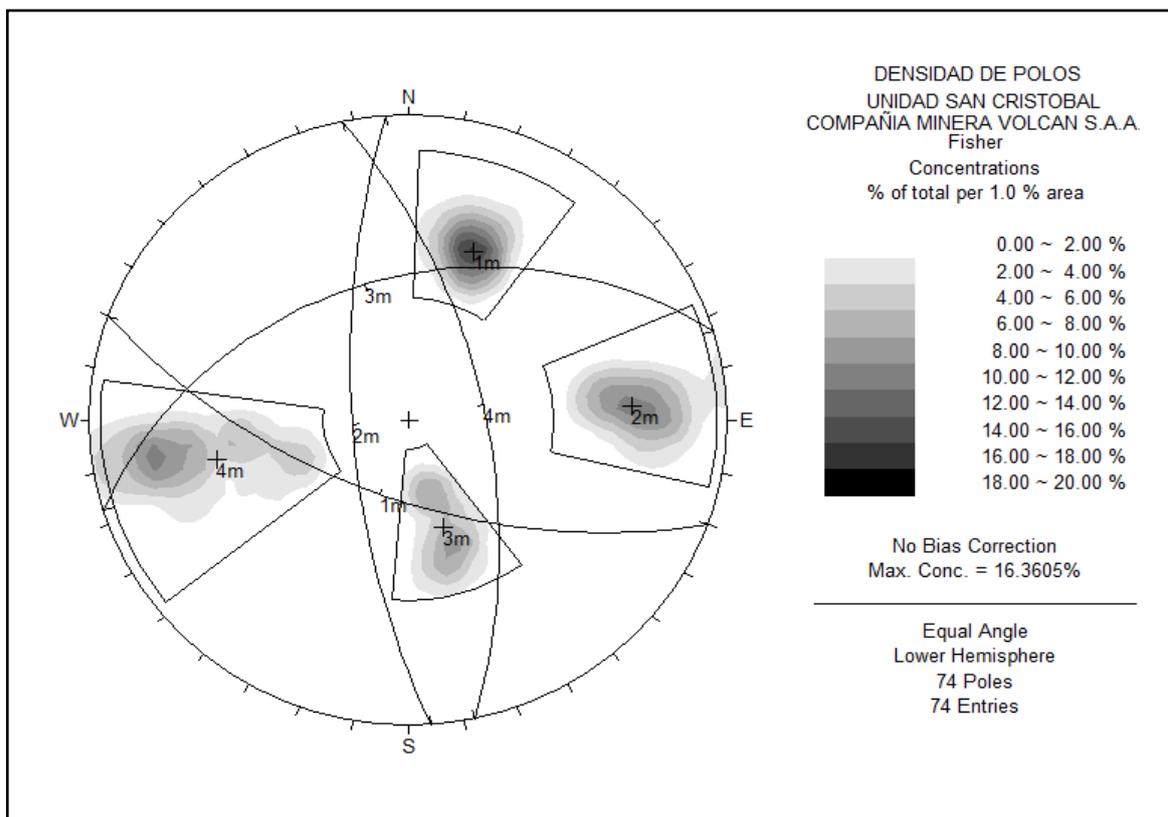


Figura 3.4: Densidad de polos y planos

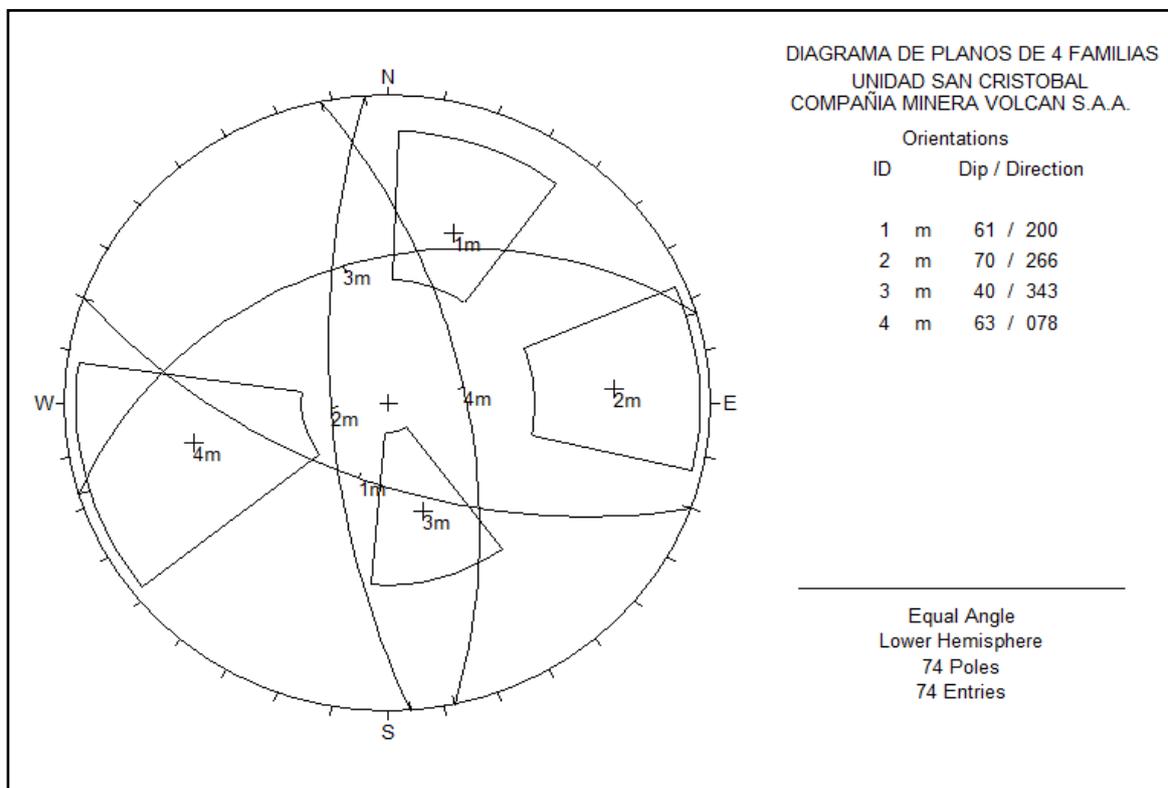


Figura 3.5. Diagrama de planos nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00-26.00 m.

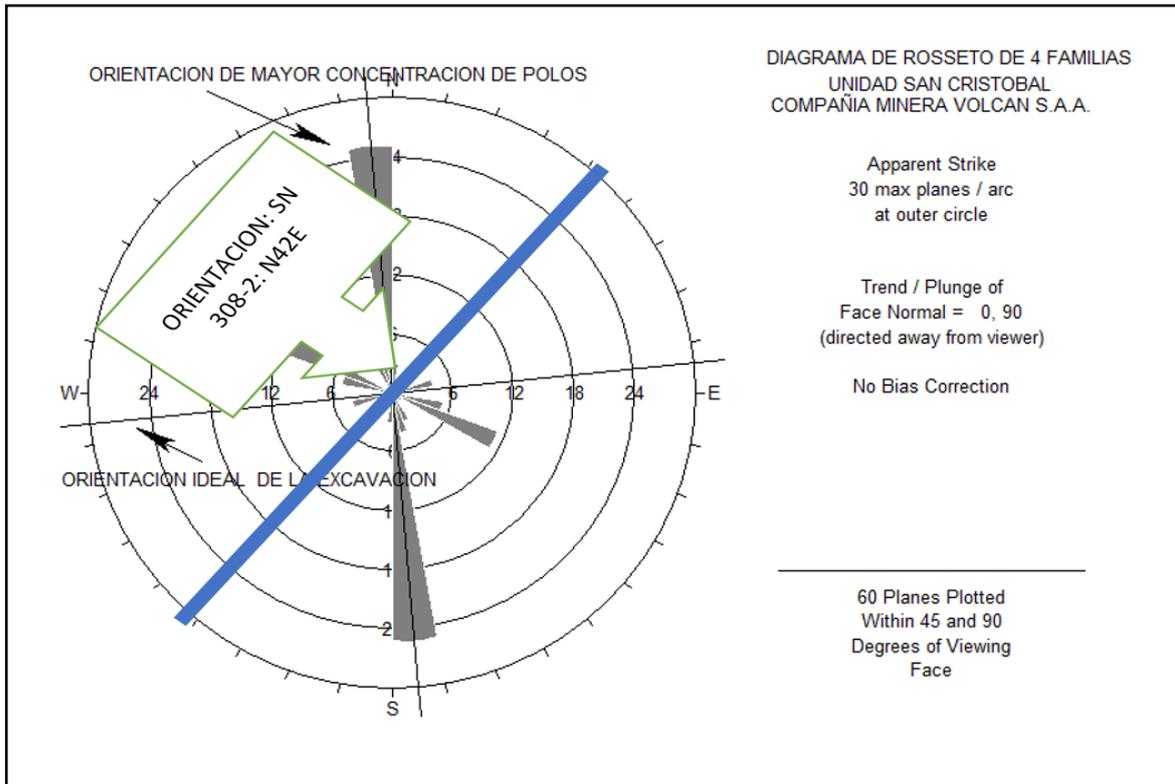


Figura 3.6. Diagrama de rosseto nivel. 920 – 1020 subnivel 308 – 2, progresiva 00,00 – 26,00m.

3.4.17. Índice de la calidad de roca RQD (Rock Quality Designation).

El Índice RQD (*Rock Quality Designation*), se ha calculado haciendo uso de la fórmula propuesto por *Palmstrom* (1982). El RQD puede ser calculado en base al número de diaclasas por m³. La siguiente fórmula puede ser usada cuando se tiene las diaclasas por metro lineal (*Palmstrom*, 1982).

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

J_v = Número de discontinuidades por metro cúbico

$$J_v = 14 \text{ Discontinuidades por m}^3$$

$$RQD (\%) = 115 - 3,3 (14)$$

$$RQD (\%) = 115 - 46,2$$

$$RQD (\%) = 68,8 \%$$

Tabla 3.4. Valuación de calidad de roca según RQD (*Deere et al.*, 1970)

RQD (%)	Calidad de roca
<25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Fuente: ISRM-1982

En la zona de estudio nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m, la alteración de las rocas encajonantes varía de acuerdo al tipo de roca y de mineralización. En las filitas, la alteración consiste, de la veta hacia afuera, de una zona de silicificación, de caolinización y/o sericitización y finalmente cloritización. Diseminación de piritita ocurre entremezclada con todos los tipos de alteración. En los volcánicos, la zona de silicificación es reducido y la zona de caolinización alcanza escasos metros, mientras que la zona de cloritización hacia el contacto con las filitas decenas de metros.

3.4.18. Determinación de RMR con resistencia compresiva uniaxial (RCU) de laboratorio nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m

La clasificación geomecánica *Rock Mas Rating* (RMR), considerada como clasificación por método empírico, también conocida como clasificación geomecánica de *Bieniawski*, fue presentada por el Ingeniero *Bieniawski* en 1973 y modificada en 1989, permiten hacer una evaluación minuciosa de la litología estructural del macizo rocoso en el terreno de afloramiento y excavaciones subterráneas respectivas y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de una excavación, conocido como tiempo de auto soporte, conforme se describen y se detallan en las investigaciones realizados por *Z.T. Bieniawski* el investigador ha tomado en consideración la propuesta de *Lauffer* para incorporarlo el RMR para estimar el tiempo de auto soporte sea más adecuado a las excavaciones subterráneas especialmente en la actividad minera subterránea, con la determinación de RMR de *Bieniawski* se estiman la calidad del macizo rocoso. El *Rock Mass Rating* (RMR), permite

determinar la calidad del macizo rocoso para múltiples usos, hacer una caracterización del macizo rocoso, estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano (longitud sin soporte), El RMR tiene seis parámetros que permiten clasificar al macizo rocoso de manera más detallada los que se han aplicado en la determinación de la calidad del macizo rocoso en nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m

- Resistencia compresiva uniaxial del material rocoso.
- Designación de la calidad de la roca (RQD).
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones del agua subterránea.
- Descuento por orientación de las discontinuidades.

Tabla 3.5. RMR básico y RMR corregido- nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m

RMR básico y RMR corregido - nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2 progresiva 00.00 - 26.00		
Parámetro	Resultados cuantitativos	Valoración
Resistencia compresiva uniaxial (Mpa)	62,15 Mpa	7
RQD	68,80%	13
Espaciado	200 - 600mm	10
Persistencia	10 - 20m	1
Apertura	Ang. 0,1 – 1,0mm	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	suave <5mm	2
Meteorización	Ligeramente rugosa	5
Agua subterránea	Seco	15
RMR básico		59
Ajuste por orientación de discontinuidades		-5
RMR corregido		54

Tabla.3.6. Ábaco de clase y calidad (Bieniawski 1989)

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy bueno	Bueno	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Clase	I	II	III	IV	V
tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15m de vano	6 meses con 8m de vano	1 semana con 5m de vano	10 horas con 2.5m de vano	30 minutos con 1m de vano
Cohesión	> 300 kg-Pa	200-300 kg-Pa	150-200 kg-Pa	100-150 kg-pa	< 100 kg-pa
Angulo de rozamiento	> 45°	40 - 45°	35 - 40°	30 - 35°	< 30°

Fuente. Ingeniería Geológica - Gonzales de Vallejo L. 2002.

3.4.19. Descripción de características de masa rocosa en nivel 920-1020, subnivel 308-2.

La descripción y caracterización de los macizo rocosos en afloramiento es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo es el conocimiento de las propiedades y características de macizo rocoso. El desarrollo de los trabajos Nivel 920-1020, SN308-2, ha permitido obtener información necesaria para evaluar el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos, la caracterización de los macizos rocosos una tarea compleja en el descuento por orientación de RMR básico y obtener el RMR corregido. Considerando la propuesta de *Bieniawski* 1989, La corrección por orientación va de acuerdo a la orientación de la construcción de excavación a realizarse, en la propuesta se considera avance en contra el buzamiento, ver Tabla 4.10.

Tabla 3.7. Corrección por orientación propuesto por *Bieniawski* 1989.

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE Nivel 920-1020 SN 308-2				RUMBO PARALELO AL EJE DE Nivel 920-1020 SN 308-2		BUZAMIENTO 0-20° (Independiente del Rumbo)
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 -45°	Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 - 45°	Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 - 45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: *Bieniawski* 1989.

3.4.20. Rumbo perpendicular al eje de subnivel 308-2 nivel 920-1020.

La orientación de las discontinuidades es aproximadamente perpendicular a la dirección de subnivel 308 - 2, en progresiva 00,00 - 26,00 m, de acuerdo a los resultados estadísticos de discontinuidades en el diagrama de rosseto la excavación se realiza en condiciones medias o regular considerando que el avance se realiza en contra del buzamiento. A partir de esta valoración se obtiene el RMR corregido, Por las características de la construcción el valor de 5 este valor es sumado algebraicamente y se obtiene:

- RMR corregido: $59 - 5 = 54$
- RMR corregido = 54

Tabla.3.8. Calidad del macizo rocoso con RCU de laboratorio MRP servicios especializados.

RMR Calidad del macizo rocoso con RCU laboratorio MRP servicios especializados	
Categoría	III
Descripción	Media o regular
Tiempo de auto soporte	1 semana
Longitud (tramo)	5,00m de vano
Cohesión	200-300 Kpa
Angulo de fricción interna	25 - 35°

Tabla 3.9. Calidad del macizo rocoso y mena en sistema de vetas Virginia.

GSI					
Estructura	C. piso	C. techo	Veta	Calidad	Sostenimiento
Veta 722	41	41	24	Regular-Pobre	Shotcrete, pernos
Split 658	29	29	18	Mala	Shotcrete, pernos
Veta 658	36	36	28	Regular-Pobre	Shotcrete, pernos
Lidia	40	40	40	Mala	Shotcrete, pernos
RMR					
Estructura	C. piso	C. techo	Veta	Calidad	Sostenimiento
Veta 722	46	46	29	Regular-Mala	Shotcrete, pernos
Split 658	34	34	23	Mala	Shotcrete, pernos
Veta 658	41	41	33	Regular-Mala	Shotcrete, pernos
Lidia	35	35	35	Mala	Shotcrete, pernos
Q					
Estructura	C. piso	C. techo	Veta	Calidad	Sostenimiento
Veta 722	3.75	3.75	0.62	Mala	Shotcrete, pernos
Split 658	2.72	2.72	1.98	Mala	Shotcrete, pernos
Veta 658	5	5	2.5	Mala-Regular	Shotcrete, pernos
Lidia	1.38	1.38	1.38	Mala	Shotcrete, pernos

Fuente. Área geomecánica. Unidad San Cristóbal Compañía Minera Volcan S.A.A.

Tabla.3.10. RMR de macizo rocoso y mena en veta Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7.

Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
	C. Piso	C. Techo		
subnivel 308-1	51	51	30	Regular
subnivel 308-1	54	54	29	Regular
subnivel 308-2	47	47	35(Mala)	Regular
subnivel 308-2	47	47	41	Regular
subnivel 308-3	40	40	31	Regular
subnivel 308-3	38	38	36	Mala
subnivel 308-4	41	41	39	Regular
subnivel 308-5	39	39	32	Mala
subnivel 308-6	48	48	37	Regular
subnivel 308-7	52	52	33	Regular
máximo	54	54	41	Regular
mínimo	38	38	29	Mala

Teniendo RMR de *Bieniawsky* (1989) de macizo rocoso y mena, veta Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7 el GSI y el índice Q de Barton se ha obtenido por Correlación, ver Tabla 4.14 y Tabla 4.15.

- $RMR = 9 \ln Q + 44$
- $GSI = RMR - 5$ (para $RMR > 23$)

Tabla 3.11. GSI de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7.

Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
	C. Piso	C. Techo		
subnivel 308-1	46	46	25	Regular
subnivel 308-1	49	49	24	Regular
subnivel 308-2	42	42	30(mala)	Regular
subnivel 308-2	42	42	36	Regular
subnivel 308-3	35	35	26	Regular
subnivel 308-3	33	33	31	Mala
subnivel 308-4	36	36	34	Regular
subnivel 308-5	34	34	27	Mala
subnivel 308-6	43	43	32	Regular
subnivel 308-7	47	47	28	Regular
máximo	49	49	36	Regular
mínimo	33	33	24	Mala

Tabla 3.12. Q de Barton de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7.

Indice Q del macizo rocoso y mena en veta Virginia Nivel920 - 1020 SN 308-1, SN 308-7				
Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
	C. Piso	C. Techo		
subnivel 308-1	2,176	2,176	0,211	Regular
subnivel 308-1	3,038	3,038	0,188	Regular
subnivel 308-2	1,396	1,396	0,368(Mala)	Regular
subnivel 308-2	1,396	1,396	0,741	Regular
subnivel 308-3	0,641	0,641	0,236	Regular
subnivel 308-3	0,513	0,513	0,411	Mala
subnivel 308-4	0,717	0,717	0,574	Regular
subnivel 308-5	0,574	0,574	0,264	Mala
subnivel 308-6	1,559	1,559	0,459	Regular
subnivel 308-7	2,432	2,432	0,295	Regular
máximo	3,038	3,038	0,741	Regular
mínimo	0,513	0,513	0,188	Mala

3.5. Exposición de pruebas de acuerdo a hipótesis específico 2.

La geometría del depósito mineral, permitirá aplicar del método de minado por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.

3.5.1. Características geométricas del depósito mineral nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, 308 - 8.

El rumbo de la veta varía de N 31 E y N 53 E y el buzamiento es de 59° y 75° Sur Este; con una potencia promedio de 3,00 m en nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 1, 308-8, que es de mayor reconocimiento con tendencia a incrementar en profundidad.

De acuerdo a las evidencias geológicas es una estructura definida con mineralización de ZnS, PbS, Tetrahedrita, Py, Qz, CO₃, marcasita, bornita estos minerales se encuentran formando bandas, ver Tabla 4.16

Tabla 3.13. Estructura litológica de la veta Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1,308-8.

Estructura litológica de veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-1, 308-8				
Estación	Rumbo	Buzamiento	Buzamiento/Dirección de buzamiento	Zona: nivel 920-1020 (subnivel)
1	N42°E	66°SE	42/132	subnivel 308-1
2	N45°E	65°SE	45/135	subnivel 308-1
3	N40°E	68°SE	40/130	subnivel 308-1
4	N36°E	63°SE	36/126	subnivel 308-2
5	N32°E	62°SE	32/122	subnivel 308-2
6	N34°E	61°SE	34/124	subnivel 308-2
7	N33°E	72°SE	33/123	subnivel 308-2
8	N47°E	71°SE	47/137	subnivel 308-3
9	N46°E	70°SE	46/136	subnivel 308-3
10	N41°E	69°SE	41/131	subnivel 308-3
11	N48°E	58°SE	48/138	subnivel 308-3
12	N50°E	73°SE	50/140	subnivel 308-4
13	N52°E	72°SE	52/142	subnivel 308-5
14	N53°E	75°SE	53/143	subnivel 308-6
15	N51°E	74°SE	51/141	subnivel 308-7
16	N35°E	64°SE	35/125	subnivel 308-7
17	N31°E	59°SE	31/121	subnivel 308-8
18	N39°E	67°SE	39/129	subnivel 308-8
Máximo	N53°E	75°SE	53/142	
Mínimo	N31°E	59°SE	31/121	
Dirección de excavación	N42°E nivel 920 - 1020 subnivel 308-2			

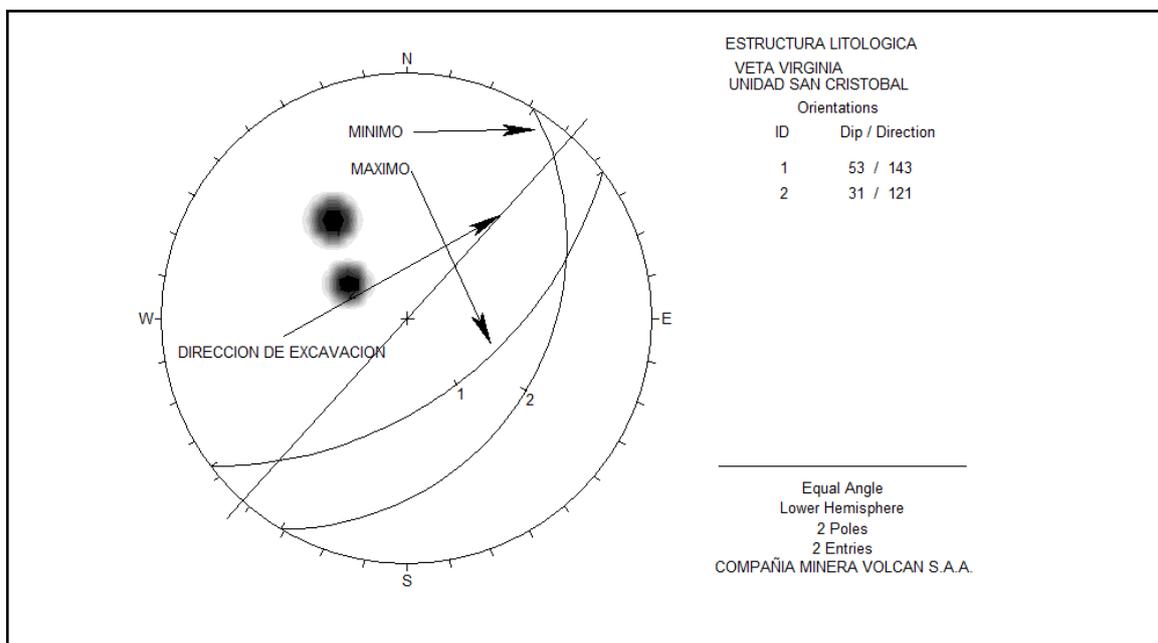


Figura 3.7. Estructura litológica de veta Virginia - Unidad San Cristóbal.

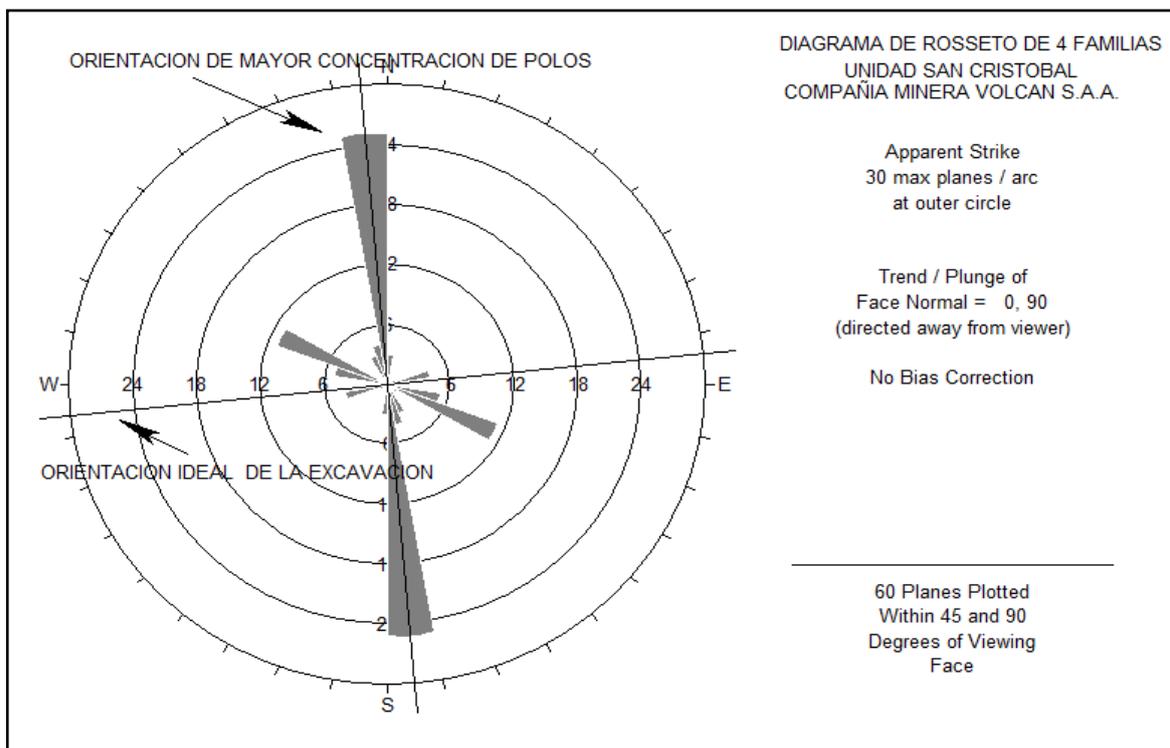


Figura: 3.8. Concentración de polos en diagrama de Rosseto – Unidad San Cristóbal

Tabla 3.14. Potencia promedio en sistema de vetas Virginia nivel 920-1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7.

Potencia promedio en veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308-1, subnivel 308-7				
Estación	Progresiva (m)	Potencia de la veta (m)	Nivel 920 - 1020	Observación
1	15	2,82	subnivel 308-1	Contacto definido en caja techo
2	25	2,97	subnivel 308-1	Contacto definido en caja techo
3	28	3,1	subnivel 308-2	Contacto definido en caja piso
4	30	3,12	subnivel 308-2	Contacto definido en caja piso
5	33	3,06	subnivel 308-3	Contacto definido parcial en ambas cajas
6	35	2,98	subnivel 308-3	Contacto definido con alteraciones
7	38	3,03	subnivel 308-4	Contacto definido con alteraciones
8	40	2,76	subnivel 308-5	Contacto definido y parcialmente alterada
9	42	3,14	subnivel 308-6	Contacto definido en caja piso
10	44	3,19	subnivel 308-7	Contacto definido en caja piso
Promedio		3,017		
Ancho de minado		3,80 – 4,00 m		

3.5.2. Resistencia de la sustancia rocosa (RSR) en subnivel 308-2 para método UBC.

Para determinar la resistencia de la sustancia rocosa se requiere el esfuerzo principal mayor del macizo rocoso y de la mena a una profundidad aproximada de 800 m donde se ubica el subnivel 308-2 en el Nivel 920-1020.

3.5.3. Esfuerzo vertical (σ_1).

Según Rodríguez, (2015), Los esfuerzos principales en las labores mineras subterráneas se obtienen de las medidas in situ es decir con mediciones de convergencia, el área de geomecánica de Unidad San Cristóbal no cuenta con instrumentos para mediciones de convergencia para determinar los esfuerzos principales en in situ por lo que se ha utilizado el método indirecto haciendo uso de software *roclab* para una profundidad aproximada de 800 m que se encuentra el nivel 920-1020, subnivel 308-2.

3.5.4. Determinación de esfuerzo vertical (σ_1) de macizo rocoso a una profundidad de 800 m. con software *Roclab 1.0*.

Datos:

- RMR= 47
- GSI = 42
- Tipo de roca= Filita.
- RCU= 72,06 MPa (método no destructivo).

Con la aplicación del software *Roclab* es posible obtener los esfuerzos principales mayores y menores, esfuerzo cortante y esfuerzo normal del macizo rocoso. Ver anexo I5, figura 4.9, figura 4.10, figura 4.11, figura 4.12.

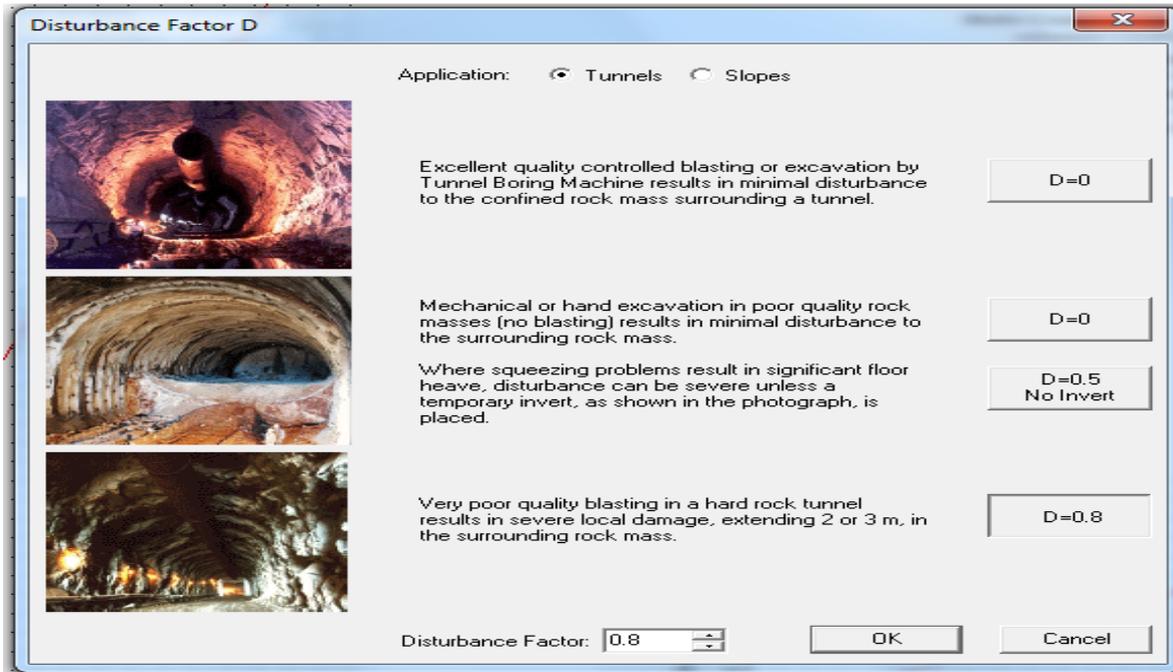


Figura 3.9. Disturbancia para masa rocosa en nivel 920-1020, subnivel 308-1, subnivel 308-2.

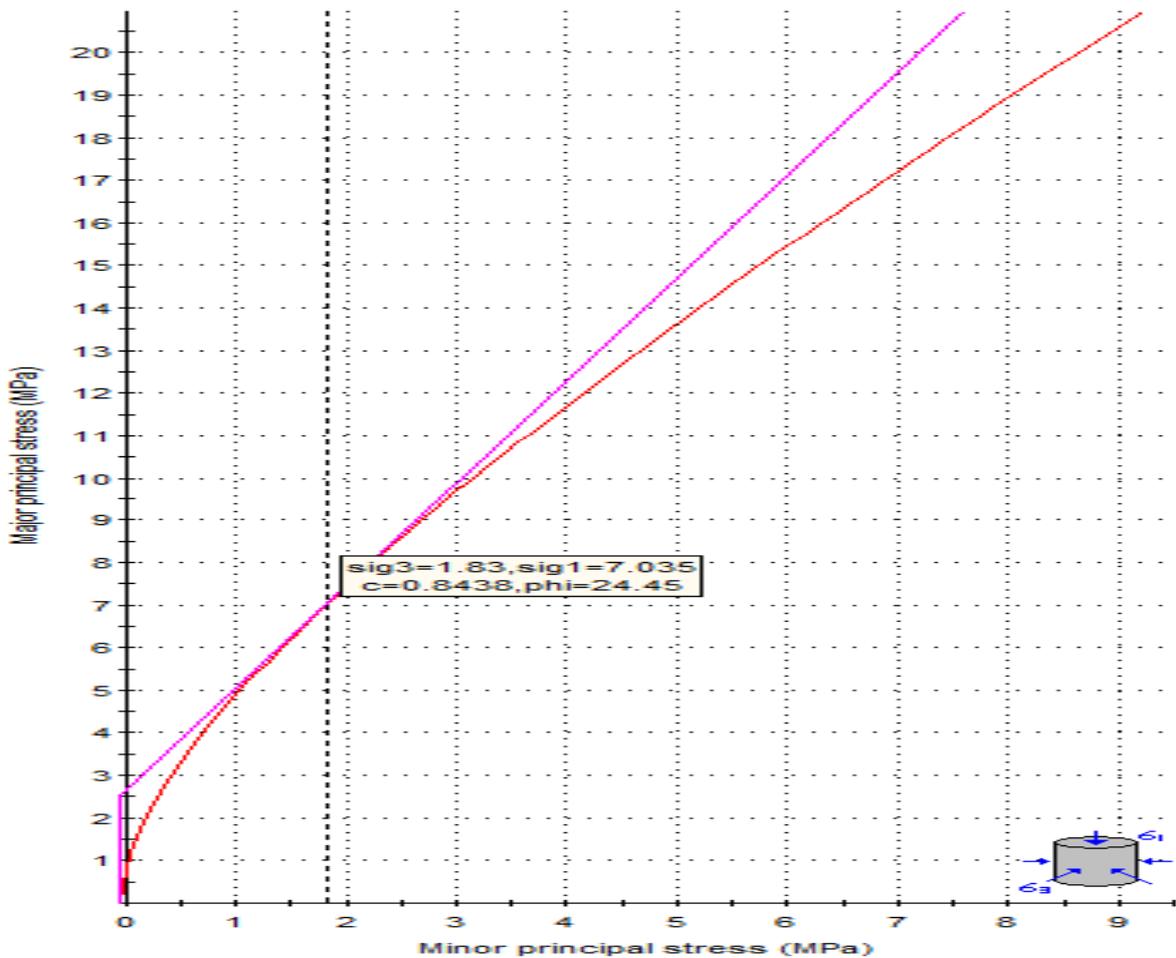


Figura 3.10. Esfuerzo principal mayor y menor - nivel 920-1020, subnivel 308-1, subnivel308-2



Figura 3.11. Resultados de los esfuerzos en profundidad de 800 m. con software roclab de masa rocosa.

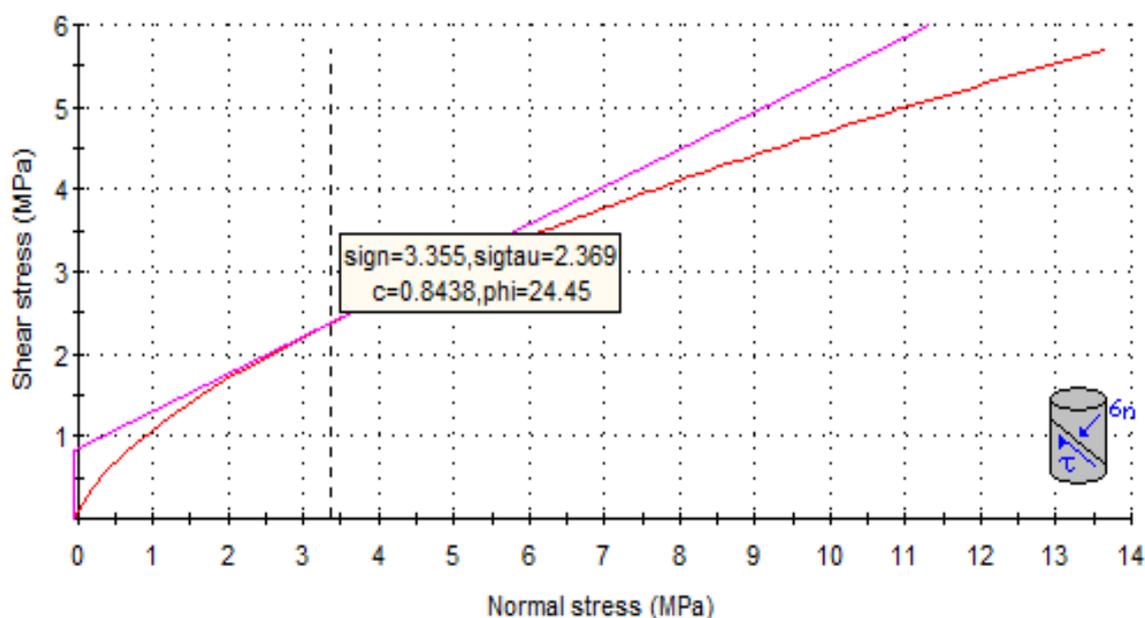


Figura 3.12. Valores de esfuerzo normal y esfuerzo de corte con roclab de masa rocosa.

Resistencia de masa rocosa (sustancia rocosa-UBC).

$$RSS = [72.06 \text{ MPa (método no destructivo)}] / [7.035(\text{Sigma } 1)]$$

$$RSS = 10.24$$

RSS = Moderado (M).

3.5.5. Determinación de esfuerzo vertical (σ_1) de veta Virginia a una profundidad de 800 m. con *Software Roclab 1.0*.

Datos:

RMR= 41

GSI = 36

Tipo de roca= Veta Virginia

RCU= 94.19 MPa (método no destructivo).

Ver anexo I6, figura 4.13, figura 4.14, figura 4.15, figura 4.16.

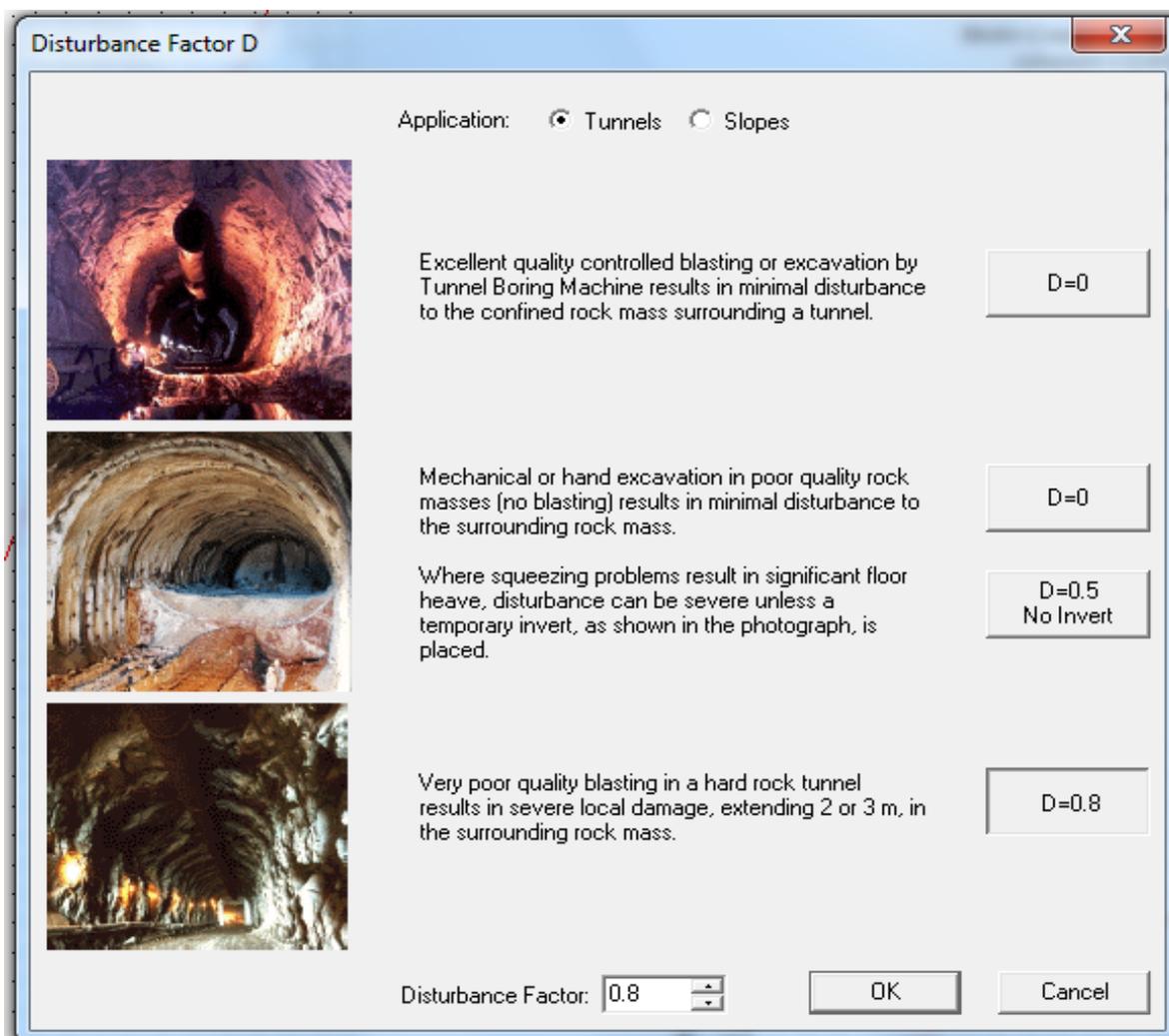


Figura 3.13. Disturbancia para veta Virginia en nivel 920-1020, subnivel 308-1, subnivel 308-2.

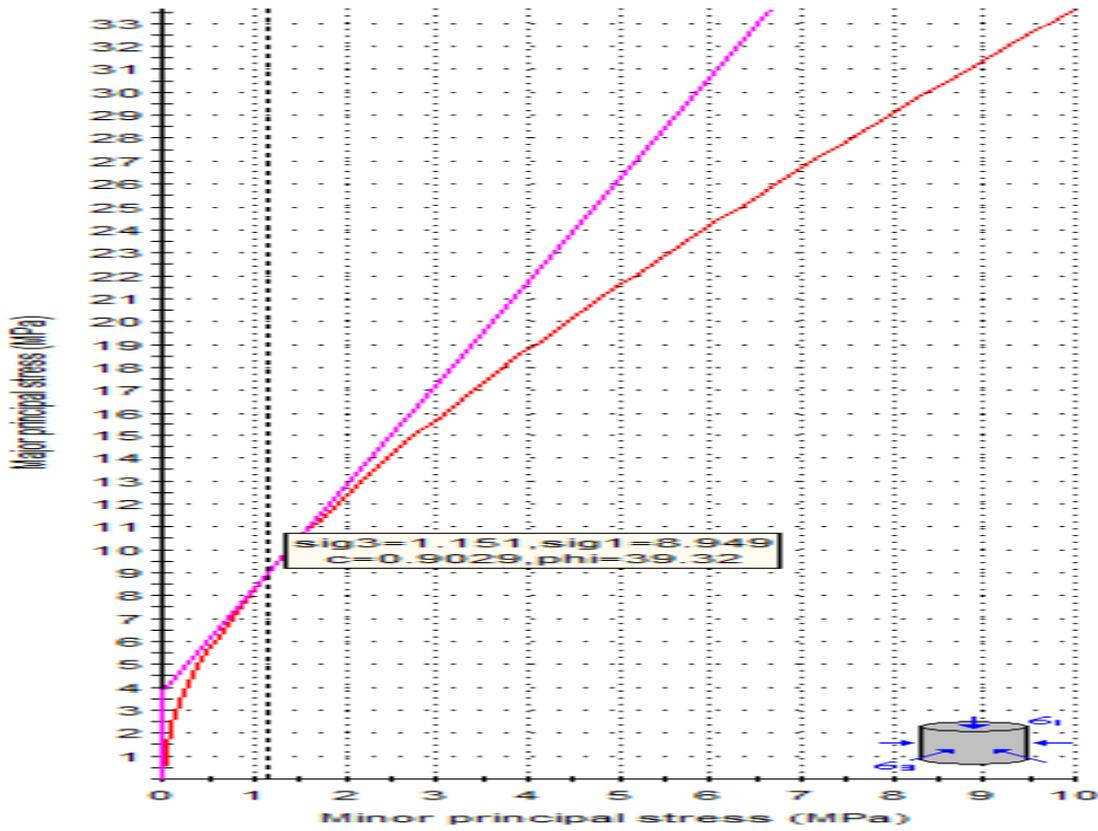


Figura 3.14. Esfuerzo principales veta Virginia- nivel 920-1020, subnivel 308-1, subnivel 308-2

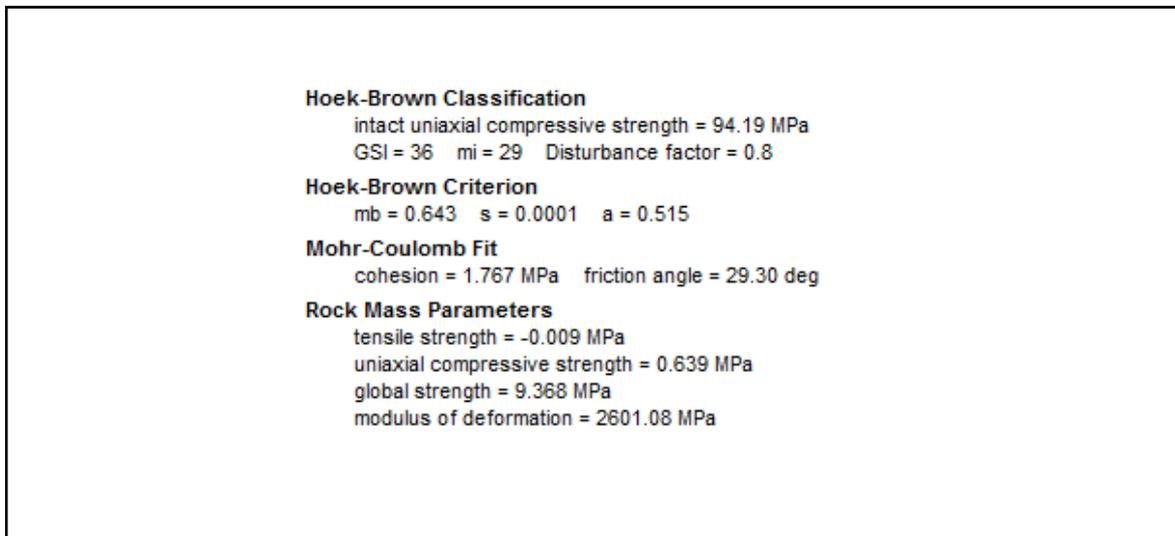


Figura 3.15. Resultados de esfuerzos en profundidad de 800 m. con software roclab de veta Virginia.

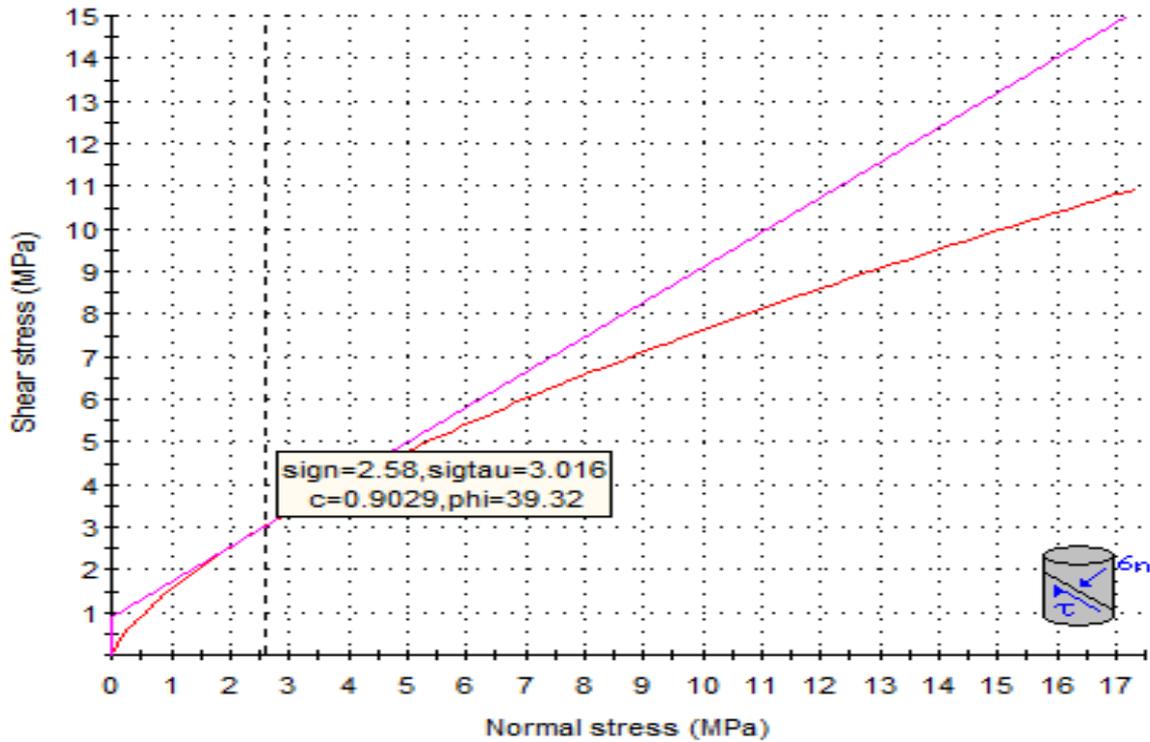


Figura 3.16. Valores de esfuerzo normal y esfuerzo de corte con rocklab de veta Virginia.

3.5.6. Resistencia de veta (mena-UBC).

$$RSS \text{ (mena)} = [94,19 \text{ MPa (método no destructivo)}] / [8,949(\text{Sigma } 1)]$$

$$RSS \text{ (mena)} = 10,53$$

$$RSS \text{ (mena)} = \text{Moderado (M)}.$$

Tabla 3.15. Abaco de resistencia de la sustancia rocosa (RSR) por zonas para método UBC.

Método de explotación	Resistencia de la sustancia rocosa (RSR)											
	Zona de mena				Pared techo				Pared piso			
	MD	D	M	R	MD	D	M	R	MD	D	M	R
<i>Open pit</i>	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4
<i>Block caving</i>	4	2	1	0	4	3	2	0	4	3	2	1
<i>Sublevel sptoping</i>	0	2	4	4	0	1	4	5	0	1	3	3
<i>Sublevel caving</i>	2	3	3	2	4	3	2	1	1	2	2	2
<i>Longwall</i>	6	5	2	1	6	5	2	2	-	-	-	-
<i>Room and pillar</i>	0	0	3	6	0	0	2	6	-	-	-	-
<i>Shirinkage stoping</i>	0	1	3	4	0	1	3	4	0	2	3	3
<i>Cut and fill stoping</i>	0	1	3	3	3	5	4	2	1	3	2	2
<i>Top slicing</i>	3	2	1	0	3	2	2	3	2	2	1	1
<i>Square-set stoping</i>	4	3	1	0	4	2	1	0	3	2	0	0

Nomenclatura: MD: Muy Débil; D: Débil; M: Moderado; R: Resistente.

3.5.7. Evaluación de fluencia de esfuerzos en el tajo con software Phase2.

De acuerdo a la escala de valores, en función a los colores en un intervalo de 0.00 hasta 6.00 indican la concentración y fluencia de esfuerzos tal como se puede observar en la figura 000 estos valores de factor de seguridad se ha generado como consecuencia de la excavación de los tajos la zona de color rojo con un factor de seguridad de 00.00 hasta 0.5 son considerados como zona de alto riesgo que requieren soporte inmediato.

La zona de color naranja corresponde a un valor de factor de seguridad de 1.00 esta zona también requiere de soporte considerando que son excavaciones de hastiales amplias como resultado de la aplicación de método de minado por taladros largos, la zona de color amarillo hasta azul en un intervalo de 1.5 hasta 6.00 no requiere soporte y se encuentran en la estructura del macizo rocoso sólido es decir en la zona estéril y la zona de la veta aun sin extraer, considerando que las operaciones de minado se realizan en excavaciones amplias los resultados de factor de seguridad mediante el software Phase para una sección de 4.00 x 4.00m aproximadamente conforme se incrementa los valores de la sección la fluencia de esfuerzos puede variar y las zonas de alto riesgo pueden incrementarse. Ver anexo I7.

3.6. Resultados de geometría del depósito mineral de acuerdo a hipótesis 2.

Conociendo la calidad del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral, la metodología de Nicholas es una buena alternativa para seleccionar el método de minado más adecuado, toma en cuenta las principales características del yacimiento como son; la geometría del yacimiento, características geotécnicas y los costos de minado, ninguna metodología de selección de método de minado es capaz de satisfacer la totalidad de los requisitos y condiciones de los yacimientos, los proyectistas deberán entonces encontrar un equilibrio entre los problemas técnicos y el costo de minado del mismo (Rodríguez A. 2015)

Para Bohorquez H.A. (2013), Curso de Método de explotación minera de la Universidad Nacional de Cajamarca Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica, El objetivo principal es diseñar un sistema de extracción apropiado bajo las características actuales del yacimiento explorado. Esto puede ser interpretado como el camino para alcanzar la máxima utilidad de la operación, pero la decisión se basa en factores técnicos, Los factores que tienen un mayor peso en la primera etapa de selección son:

- La geometría,
- La distribución de leyes del depósito,
- Las propiedades geomecánicas del mineral y estéril adyacente.

3.6.1. Método de selección UBC (Universidad de Columbia Británica)

Según Njamba M, V.(2016), *Design an Appropriate Mining Method for ExtracOre between 330ml and 400ml at Baluba East UT-Block, International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing 2016, 5(1): 16-23 DOI: 10.5923/j.mining.20160501.03 University of Zambia, School of Mines, Department of Mining Engineering, Lusaka, Zambia*, en su metodología de investigación incluyó una revisión de la información geotécnica disponible por el departamento de planificación minera y mecánica de rocas. Además, se revisó otra literatura para establecer el efecto de elegir un método de minería basado en parámetros geotécnicos y otras características del mineral-cuerpo. La información actual geotécnica obtenida de la mina entre niveles de 330 ml y 400 ml se utilizaron como datos de entrada para UBC herramienta de selección de métodos en línea. El método UBC es una modificación del enfoque de *Nicholas* (1981), que pone más énfasis en el método de mina adecuado. Conforme a *Nicholas*, cada método de minería se clasifica de acuerdo con idoneidad de su distribución de geometría, grado y zona de mineral, características geomecánicas de caja techo y caja piso. Los pasos en el proceso de selección implica: Enumerar el geometría del depósito y características geomecánicas de

zona de mineral, caja techo y caja piso, para cada método de minería diferente, asignando valores numéricos, luego son sumados. El método de minado que obtiene el puntaje más alto es luego elegido como un método de minería apropiado y sujeto a evaluación económica. El método de selección UBC es llamado así por haberse desarrollado en la *University of British Columbia*.

3.6.2. Datos de entrada en sistema de clasificación UBC (1995).

Los resultados obtenidos de los cálculos se han ubicado conforme corresponde con color amarillo en la tabla de UBC tal, como se observa en Tabla 4.19 y Tabla 4.20 y asignados en cada columna correspondiente en Tabla 4.21, Tabla 4.22, Tabla 4.23, Tabla 4.24, tabla 4.25

- Geometría del depósito mineral
- Características mecánicas de roca y mena en 2 parámetros: RMR y RSS.

3.7. Aplicación de software UBC edumine.

La selección del método de minería de UBC es una versión modificada del enfoque de Nicholas para la selección del método de minería basado en la característica del yacimiento (*Nicholas* 1981). La selección implica la suma y clasificación de los valores numéricos asociados con las características del yacimiento que reflejan la idoneidad de un método particular. Esta presentación interactiva del proceso de selección le permite investigar la influencia de las características del yacimiento en la selección de métodos de extracción más apropiado. Ver figura 4.17, figura 4.18, figura 4.19.

Tabla.3.16. Definición de la geometría del depósito y grado de distribución para método UBC.

Forma/Ancho general	
Equi-dimensional (masivo)	Todas las dimensiones son de igual orden de magnitud
Laminado-tabular	Dos dimensiones tienen varios intervalos de grosor
Irregular	Las dimensiones varían en distancias cortas
Grosor de la mena	
Muy delgado	< 3m
Delgado	3 - 10m
Intermedio	10 - 30m
Gruoso	30 - 100m
Muy grueso	> 100m
Inclinación	
horizontal	< 20°
Intermedio	20° - 55°
Empinado	> 55°
Profundidad bajo superficie	
Poco profundo	0 - 100m
Intermedio	100 - 600m
Profundo	> 600m
Grado de distribución	
Uniforme	El grado de cualquier punto en el depósito no varía significativamente del grado medio de ese depósito.
Gradual	Los valores de los grados de distribución tienen zonas características, y cambian gradualmente desde una a otra zona.
Errático	Los valores de los grados de distribución cambian radicalmente en distancias cortas y no muestran un patrón disemible en sus cambios.

Fuente. *Edumine - UBC 1995.*

Tabla. 3.17. Características mecánicas de la roca.

Clasificación del macizo rocoso RMR	
Muy debil	0 - 20
Debil	20 - 40
Moderado	40 - 60
Resistente	60 - 80
Muy resistente	80 - 100
Resistencia de la sustancia rocosa (RSR)	
	(RCU)/(Esfuerzo principal)
Muy debil	< 5
Debil	05 - 10
Moderado	10 - 15
Resistente	> 15

Fuente. *Edumine* - UBC 1995.

Tabla.3.18. Clasificación de la geometría y grado de distribución para los diferentes métodos de explotación.

Método de explotación	Perfil general			Grosor del yacimiento					Inclinación del yacimiento			Grado de distribución			Profundidad		
	M	T	Ir	MA	A	In	G	MG	Hz	In	E	U	Gd	Er	PP	In	P
<i>Open pit</i>	4	2	3	1	2	3	4	4	3	3	1	3	3	2	4	0	-49
<i>Block caving</i>	4	2	0	-49	-49	0	3	4	3	2	4	3	2	2	2	3	3
<i>Sublevel stoping</i>	3	4	1	-10	1	3	4	3	2	1	4	4	4	3	3	4	2
<i>Sublevel caving</i>	3	4	1	-49	-49	0	4	4	1	1	4	3	2	2	3	2	2
<i>Longwall</i>	-	4	-	4	3	0	-49	-49	4	0	-49	4	1	0	2	2	3
<i>Room and pillar</i>	0	4	2	4	3	1	-49	-49	4	0	-49	4	2	0	3	3	2
<i>Shrinkage stoping</i>	0	4	2	4	4	0	-49	-49	-49	0	4	3	2	2	3	3	2
<i>Cut and fill stoping</i>	1	4	4	3	4	4	1	0	1	3	4	2	3	4	2	3	4
<i>Top Slicing</i>	1	2	0	1	1	0	2	1	4	2	0	2	1	1	2	1	1
<i>Square-set stoping</i>	0	1	4	4	3	2	0	0	2	3	2	0	1	3	1	1	2

Fuente. *Edumine* - UBC 1995.

Nomenclatura: M : Masivo; T : Tabular; Ir : Irregular; MA : Muy Angosto; A : Angosto; In : Intermedio; G : Grueso; MG : Muy Grueso; Hz : Horizontal; E : Empinado; U : Uniforme; Gd : Gradual; Er : Errático; PP : Poco Profundo; P : Profundo.

Tabla. 3.19. RMR de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 2

RMR Del macizo rocoso y mena en veta Virginia Nivel 920 - 1020, SN 308-2				
Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
	Caja piso	Caja techo		
subnivel 308-2	47	47	35 (mala)	Regular
subnivel 308-2	47	47	41	Regular

Tabla. 3.20. GSI de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 2

GSI Del macizo rocoso y mena en veta Virginia Nivel 920 - 1020, SN 308-2				
Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
	Caja piso	Caja techo		
subnivel 308-2	42	42	30 (mala)	Regular
subnivel 308-2	42	42	36	Regular

Tabla. 3.21. Q de Barton de macizo rocoso y mena en vetas Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 2

Q de Barton del macizo rocoso y mena en veta Virginia Nivel 920 - 1020, SN 308-2				
Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
	Caja piso	Caja techo		
subnivel 308-2	1,396	1,396	0,368 (mala)	Regular
subnivel 308-2	1,396	1,396	0,741	Regular

Tabla.3.22. Abaco de características mecánicas de la roca para los diferentes métodos de explotación.

Método de explotación	Clasificación del macizo rocoso (RMR)														
	Zona de mena					Pared techo					Pared piso				
	MD	D	M	R	MR	MD	D	M	R	MR	MD	D	M	R	MR
<i>Open pit</i>	3	3	3	3	3	2	3	4	4	4	2	3	4	4	4
<i>Block caving</i>	4	3	2	0	-49	3	3	3	2	2	3	3	3	2	2
<i>Sublevel stoping</i>	1	3	4	4	4	-49	0	3	4	4	0	0	2	3	3
<i>Ssublevel caving</i>	3	4	3	1	0	4	4	3	2	2	1	2	3	3	3
<i>Longwall</i>	6	6	1	2	2	6	5	4	3	3	-	-	-	-	-
<i>Room and pillar</i>	-49	0	3	5	6	-49	0	3	5	6	-	-	-	-	-
<i>Shirinkage stoping</i>	0	1	3	3	3	0	0	2	4	4	0	0	2	3	3
<i>Cut and fill stoping</i>	0	1	2	3	3	3	5	4	3	3	3	3	2	2	2
<i>Top slicing</i>	3	2	1	1	0	0	0	2	3	3	0	0	1	2	2
<i>Square-set stoping</i>	4	4	1	0	0	4	4	1	0	0	3	1	0	0	0

Nomenclatura: MD: Muy Débil; D: Débil; M: Moderado; R: Resistente; MR: Muy Resistente.

RMR Rangos: MD = 0 – 20; D = 20 – 40; M = 40 – 60; R = 60 – 80; MR = 80 – 100.

Orebody Characteristics	
Geometry and Grade Distribution	
General Shape:	Irregular ▼
Ore Thickness:	Very Narrow (less than 3m) ▼
Ore Plunge:	Steep (more than 55deg) ▼
Grade Distribution:	Gradational ▼
Depth:	Deep (more than 600m) ▼
Rock Mass Rating (after Bieniawski 1973)	
Ore Zone:	Medium (40-60) ▼
Hanging Wall:	Medium (40-60) ▼
Footwall:	Medium (40-60) ▼
Rock Substance Strength (unconfined compressive strength / principal stress)	
Ore Zone:	Medium (10-15) ▼
Hanging Wall:	Medium (10-15) ▼
Footwall:	Medium (10-15) ▼

Figura. 3.17. Panel de datos de entrada a software UBC edumine

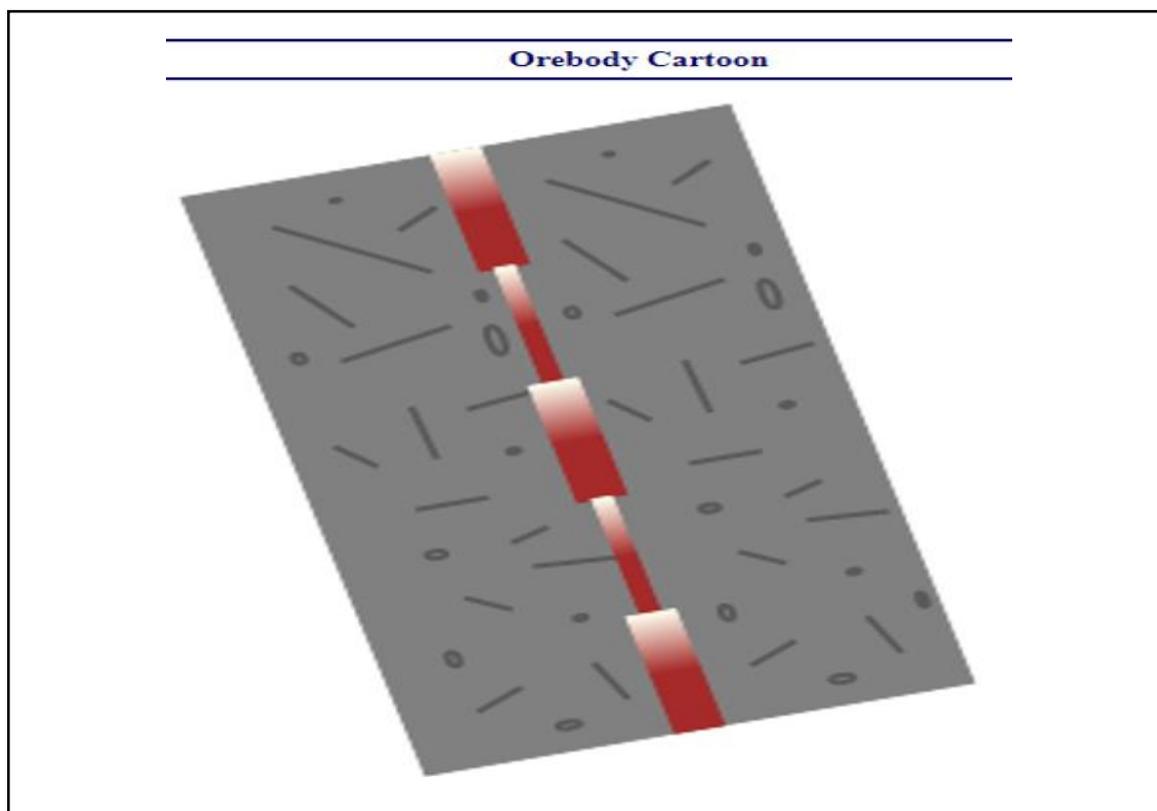


Figura 3.18. Resultados de datos de entrada a software UBC edumine



Figura 3.19. Método de minado sugeridos por software UBC edumine

3.7.1. Elección de método de minado *cut and fill stoping*.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la aplicación del *software UBC-edumine*. Los métodos de minado más apropiado de acuerdo a las características geomecánicas y geométricas son:

- *Cut and fill stoping* (35)
- *Shrinkage stoping* (30).
- *Sublevel stoping* (21)

El método de minado en veta Virginia por encima del nivel 920 ha sido corte y relleno ascendente (*Cut and fill stoping*), la producción con el método de minado de corte y relleno ascendente no ha sido satisfactorio, tal como se ha mencionado en el presente trabajo de investigación el desprendimiento de rocas ha generado problemas de seguridad teniendo presente que la calidad del macizo rocoso es regular con tendencia a mala, por las características geomecánicas del macizo rocoso caja techo, caja piso, mena, la alta dirección ha determinado que el método de explotación sea *sublevel stoping* que es considerado como

el más apropiado por las características de vetas angostas, con altos buzamientos y forma irregular.

3.7.2. Geología.

La ley diluida de la mina es:

- Ley Cobre : 0,25 %.
- Ley Plomo : 0,65 %.
- Ley Zinc : 5,25 %.
- Ley Plata : 3,30 Oz –Ag.

3.7.3. Diseño taladros largos.

- Se delimita el tajo a perforar.
- Se modela la topografía y veta del tajo seleccionado en el software Data Mine.
- Cada sección contempla una longitud e inclinación determinada, por cada taladro diseñado. Ver anexo I8.
- Se revisan las secciones diseñadas y se autoriza su marcado en campo.

El diseño mantiene un ratio de 4.91 T/m. perforado en campo.

3.7.4. Perforación.

- La perforación se realiza con equipos Simba S7D, paralelo al buzamiento de la veta, de acuerdo a la malla de perforación marcada, solo se perforan taladros en negativo, el control va desde la medición de la presión de avance y rotación del perforador COP 1238.
- La malla de perforación obedece a un patrón calculado, logrando como valor un espaciamiento óptimo de 1.50 metros y un burden de 1.50 metros, para vetas con anchos de 2 a más metros. En cuanto a vetas demasíadamente angostas como de 0.60 a 1.20 metros se tiene un espaciamiento óptimo de 1.20 metros y un burden de hasta 0.60 metros, con taladro de pre corte en la caja techo.

- Una vez culminada la perforación se procede a colocar tuberías PVC, a fin de evitar obstrucción de los taladros por finos y/o fragmentos de roca remanente.
- Se levantan los taladros a fin de determinar la desviación de los taladros, esto tiene los siguientes fines; para investigar las causas y posibles fallas del equipo, condición estructural, todo para mejorar este proceso. Ver anexo I9.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados de acuerdo al objetivo 1

Considerando el enunciado de objetivo 1, determinar las características geomecánicas del macizo rocoso para la aplicación el método de explotación por taladros largos, se ha determinado las propiedades físicas, propiedades mecánicas y las características geomecánicas del macizo rocoso en nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, veta Virginia de la Unidad San Cristóbal. Ver anexo J1

4.1.1. Propiedades físicas de la roca intacta.

- Densidad de roca intacta : 2,45 T/m³.
- Peso específico de roca intacta : 24,01 KN/ m³.
- Densidad de la mena subnivel. 308-2 :3,09 T/m³.
- Peso específico de la mena subnivel 308-2 :29,596 KN/m³.

4.1.2. Propiedades mecánicas de la roca intacta.

La resistencia compresiva uniaxial método destructivo (laboratorio):

- RCU (filita silisificada) : 62,15 MPa.
- RCU (filita cloritizada) : 61,41 MPa.

La resistencia compresiva uniaxial método no destructivo (esclerómetro)

- RCU (roca) : 72,06 MPa.
- RCU (mena) : 94,19 MPa.

Tabla 4.1. RMR de veta Virginia nivel 920 - 1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00 - 26,00 m

RMR básico y RMR corregido nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 2, progresiva 00,00 – 26,00 m	
Parámetro	Valoración
RMR básico	59
Ajuste por orientación de discontinuidades (media)	-5
RMR corregido	54

4.1.3. Características geomecánicas del macizo rocoso (Bieniawski 1989).

- Nombre de la roca : Filita Excelsior
- RMR corregido : 54
- Tipo de roca : III.
- Descripción : Regular o media
- Tiempo de auto soporte : 1 semana
- Longitud o tramo : 5 m
- Cohesión : 200-300 KPa
- Angulo de fricción interna : 25° – 35°

La calidad del macizo rocoso se ha determinado mediante las clasificaciones geomecánicas del RMR de *Bieniawski* 1989, Índice Q de *Barton*, y GSI *hoek and Brown*, se han obtenido por correlación, como data base para el *software UBC edumine*.

Tabla 4.2. Calidad de macizo rocoso y mena por correlación en veta Virginia nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, subnivel 308 - 7.

Calidad del macizo rocoso y mena en veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 1, 308 - 7					
RMR de Bieniawski	Estructura	Macizo rocoso		Mena	Calidad
		Caja piso	Caja techo		
	subnivel 308 - 2	47	47	35 (mala)	Regular
	subnivel 308 - 2	47	47	41	Regular
Índice Q de Barton	subnivel 308 - 2	1,396	1,396	0,368 (mala)	Regular
	subnivel 308 - 2	1,396	1,396	0.741	Regular
GSI de Hoek And Brown	subnivel 308 - 2	42	42	30 (mala)	Regular
	subnivel 308 - 2	42	42	36	Regular
Calidad					Regular

4.2. Resultados de acuerdo al objetivo 2

De acuerdo al objetivo 2, de determinar la geometría del depósito mineral para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia, la estructura litológica del subnivel 308-1 hasta el subnivel 308-8 se ha obtenido valores máximos y mínimos de acuerdo a la estructura litológica variada en una dirección de excavación de N42° E: Nivel 920-1020 subnivel 308-2. Ver anexo J2

Tabla 4.3. Sinopsis de estructura litológica de la veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 1, 308 - 8.

Sinopsis de estructura litológica de la veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 1, 308 - 8				
Estación	Rumbo	Buzamiento	Buzamiento/dirección de Buzamiento	Zona: Nivel 920 - 1020
Mínimo	N31E	S59E	31/121	
Máximo	N53E	S75E	53/142	
Dirección de excavación	N42E nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 2			

La potencia de la veta es de 3,017 m y el ancho de minado 3,08 a 4,00 m tal como se observa en Tabla 4.4. que es el resultado de 10 estaciones de medición realizados en diferentes subniveles del subnivel 308-1 hasta subnivel 308-7, teniendo en cuenta que en la zona alta el ancho de la veta ha sido relativamente menor aunque se ha presentado potencias

de 2,85m hasta 3,00 m, de acuerdo a la evaluación realizada en los diferentes niveles, se presenta un cierto incremento en la potencia hacia la profundización.

Tabla 4.4. Sinopsis de potencia promedio en veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 -1, subnivel 308-7.

Sinopsis de la potencia promedio en veta Virginia nivel 920 - 1020 subnivel 308 - 1, 308 - 7				
Estación	Progresiva (m)	Ancho de la veta (m)	Nivel 920 - 1020	Observación
Promedio	3,017			Ancho de veta muy variable
Ancho de minado	3,8 – 4,0 m			Aproximadamente 4,00 m

4.3. Resultado de selección del método de minado de sublevel stoping con software UBC *edumine*.

Los resultados que se muestran nos sugieren tres alternativas siendo la primera alternativa el método de minado *Cut and fill stoping* con un puntaje de 35, en la Unidad San Cristóbal este método de explotación es el que se ha aplicado en la zona alta encima de Nivel 920 los resultados de control de estabilidad del macizo rocoso no han sido satisfactorios generándose desprendimiento de rocas con consecuencias desfavorables en el cumplimiento de normas de seguridad minera, considerando que el factor de seguridad en esta zona ha sido de 0,95 por debajo de 1,00 que demuestra la inestabilidad, en el marco de esta realidad se ha optado por el método de explotación de *sublevel stoping*.

- *Cut and fill stoping* (35)
- *Shrinkage stoping* (30).
- *Sublevel stoping* (21)

4.4. Aplicación de taladros largos *sublevel stoping* en Unidad San Cristóbal.

La diferencia en el costo de operación entre el corte y relleno ascendente (Realce) y taladros largos (*Bench And Fill*) es de 13,37 US\$/TM, determinando la ventaja productiva a menor costo del método implementado, consecuentemente se logra una ganancia respecto al método de corte y relleno ascendente 13,37 US\$/TM, es decir el *trade off* (compensación), del cambio de método de minado a taladros largos (*Bench and Fill*) ha permitido un ahorro de 13,37 US\$/TM.

Conforme los resultados de la evaluación de fluencia de esfuerzos con *software phase2*, el método de taladros largos (*Bench and Fill*), mantiene un factor de seguridad (2,1) muy superior al método de corte y relleno (realce 0,95), reflejados en sus índices de accidentabilidad, frecuencia, severidad históricos y actuales. El factor de seguridad refleja el empleo de equipos con control remoto para la limpieza, evitando la exposición del personal, el método minado por taladros largos (*Bench and Fill*), en veta Virginia, es aplicable de acuerdo a las condiciones evaluadas, teniendo como limitación, altura máximo de 8 - 10 metros y buzamiento mínimo 59° SE y Buzamiento máximo de 75° SE.

En el método de minado por taladros largos, la productividad anual se incrementó en 700 000 TM/año adicionales producidas en la Mina San Cristóbal, la reducción del consumo de los elementos de sostenimiento (*Shotcrete*, pernos), se redujo 5 US\$/TM, El porcentaje de dilución se redujo en un 7% debido a los controles de perforación y voladura que se emplean, y por el mismo diseño del banqueo, ahorro en los costos de acarreo y transporte del desmonte anteriormente evacuado hacia superficie, es de 1 350 000 US\$/año, debido a que el 38% del material es empleado como relleno en el método *Bench and Fill*.

4.5. Discusiones.

Según Calla J., *et al.* (2012), En Unidad San Cristóbal de Volcan Compañía Minera S.A.A, se trabajó hasta el 2009 con el método de explotación corte y relleno ascendente, con sus variantes (Realce 60% y *Breasting* 40%), observándose como desventaja de este método (Realce), las condiciones sub estándares en su ciclo de minado, la exposición por caída de rocas en base a una estadística de incidentes que se reportaron desde el año 2005 al 2009, se resume en un índice de frecuencia promedio de 3,5 en el método corte y relleno ascendente (Realce). El método de minado *Bench And Fill* exige una infraestructura adecuada de perforación, limpieza de tajos, chimeneas (*ore pass* y *wastepass*), actualmente se viene aplicando el método *Bench And Fill* en dos zonas de la mina es decir en Zona I y en zona II (zona baja), teniendo alturas de 10 metros en la zona baja de la mina por presentar RMR 40 - 45 en las cajas y de 8 metros en la zona alta RMR 35 - 40, de acuerdo a la recomendación geomecánica. Con este método se está obteniendo un minado seguro, productivo, de bajo costo y rentable, para el año 2012, actualmente en mina San Cristóbal el 70% de la producción proviene de los Taladros Largos (*Bench And Fill*). Actualmente, los objetivos la Compañía Minera Volcán S.A.A., están orientados básicamente en reducir los índices de accidentabilidad por caída de rocas y mejorar nuestros índices de productividad, los cuales están direccionados en la importancia de preparación de nuevos tajos diseñados, según la infraestructura futura que requiera el método de Taladros Largos (*Bench And Fill*), con objetivos de mayor productividad, menor exposición del personal (equipos a control remoto) y menor costo de operación, por las características del macizo rocoso de la zona de minado en la zona baja en donde la calidad de regular o media con un RMR que varía de 40 a 45.

En el presente trabajo de investigación se ha realizado una evaluación del dominio estructural del macizo rocoso, las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta por método destructivo y no destructivo la descripción pormenorizada de los parámetros

geomecanicos determinando un RMR básico de 59 y un RMR corregido de 54, en nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m, esta calidad de roca difiere de las investigaciones realizadas por Calla J., *et al.* (2012), sin embargo respecto a la calidad están en el mismo rango de roca media o regular que de acuerdo a la escala de *Bieniawski* 1989 es una roca media o regular en un RMR de 40 a 60, de manera sucinto se ha determinado en subnivel 308 - 2 en progresivas adyacentes un RMR de 47 para caja techo y un RMR de 47 para caja piso los cuales siguen siendo mayores a los valores de RMR obtenidos por Calla J., *et al.* (2012), respecto a la geometría del depósito mineral se ha evaluado en varias estaciones logrando obtener un buzamiento mínimo de 59° NE y buzamiento máximo de 75° NE respectivamente, el ancho de veta es de 3,07m y el ancho de minado es de 4,00m aproximadamente estos resultados difieren por las investigaciones realizadas por Calla J., *et al.* (2012), considerando que se han realizado en lugares y estructuras litológicas diferentes. Los parámetros fundamentales para la aplicación del *software UBC edumine* han sido debidamente evaluadas cuyos resultados nos sugieren el método de explotación de taladros largos con muy buenos beneficios económicos para la Compañía Minera Volcan S.A.A.

Gonzales M., *et al.* (2012), En su tesis titulado "Explotación de un cuerpo mineralizado por subniveles con taladros largos en la unidad de producción Uchucchacua" de la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería de Minas-Civil menciona: involucra criterios técnicos y económicos orientados a la selección del método óptimo para la explotación del cuerpo Magaly, como una alternativa de solución al problema de producción de 13 metros profundidad por taladro en el cuerpo Magaly-tajo775 de la UP. Uchucchahua para ello es de necesario considerar las condiciones geológicas, geométricas y las características geomecanicas del macizo rocoso del cuerpo Magaly además es importante la roca circundante del cuerpo mineralizado. Teniendo presente otros aspectos fundamentales que son la dilución, recuperación de reservas minerales, el valor del mineral

probado y probable, el costo de producción, consecuentemente se evalúan mediante el valor presente neto.

En el presente trabajo de investigación se ha realizado una evaluación del dominio estructural del macizo rocoso, las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta por método destructivo y no destructivo la descripción pormenorizada de los parámetros geomecánicos determinando un RMR básico de 59 y un RMR corregido de 54, en nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00-26,00 m, esta calidad de roca difiere de las investigaciones realizadas por Gonzales M., *et al.* (2012), sin embargo respecto a la calidad están en el mismo rango de roca media o regular que de acuerdo a la escala de *Bieniawski* 1989 es una roca media o regular en un RMR de 40 a 60, de manera sucinto se ha determinado en subnivel 308 - 2 en progresivas adyacentes un RMR de 47 para caja techo y un RMR de 47 para caja piso los cuales no se mencionó en el estudio en discusión, respecto a la geometría del depósito mineral se ha evaluado en varias estaciones logrando obtener un buzamiento mínimo de 59° NE y buzamiento máximo de 75° NE respectivamente, el ancho de veta es de 3,07m y el ancho de minado es de 4,00m aproximadamente, considerando que se han realizado en lugares y estructuras litológicas diferentes. Los parámetros fundamentales para la aplicación del *software UBC edumine* han sido debidamente evaluadas cuyos resultados nos sugieren el método de explotación de taladros largos con muy buenos beneficios económicos para la Compañía Minera Volcan S.A.A.

CONCLUSIONES

De acuerdo a nuestro objetivo general, los resultados obtenidos son favorables para aplicar el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la compañía minera Volcan S.A.A., con RMR de la roca encajonante 47, y RMR de la mena 41, tipo de roca III de calidad media o regular evaluados en siete subniveles; con geometría del depósito mineral irregular con potencia promedio de la veta de 3,017 m con variaciones significativas, que tiende a incrementar la potencia a medida que se va profundizando.

De acuerdo al objetivo 1 se ha determinado las propiedades físicas de la roca intacta, Densidad $2,45 \text{ T/m}^3$, Peso específico $24,01 \text{ KN/ m}^3$, Densidad mena $3,09 \text{ T/m}^3$. Peso específico de la mena $29,596 \text{ KN/m}^3$, Propiedades mecánicas de roca intacta, resistencia compresiva uniaxial método destructivo (laboratorio), RCU (filita silisificada) es 62,15 MPa, la RCU (filita cloritizada) es 61,41 Mpa, La resistencia compresiva uniaxial método no destructivo (esclerómetro), RCU de roca es 72,06 Mpa y la RCU de mena es 94,19 Mpa; con RMR corregido de 54, Tipo de roca III, de calidad Regular o media en nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, el RMR de caja techo y piso es 47 y el RMR de mena es 41 evaluados en siete sub niveles.

De acuerdo al objetivo 2, la geometría del depósito mineral es tipo irregular, la potencia promedio de la veta es de 3,017 m y el ancho de minado 3,08 a 4,00 m con variaciones significativas, presentado potencias de 2,85m hasta 3,00 m; de acuerdo a la evaluación realizada se observa un incremento en la potencia hacia la profundización, con buzamiento máximo de 75° SE Y buzamiento mínimo de 59° SE , dirección de Buzamiento máximo 142 y dirección de buzamiento mínimo de 121, estructura litológica variada en una dirección de excavación de $\text{N}42^\circ \text{ E}$.

RECOMENDACIONES

Por las características litoestructurales del macizo rocoso se recomienda continuar la evaluación sistemática del dominio estructural para identificar la presencia de cuñas, que puede perturbar la estabilidad del macizo rocoso, tanto de la roca encajonante así como de la mena.

Considerando que las alturas del tajo son 8,00 m a 10,00 m, es necesario determinar el sistema de esfuerzos principales mayor y menor mediante instrumentaciones de convergencia en función a progresivas y estaciones predeterminadas, teniendo presente estas características es necesario una planta de relleno cementado en superficie, utilizando finos y relaves de la mina para la redistribución de esfuerzos y estabilizar el tajo, menor exposición del personal a desprendimientos posibles de rocas haciendo uso sistemático de equipos a control remoto.

En la geometría del depósito mineral, para tener mejores resultados se recomienda apoyarse en las perforaciones diamantina, con lo cual se definirá con mayor exactitud el tipo de yacimiento a lo largo de todo el tajeo, esto reducirá de manera significativa el porcentaje de dilución y un mejor trabajo de perforación y voladura, así como el aspecto de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias F.G. (1999), El proyecto de investigación guía para su elaboración, editorial episteme Oriol ediciones, Caracas –Venezuela.
- Bunge, M. (1989). La investigación científica. Barcelona: Ariel.
- Calla J, Conde M., y Vásquez O. (2012), Aplicación de Taladros largos en el sistema de vetas Virginia –Mina San Cristobal, Volcan Compañía Minera S.A.A. Área geomecánica Yauli – Perú. Artículo publicado de Calameo recuperado el 01 de junio de 2018 de: <https://es.calameo.com/read/004289901fc08f3544e17>
- Caballero, C. (1998) Mecánica de Rocas Texto Universitario de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión-Cerro de Pasco-Perú.
- Coates D.F. (1997), Fundamentos de mecánica de rocas, Dirección de Minas-Ministerio de Energía de Minas y Recursos Naturales, Canadá.
- Córdova D.(2008) Tesis de postgrado “Geomecánica en el minado subterráneo caso mina condestable” de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, Lima-Perú.
- Gonzales de Vallejo L. (2002), Ingeniería Geológica, Prentice Hill, Madrid-España.
- Gonzales M. R., Velásquez, J. L. (2012), Tesis “Explotación de un cuerpo mineralizado por subniveles con taladros largos en la Unidad de Producción Uchucchacua” de la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería de Minas-Civil, Huancavelica-Perú
- González Río, M.J. (1997). Metodología de la investigación social. Técnicas de recolección de datos: Aguaclara.
- Hernández R., Fernández, C. y Baptista, P. (1998): Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill.

- Hoek E., Kaiser P., Bawden W. (1999), *Support of Underground Excavations in Hard Rock Tercera Ed.-AA. Belkama.*
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, (1999), "Explotación Subterránea – Métodos y Casos Prácticos" Minado por corte y relleno, p.150-163. Software *Mine method selection system.*
- Laubscher, D.H., (1981), Selection of mass underground mining methods, design and operation of caving and sublevel stoping mines. New York, Chapter 3, p. 23-38.
- Mamani F. (2017), Mapeo geomecánico Texto guía académica Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Puno-Perú
- Nicholas, D.E., (1992) *Selection Procedure, in: SME Mining Engineering Handbook, second edition, Society for Mining Engineering, Metallurgy and Exploration, 1992,* p. 2090-2106
- Páez L.R.H. (2009), Apuntes de mecánica de rocas de la Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Ingeniería, Minas y Metalurgia –Mexico.
- Quispe S. (2010), Tesis titulado "Gestión del comportamiento humano para disminuir la accidentabilidad laboral en la mina San Cristóbal – Volcan Compañía Minera S.A.A." de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Lima-Perú.
- Ragan (1987), Geología estructural-introducción a las técnicas geométricas, Ediciones Omega, Barcelona.
- Ramírez O. *et al* (1991), Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea, ITGE, Madrid – España.
- Robles, N. (1994) Excavación y sostenimiento de Túneles en roca CONCYTEC –Lima – Perú.

- Rodríguez Sastre M.A. (2006), Clasificación geomecánica de macizos pizarrosos en el sinclinal de Truchas artículo publicado en *Geogaceta*, 40 (2006), 43-46 ISSN: 0213683X.
- Salazar Eder, Córdova R. David (2013), Geomecánica del minado masivo tajeos por subniveles con pilares corridos en artículo en, ISSN 1136-4785, N°. 224, 2013 (Ejemplar dedicado a: Especial Latinoamérica), 100ágs.. 46-51. Idioma español
- Suárez L. (2010) Comportamiento geomecánico del macizo rocoso del complejo subterráneo de porce III de la Universidad Nacional de Colombia en revista de la Facultad de Ingeniería, UPTC, 2010, VOL.19, N°.28, p.39-54. Medellín.
- Paterson, M.S. (1978). Experimental rock deformation: the brittle fields. Springer- Verlag. Berlin. 254 pp.
- Rodríguez A. (2015). Diplomado, “Selección de método de minado con propuesta Nicholas” Centro geotécnico internacional (CGI) Lima – Perú
- Romero J. (2012), tesis posgrado “Selección de métodos extractivos y su impacto en la productividad minera – estudio de caso en la minería de carbón colombiana” Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial Bogotá, Colombia.
- Timoshenko G. (1980), Teoría da elasticidade, Editora Guanabara Dois S.A., Río de Janeiro-Brasil.
- Veyrat S., Galera J.M., Ibarra G., Menchero C., Rojas F. (2015), Análisis tenso-deformacional y diseño de fortificaciones para una explotación de cobre por Sub-Level Stopping, Subterránea S.C. Minera Atacama Kozan. Tierra Amarilla, III Región, Atacama Kozan – Chile.

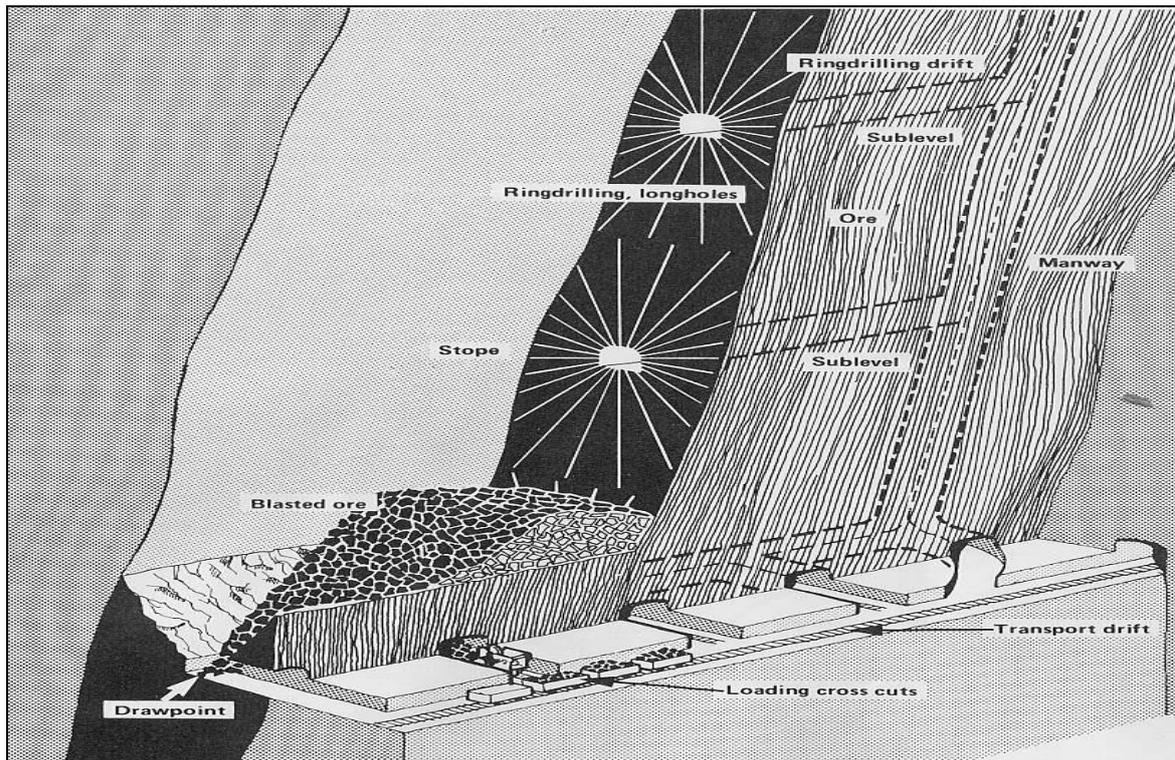
ANEXOS

ANEXO A

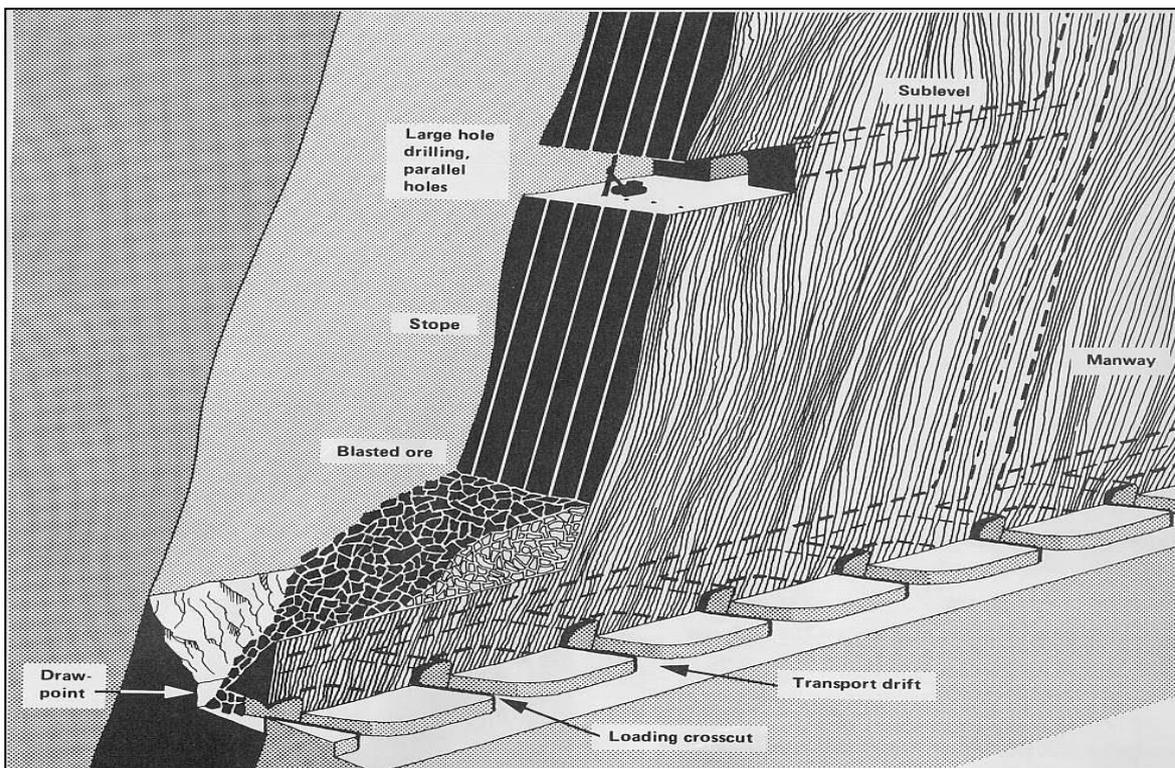
Anexo A1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿De qué manera se puede determinar las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral para la aplicación del método de taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.?.</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>¿De qué manera se puede determinar las características geomecánicas del macizo rocoso para la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.?.</p> <p>¿Cómo se puede determinar la geometría del depósito mineral para la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.?.</p>	<p>1. Objetivo General</p> <p>Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.</p> <p>2.Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> •Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A. •Determinar la geometría del depósito mineral para la aplicación el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A. 	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Las características geomecánicas del macizo rocoso y geometría del depósito mineral nos permitirán la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> •Las características geomecánicas del macizo rocoso nos permitirán aplicar del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A. •La geometría del depósito mineral nos permitirá la aplicación del método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A. <p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Las características geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del depósito mineral en veta Virginia de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Método de explotación por taladros largos en veta Virginia considerando de la Unidad San Cristóbal de la Compañía Minera Volcan S.A.A.</p>	<p>1.Tipo de Investigación</p> <p>Descriptiva</p> <p>2.Nivel de Investigación</p> <p>Básica y explicativa</p> <p>3.Metodología de Investigación</p> <p>Descriptiva</p> <p>4.Diseño de la Investigación</p> <p>Estocástico</p> <p>Determinístico</p> <p>5.Población:</p> <p>Parámetros geomecánicos</p> <p>Geometría del depósito minería</p> <p>6.Muestra:</p> <p>Discontinuidades.</p> <p>Dominio estructural</p> <p>7.Técnicas</p> <p>Pre proceso:</p> <p>Recolección de datos del campo</p> <p>Sistematización de mediciones</p> <p>Post proceso-Gabinete:</p> <p>Análisis de resultados</p> <p>Formulación de base de datos</p> <p>Uso de software Estadístico.</p> <p>Uso de software geomecanico</p> <p>Uso de software UBC edumine.</p>

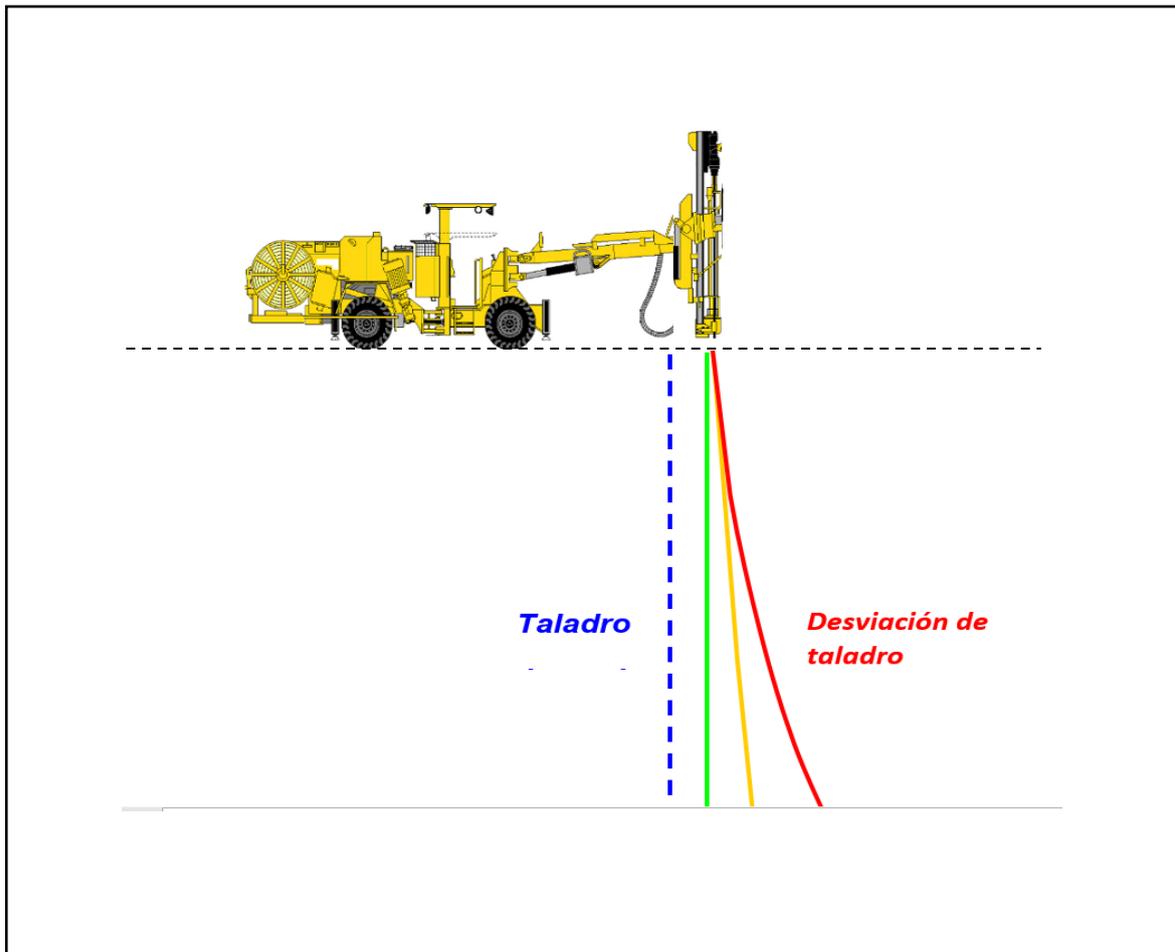
ANEXO B



Anexo B1. Metodo de taladros en abanico
Fuente: Perforacion y voladura con taladros largos EXSA.



Anexo B2. Mtodos de taladros en oaralelo
Fuente: Perforacion y voladura con taladros largos en paralelo EXSA.

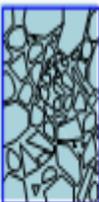


Anexo A3. Formas de desviación de taladros respecto a línea vertical.
Fuente: Perforación y voladura en taladros largos- EXSA.



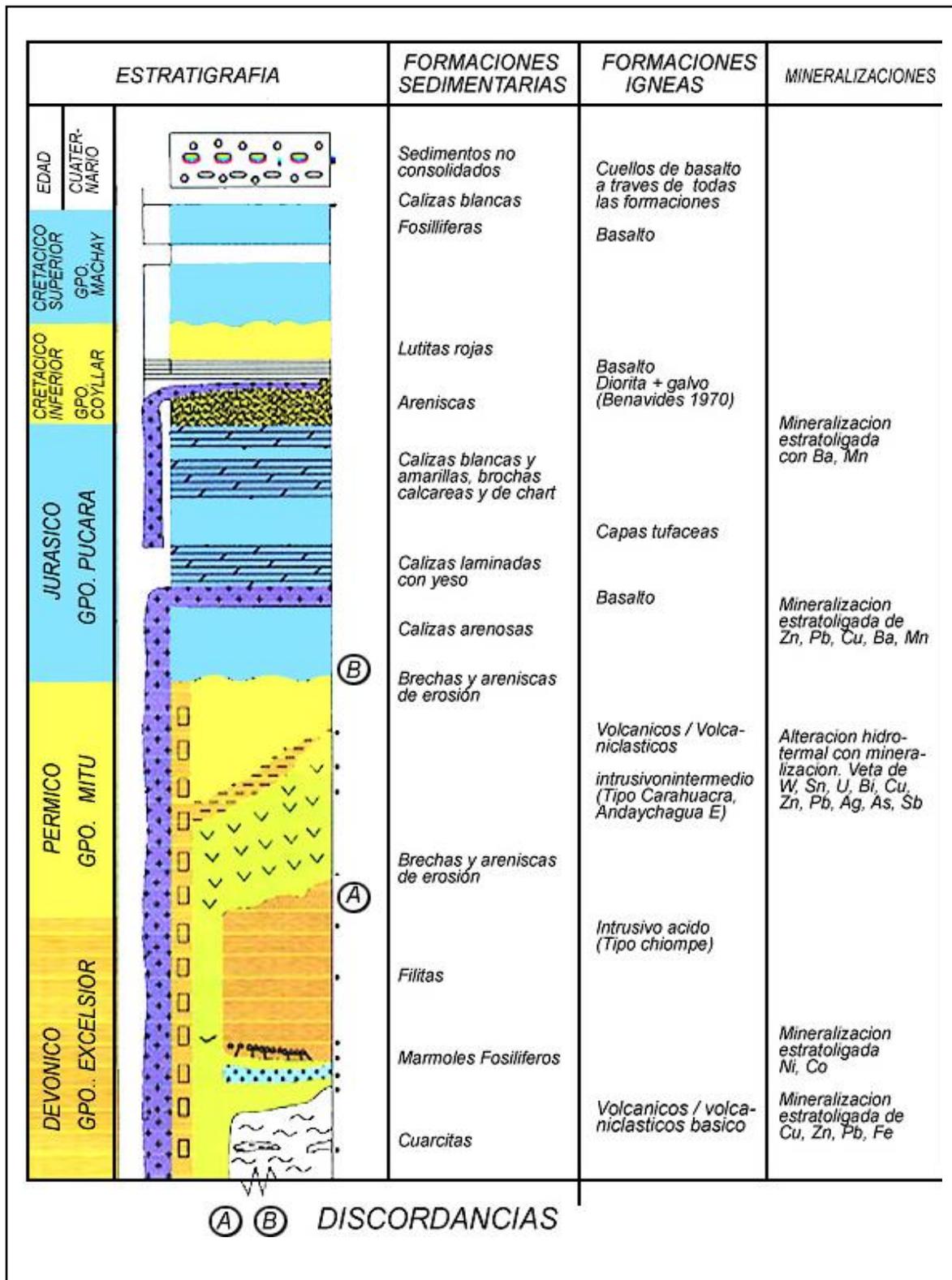
Anexo A4 Jumbo electro hidráulico Boomer de 1 brazo.

ANEXO C

<p>ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA GSI (Geological Strength Index)</p>		CONDICIÓN DEL FRENTE				
		<p>MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar</p>	<p>BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con películas de oxidación</p>	<p>MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas</p>	<p>POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos</p>	<p>MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos</p>
ESTRUCTURA						
 <p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	80	70				
 <p>BLOQUES IREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos</p>		60	50			
 <p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos</p>			40	30		
 <p>FRACTURAMIENTO INTENSO (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.</p>				20	10	

Anexo C. Estimación de GSI en base de descripciones geológicas
Fuente. Hoek y Brown 1997.

ANEXO D

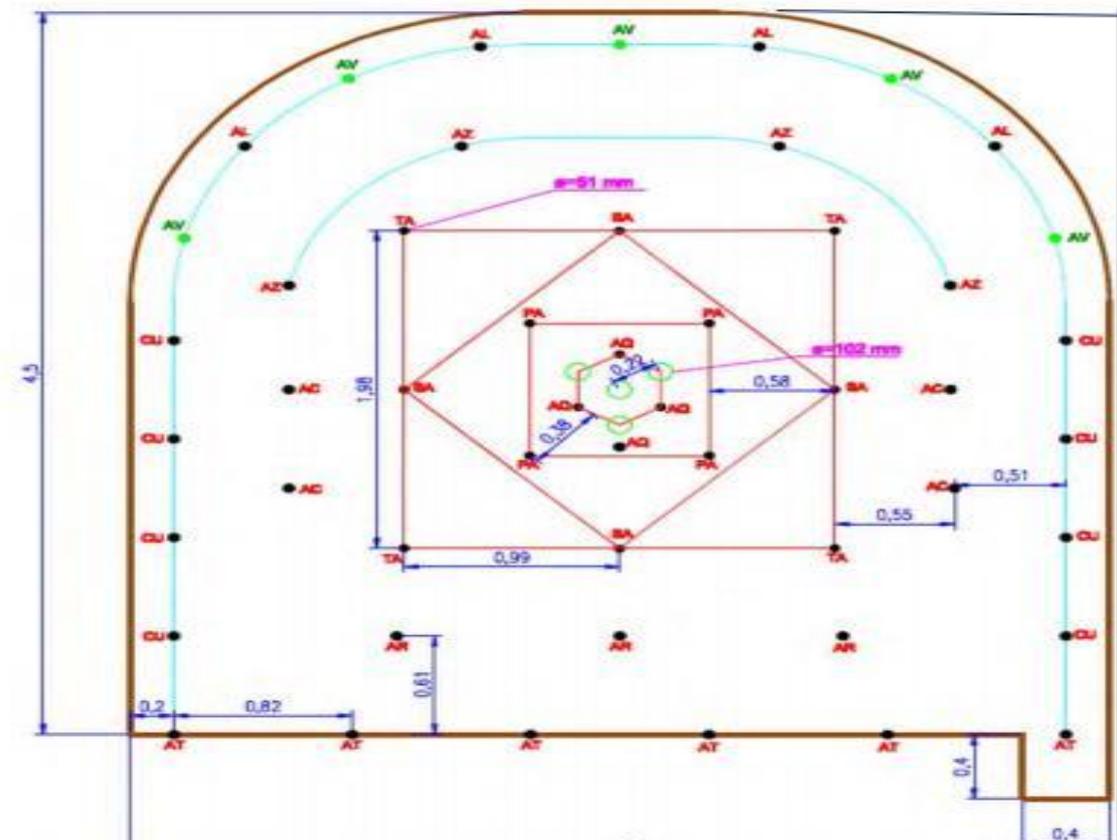


Anexo D. Columna estratigráfica de la Unidad San Cristóbal.
Fuente: área geología Volcan.

ANEXO E



Anexo E1. Perforación de taladros largos con equipo raptor.
Fuente. Área de planeamiento – Unidad San Cristóbal.



Anexo E2. Malla de perforación y voladura de 4.5 x 4.5m en roca regular.
Fuente. Área de planeamiento – Unidad San Cristóbal.



Anexo E3. Cañas visibles después de la voladura controlada.
Fuente. Área de planeamiento – Unidad San Cristóbal.

ANEXO F



Anexo F1. Personal encargado del lanzamiento *shotcrete*.
Fuente. Área de planeamiento – Unidad San Cristóbal.

ANEXO G



Anexo G1. Extensómetro de cinta digital.
Fuente. Área geomecánica-Unidad San Cristóbal.



Anexo G2. Esclerómetro – Martillo Schmidt
Fuente. Área geomecánica-Unidad San Cristóbal.



Anexo G3. Equipo de pull test.
Fuente. Área geomecánica-Unidad San Cristóbal



Anexo G4. Equipo de compresión simple.
Fuente. Área eomecánica-Unidad San Cristóbal.

ANEXO H



Marcia Rojas Padilla
 Servicios Especializados en Mecánica de Suelos
 Perforaciones en Diamantina, SPT, Cono Peck,
 Sistema Wash Boring, Fabricación e Instalación
 de Piezómetros y Ensayos Especiales In-Situ

ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS

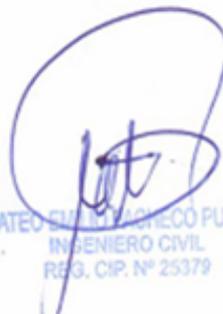
PROYECTO: Unidad San Cristóbal – Propiedades físicas de testigos

SOLICITANTE: Área geomecánica - Unidad San Cristóbal - Compañía Minera Volcan S.A.A.

UBICACIÓN: Distrito-provincia de Yuli - Región Junín

MUESTRA: Roca intacta de filitas Excélsior alteradas Nivel 920 -1020, SN 308-2, progresiva 00-26.00 m

Ítem	Testigo	Tipo de roca (filitas Excélsior)	Alteración	Densidad natural (ton/m ³)
01	M-001	Filita silisificada	Alterada	2.45
02	M-002	Filita sericitizada	Alterada	2.88
03	M-003	Filita cloritizada	Alterada	2.41
04	M-004	Caliza	Alterada	2.46
05	M-005	Lava volcánico	Alterada	2.76



MATEO SANTIAGUEÑO PUCURO
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 25379

Anexo H1. Ensayo de propiedades físicas de núcleos Nivel 920 -1020, SN 308-2, progresiva 00-26.00 m.
 Fuente. MRP- Servicios especiales

 <p><i>Marcia Rojas Padilla</i> Servicios Especializados en Mecánica de Suelos Perforaciones en Diamantina, SPT, Cono Peck, Sistema Wash Boring, Fabricación e Instalación de Piezómetros y Ensayos Especiales In-Situ</p>							
ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS (PARAMETROS GEOMECHANICOS)							
PROYECTO: Unidad San Cristóbal – Propiedades físicas de testigos							
SOLICITANTE: Área geomecánica - Unidad San Cristóbal - Compañía Minera Volcán S.A.A.							
Ítem	Descripción	Muestra (Roca)	Densidad Nat. (ton/m ³)	Resistencia		Resistencia	
				Drenado		No drenado	
				Cohesión (C) Ton/m ²	Angulo de fricción interna (Ø)°	Cohesión (C) Ton/m ²	Angulo de fricción interna (Ø)°
01	Filita silisificada	M-001	2.45	6	38	6	39
02	Filita serecitizada	M-002	2.88	6	38	6	38
03	Filita cloritizada	M-003	2.41	5	35	5	35
04	Caliza	M-004	2.46	8	34	8	35
05	Lava volcánico	M-005	2.76	8	39	8	39
06	Lava volcánico	M-006	2.25	10	39	10	38
07	Lava volcánico	M-007	2.29	10	39	10	39
08	Lava volcánico	M-008	2.26	9	39	9	38
09	Caliza	M-009	2.32	6	35	6	36
10	Caliza	M-010	2.30	5	32	5	32
11	Caliza	M-011	2.31	6	37	6	38
 MATEO S. MACHICO PUQUIO INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 25379							

Anexo H2. Ensayo de propiedades físicas de núcleos Nivel 920 -1020, SN 308-2, progresiva 00-26.00 m.
 Fuente. MRP- Servicios especiales



Marcia Rojas Padilla
 Servicios Especializados en Mecánica de Suelos
 Perforaciones en Diamantina, SPT, Cono Peck,
 Sistema Wash Boring, Fabricación e Instalación
 de Piezómetros y Ensayos Especiales In-Situ

ENSAYO DE RESISTENCIA COMPRESIVA UNIAXIAL

PROYECTO: Unidad San Cristóbal - Resistencia compresiva uniaxial (RCU)

SOLICITANTE: Área geomecánica - Unidad San Cristóbal - Compañía Minera Volcan S.A.A.

UBICACIÓN: Distrito y provincia de Yuli - Región Junín

MUESTRA: Roca intacta de filitas Excélsior alteradas Nivel 920 -1020, SN 308-2, progresiva 00-26.00 m

Item	Testigo	Tipo de roca (filitas Excélsior)	Alteración	Resistencia compresiva uniaxial RCU (MPa)
01	M-001	Filita silisificada	Alterada	62.15
02	M-002	Filita serecitizada	Alterada	55.88
03	M-003	Filita cloritizada	Alterada	61.41
04	M-004	Caliza	Alterada	55.50
05	M-005	Lava volcánico	Alterada	72.76

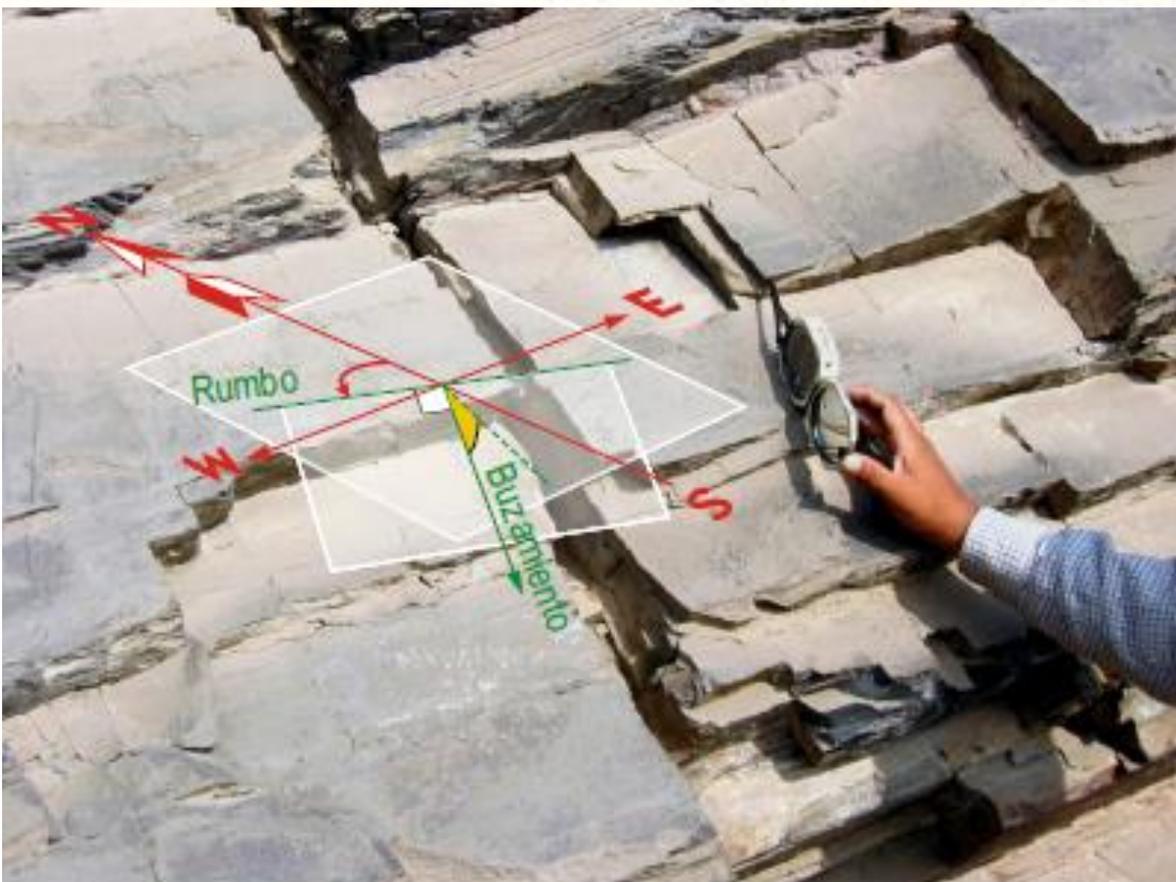


MATEO SULLA YAGRECO PUCQUIO
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. N° 25379

Anexo H3. Resultados de ensayo de especímenes de laboratorio.
 Fuente: MRP-Servicios especiales.

 <p><i>Marcia Rojas Padilla</i> Servicios Especializados en Mecánica de Suelos Perforaciones en Diamantina, SPT, Cono Peck, Sistema Wash Boring, Fabricación e Instalación de Piezómetros y Ensayos Especiales In-Situ</p>							
<p>ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS (PARAMETROS GEOMECHANICOS)</p>							
<p>PROYECTO: Unidad San Cristóbal – Propiedades físicas de testigos</p>							
<p>SOLICITANTE: Area geomecánica - Unidad San Cristóbal - Compañía Minera Volcán S.A.A.</p>							
Item	Descripción	Muestra (Roca)	Densidad Nat. (ton/m ³)	Resistencia		Resistencia	
				Drenado		No drenado	
				Cohesión (C) Ton/m ²	Angulo de fricción interna (Ø)°	Cohesión (C) Ton/m ²	Angulo de fricción interna (Ø)°
01	Filita silisificada	M-001	2.45	6	38	6	39
02	Filita serecitizada	M-002	2.88	6	38	6	38
03	Filita cloritizada	M-003	2.41	5	35	5	35
04	Caliza	M-004	2.46	8	34	8	35
05	Lava volcánico	M-005	2.76	8	39	8	39
06	Lava volcánico	M-006	2.25	10	39	10	38
07	Lava volcánico	M-007	2.29	10	39	10	39
08	Lava volcánico	M-008	2.26	9	39	9	38
09	Caliza	M-009	2.32	6	35	6	36
10	Caliza	M-010	2.30	5	32	5	32
11	Caliza	M-011	2.31	6	37	6	38
 MATEO QUIROGA PACHECO PUQUIO INGENIERO CIVIL REG. CIP. Nº 25379							

Anexo H4. Parámetros geomecánicos de especímenes.
 Fuente: MRP-Servicios especiales



Anexo H5. Análisis estructural con brújula
Fuente. Área de planeamiento – Unidad San Cristóbal.

ANEXO I

Anexo II. Sinopsis de Registro lineal nivel. 920 – 1020 subnivel. 308 – 2, progresiva 00,00 – 26,00 m.

N° Discontinuidad	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Espacio	Persistencia	Apertura			Rugosidad	Relleno-espesor	Meteorización	Agua subterránea
1	75	211			2	2	2	2	1	1	1
2	74	264			2	2	2	2	1	2	1
3	28	346			3	2	2	2	1	2	1
4	84	80			4	4	3	1	2	2	1
5	60	73			3	3	2	2	2	2	1
6	81	267			2	3	1	2	3	1	1
7	22	357			3	3	2	1	2	2	1
8	83	82			2	3	3	1	3	3	2
9	68	197			1	2	4	2	4	4	1
10	75	268			2	1	5	2	3	3	1
11	26	347			3	2	4	3	2	2	1
12	82	79			2	3	3	3	3	1	2
13	64	202			1	2	4	3	4	2	1
14	78	265			2	2	3	4	3	3	2
15	26	340			3	3	2	3	2	4	2
16	85	83			4	2	3	4	2	3	2
17	68	200			3	2	4	5	2	2	1
18	69	264			4	3	3	4	3	1	1
19	29	339			5	4	2	3	4	2	2
20	53	81			4	4	3	4	3	3	1
21	63	200			5	5	3	3	2	4	1
22	61	267			4	5	3	3	2	3	1
23	30	336			3	5	3	3	3	4	1
24	52	86			4	4	3	2	4	3	2
25	64	204			3	5	3	3	3	3	1
26	62	88			3	4	4	4	2	3	1
27	35	351			4	3	4	3	2	2	1
28	53	84			4	4	5	2	3	2	1
29	57	198			5	3	4	3	4	2	2
30	69	273			4	4	3	3	3	2	1
31	43	336			4	4	2	4	2	1	1
32	40	75			4	3	1	3	2	2	1
33	63	201			4	4	2	3	2	1	2
34	75	274			2	5	3	2	3	2	1
35	41	332			3	4	2	3	4	2	1
36	39	74			4	3	1	2	3	2	1
37	57	203			5	3	2	1	2	3	1

Anexo I2. Mapeo geomecanico de RMR nivel. 920 – 1020, subnivel 308 – 2, progresiva 00,00 – 26,00m.

REGISTRO LINEAL		UNIDAD SAN CRISTOBAL		OFICINA CORPORATIVA										
N42° E: Nivel 920-1020		COMPañÍA MINERA VOLCAN S.A.A.		Av. Manuel Olguin 375, Piso 7 Urb. Los Granados Santiago de Surco, Lima, Perú Tel : +51 1 416 7000 Fax: +51 1 416 7494										
SN 308-2		VOLCAN COMPañÍA MINERA S.A.A		EJECUTADO										
Hoja N°:01		AREA DE GEOLOGÍA Y GEOMECAÁNICA		Ing°:										
ESTACION: 001		PROYECTO: Nivel 920-1020,SN 308-2.		Revisado por:										
Inclinació n: 000°		MAPEO GEOMECANICO: PROGRESIVA 00.00-26.00 m.		Diseño por:										
Dirección N42° E: SN308-2		TIPO DE ROCA: Andesita alterada		Fecha:										
Diaclasses	Tipo de estructura	Orientación	Espaciado (mm)	Persistencia (m)	Terminación	Apertura(mm)	Rugosidad	Relleno		Ondulación	Meteorización	Agua subt.	N° de juntas con similares propiedades	Observaciones
								Tipología	Esesor					
1	J	75	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	P. Inicio
2	J	74	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1		
3	J	28	3	2	1	2	2	1	2	2	2	1		
4	J	84	4	4	1	3	1	1	2	3	2	1		
5	J	60	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1		
6	J	81	2	3	1	1	2	1	2	3	1	1		
7	J	22	3	3	1	2	1	3	3	2	2	1		
8	J	83	2	3	1	3	1	2	2	3	3	2		
9	J	68	1	2	2	4	2	3	3	2	4	1		
10	J	75	2	1	1	5	2	1	2	2	3	1		
11	J	26	3	2	1	4	3	2	2	3	2	1		

Anexo I3. Sinopsis de registro lineal nivel 920 -1020, subnivel 308-2, progresiva 00,00 – 26,00 m.

N° Discontinuidad	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Espacio	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno-espesor	Meteorización	Agua subterránea
38	76	275	4	3	3	2	2	2	1
39	42	335	3	4	4	3	2	3	1
40	41	73	2	5	3	2	2	4	2
41	56	204	3	4	2	2	3	2	2
42	74	267	4	4	3	2	4	2	2
43	45	347	4	4	4	3	3	3	1
44	47	64	2	3	3	2	3	2	1
45	48	200	3	4	3	3	2	3	1
46	70	260	4	4	3	4	1	2	1
47	47	342	3	4	4	3	2	3	1
48	37	59	4	5	3	4	2	2	2
49	57	192	3	4	4	3	2	2	1
50	61	261	3	4	5	4	2	2	1
51	51	350	4	4	3	5	2	2	1
52	55	61	5	4	4	4	2	3	1
53	62	189	4	4	3	3	2	2	1
54	65	265	5	2	3	2	2	3	1
55	50	349	4	3	3	3	3	4	1
56	72	64	3	4	3	4	2	3	1
57	67	190	2	4	2	3	2	2	1
58	59	263	3	3	3	3	2	2	1
59	52	339	4	4	3	3	2	2	1
60	73	72	3	3	3	3	3	3	2
61	63	195	2	3	4	3	2	4	2
62	64	260	2	2	3	4	1	1	2
63	53	340	3	2	4	3	2	1	3
64	75	80	4	2	3	2	3	2	2
65	58	203	3	3	3	3	2	3	2
66	58	352	4	3	3	4	3	2	2
67	72	79	5	3	2	3	2	3	1
68	59	201	4	4	3	2	3	2	2
69	71	82	3	4	3	3	2	2	2
70	56	205	3	4	3	4	2	3	2
71	75	88	4	5	4	3	2	2	2
72	73	80	5	4	2	4	2	2	3
73	61	82	4	3	2	2	3	2	
74	74	83	4	4	3	3	3	3	2

Anexo I4. Sinopsis de dominio estructural nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 2, progresiva 00,00-26,00 m.

SINOPSIS DE DOMINIO ESTRUCTURAL

Nivel 920 - 1020, SN 308 - 2, progresiva 00.00 - 26.00

Litología estructural (Filita silicificada)	Orientación (Bz/DBz)	Total de discontinuidades	Discontinuidades en 1m	Espaciado (mm)	Persistencia (m)	Apertura (mm)	Rugosidad	Relleno - espesor (mm)	Meteorización	Agua subterránea	Resultados cuantitativos		
											Dirección de subnivel (SN)	Descripción de resultados	
Familias	Set N° 1	61/200	18	4	3	4	3	3	2	2	1		
	Set N° 2	70/266	15	3	4	4	3	2	3	2	1		
	Set N° 3	40/343	17	3	3	4	4	3	2	2	1		
	Set N° 4	63/078	24	4	4	4	3	2	2	2	1		
	Valor representativo	63/078	24	14 disc. Por m3	3	4	3	3	2	2	1		
					3.200 - 600	4.10 - 20	3. Ang. 0.1-1.0	3. Med.Rugosa	4. Suave <5mm	2. Ligera	1. Seco		
					N78°E Avance en sentido de buzamiento (condición regular)								
					N05°W dirección casi perpendicular al subnivel 308 - 2, nivel 920 - 1020								

RocLab - [RocLab1]

File Edit View Analysis W

Hoek-Brown Classification

sigci MPa

GSI

mi

D

Hoek-Brown Criterion

mb

s

a

Failure Envelope Range

Application: ▼

sig3max MPa

Unit Weight MN/m³

Tunnel Depth m

Mohr-Coulomb Fit

c MPa

phi deg

Rock Mass Parameters

sigt MPa

sigc MPa

sigcm MPa

Em MPa

Anexo I5. Panel de ingreso de datos de macizo rocoso nivel 920 - 1020, subnivel 308-1, subnivel 308-2

RocLab - [RocLab1]

File Edit View Analysis W

Hoek-Brown Classification

sigci MPa

GSI

mi

D

Hoek-Brown Criterion

mb

s

a

Failure Envelope Range

Application:

sig3max MPa

Unit Weight MN/m³

Tunnel Depth m

Mohr-Coulomb Fit

c MPa

phi deg

Rock Mass Parameters

sigt MPa

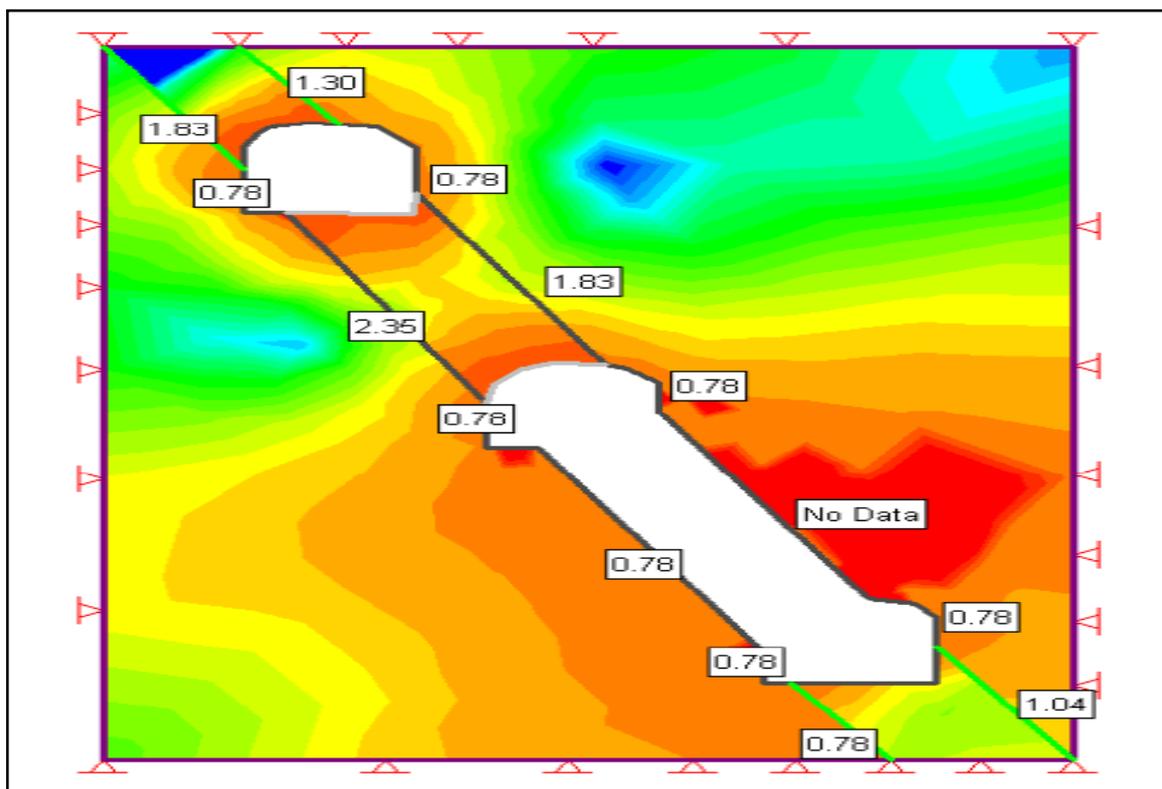
sigc MPa

sigcm MPa

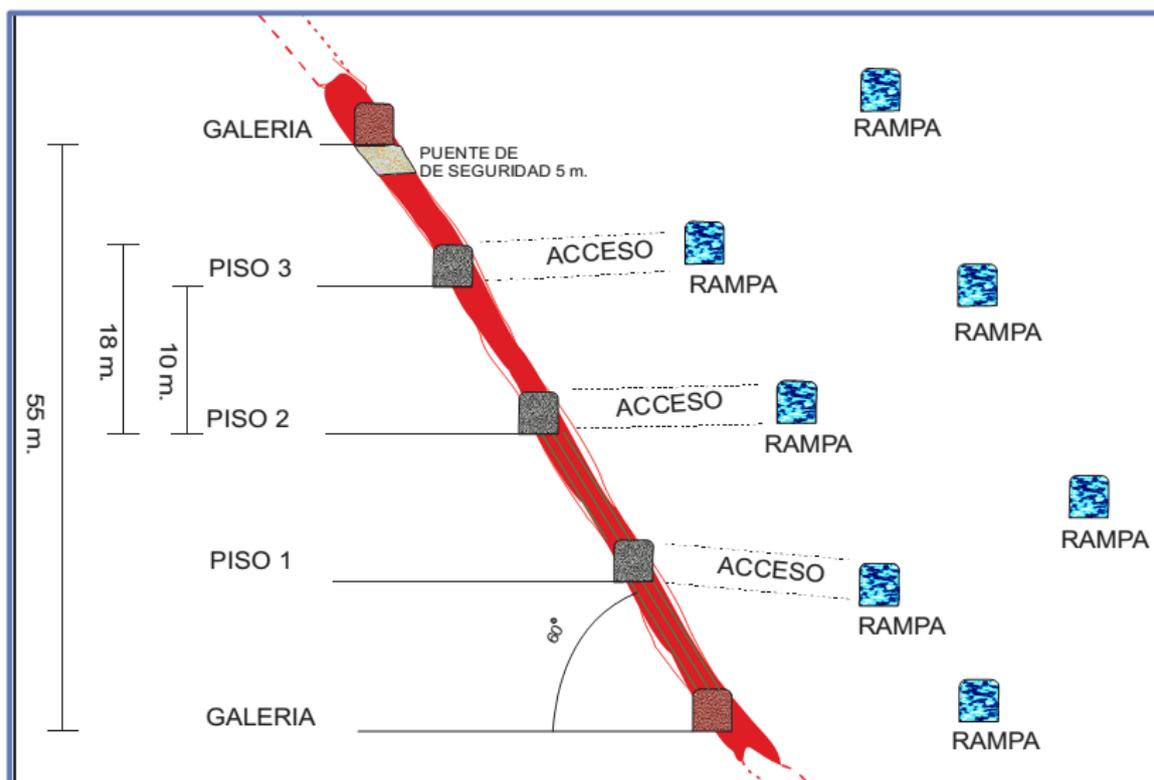
Em MPa

Copy Data

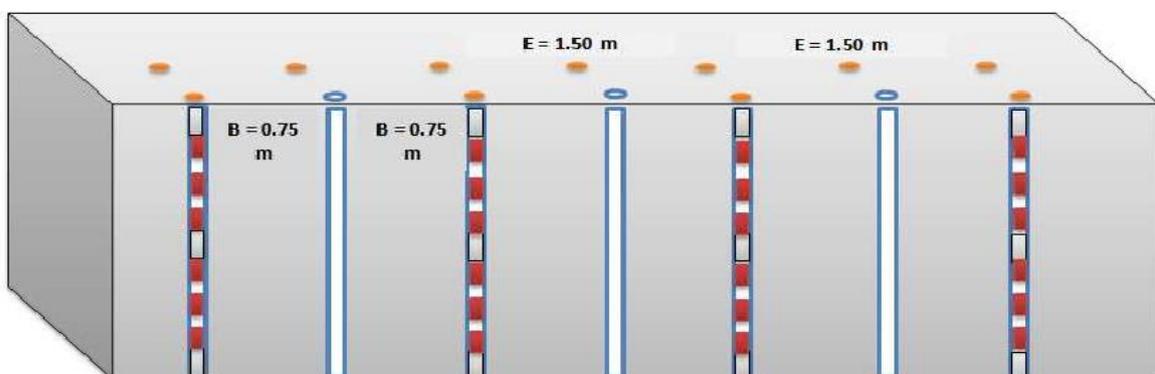
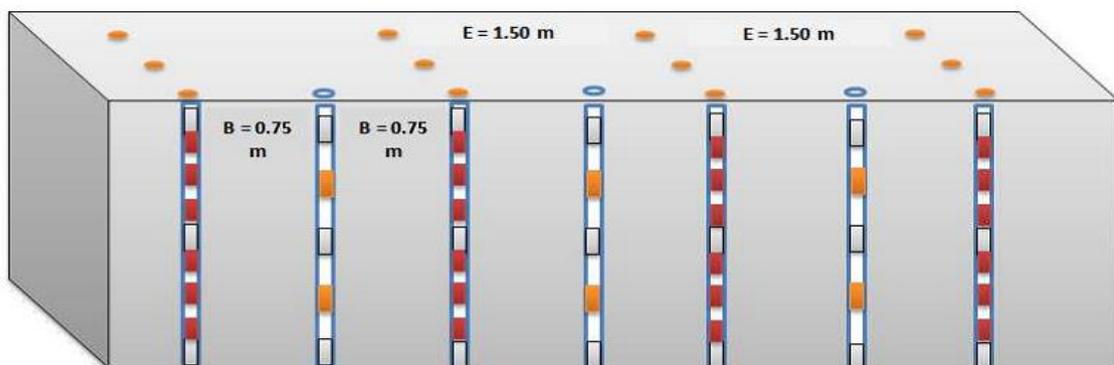
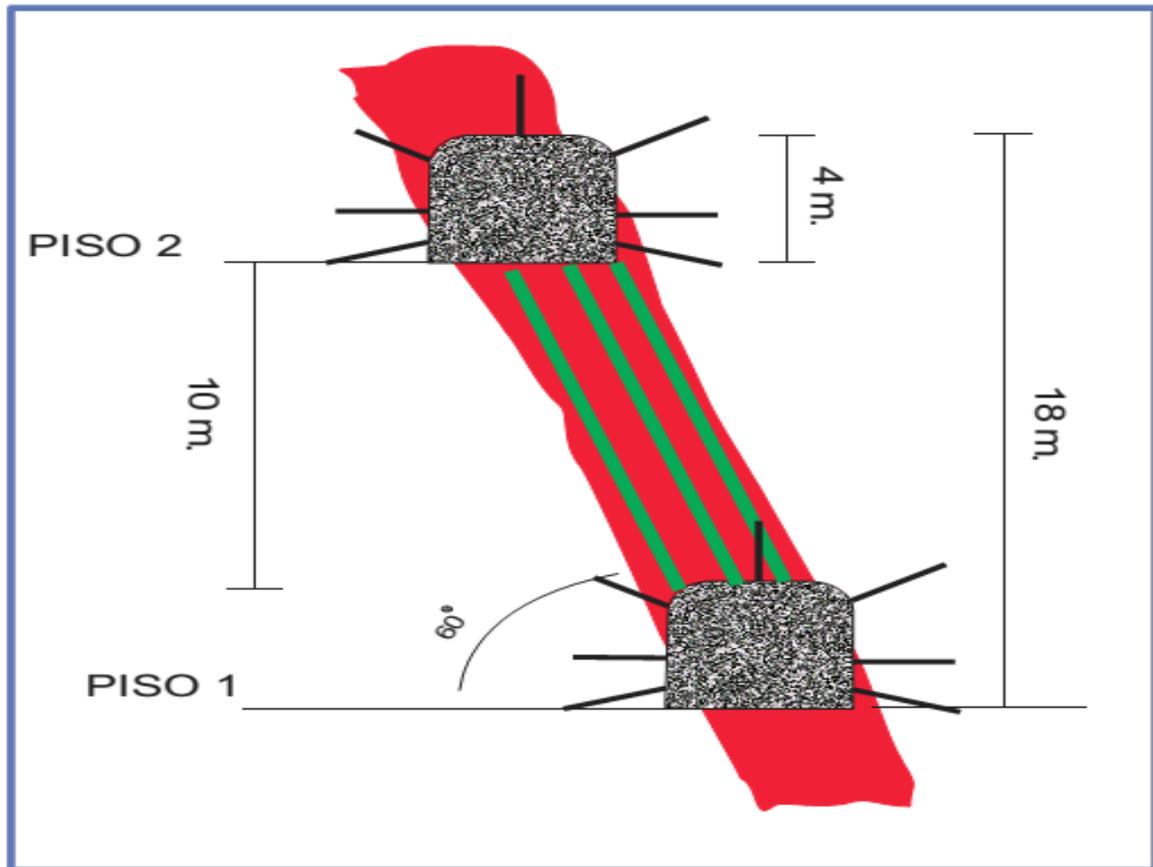
Anexo I6. Panel de ingreso de datos de veta Virginia nivel 920 - 1020, subnivel 308-1, subnivel 308-2



Anexo I7. Fluencia de esfuerzos nivel 920 - 1020, subnivel 308 - 1, subnivel 308 - 2 subnivel 308 - 3

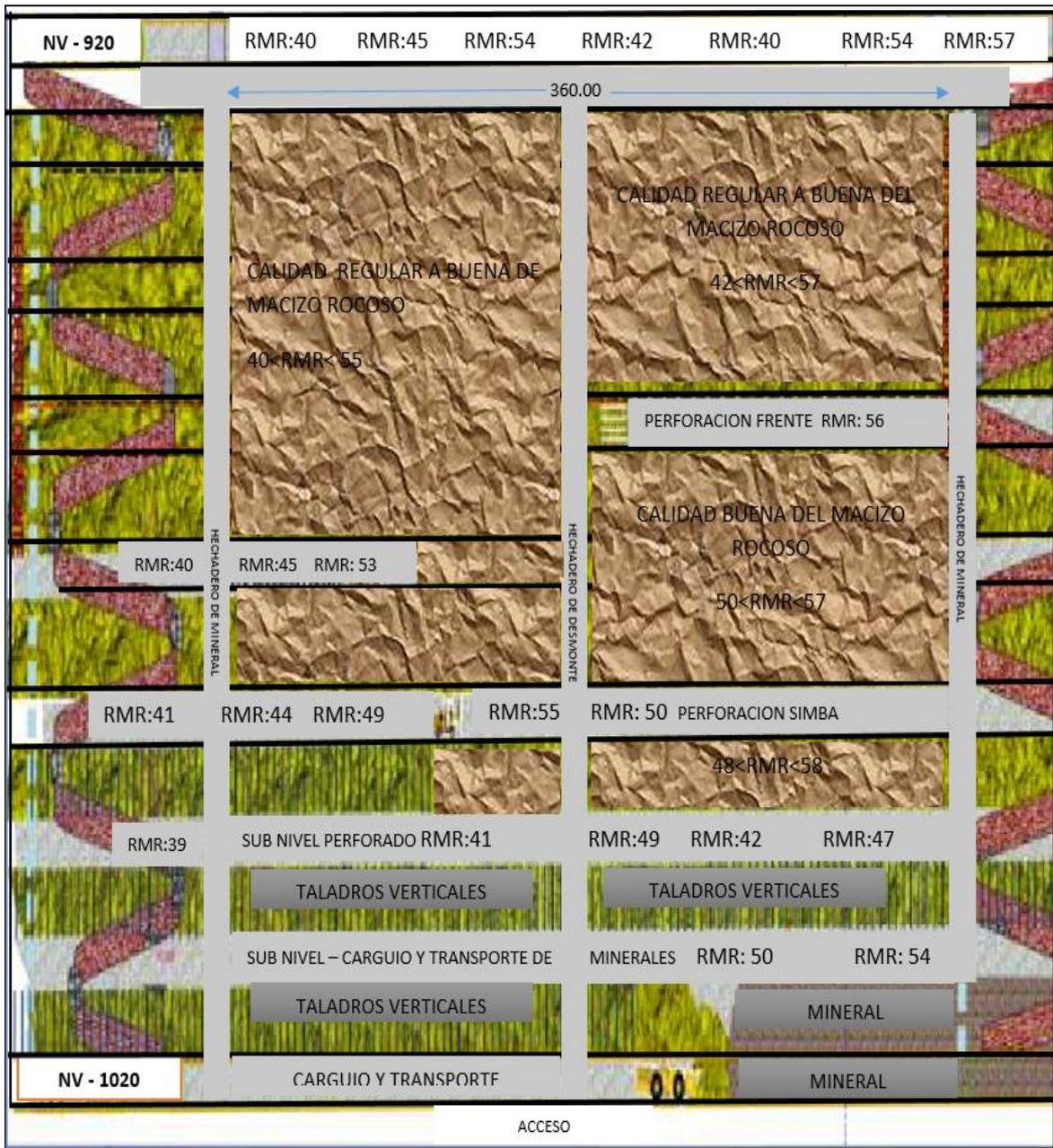


Anexo I8. Sección típica de banqueo 55 m.
Fuente. Aplicación de taladros largos - Calla J, Conde M., Vásquez O. (2012).



Anexo I9. Taladros negativos paralelos al buzamiento de la veta.
 Fuente. Aplicación de taladros largos - Calla J, Conde M., Vásquez O. (2012).

ANEXO J



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
 ÁREA DE GEOLOGÍA Y GEOMECAÁNICA

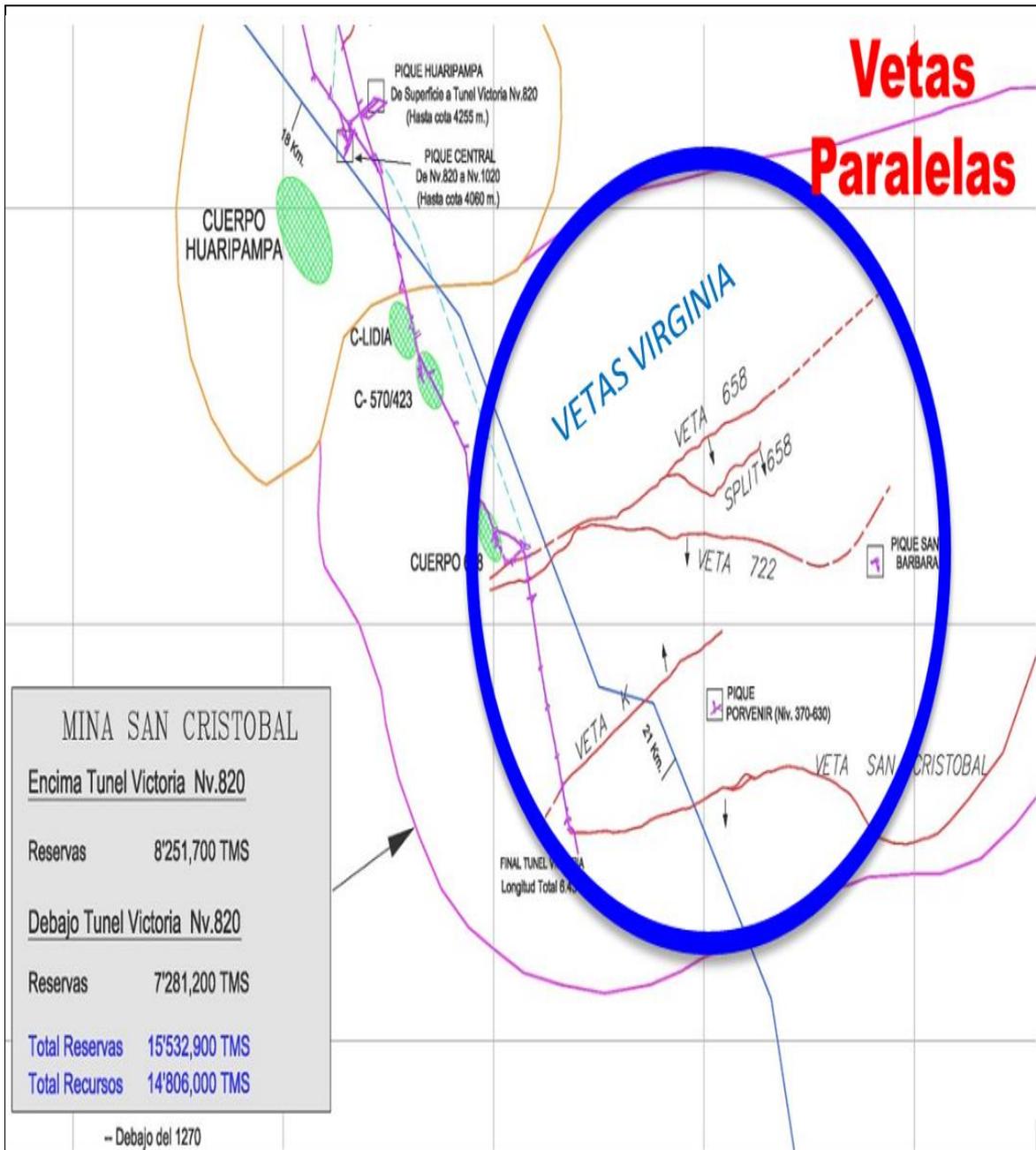
ZONIFICACIÓN GEOMECAÁNICA DE LABORES MINERAS VETA VIRGINIA
 UNIDAD SAN CRISTOBAL COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.

ESCALA: INDICADA

DISEÑO: Área Geología y geomecánica - R.S. VILLALTA C.

Fecha: Enero 2017

Anexo J1. Calidad del macizo rocoso nivel 920 – 1020 veta Virginia



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ÁREA DE GEOLOGÍA Y GEOMECAÁNICA

VETAS PARALELAS VIRGINIA UNIDAD SAN CRISTOBAL COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.

ESCALA: INDICADA

DISEÑO: Área Geología y geomecánica - R.S. VILLALTA C.

Fecha: Enero 2017

Anexo J2. geometria del depósito mineral nivel 920 – 1020 veta Virginia