

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA PROPONER MÉTODO DE
EXPLOTACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO POBLADO
CHANTA ALTA - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA**

Para optar Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. ZAMBRANO CHILON CHRISTIAN JHULINIO

Asesor:

M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

**CAJAMARCA - PERÚ
2025**

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: CHRISTIAN JHULINIO ZAMBRANO CHILON

DNI: 77170194

Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

2. Asesor: M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Facultad: Ingeniería

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA PROPONER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA –
CENTRO POBLADO CHANTA ALTA - LA ENCAÑADA – CAJAMARCA

Fecha de evaluación: 09/01/2026

6. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

7. Porcentaje de Informe de Similitud: 8%

8. Código Documento: Oide:3117:545081206

9. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 09/01/2026



FIRMA DEL ASESOR
Roberto Severino Gonzales Yana



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 09/01/2026 17:33:27-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA PROPOSICIÓN MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA - CENTRO POBLADO CHANTA ALTA - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0055-2026-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 13 de enero de 2026, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diecisésis días del mes de enero de 2026**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA PROPOSICIÓN MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA - CENTRO POBLADO CHANTA ALTA - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA*, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **CHRISTIAN JHULINIO ZAMBRANO CHILON**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : **04** PTS.

EVALUACIÓN PÚBLICA : **11** PTS.

EVALUACIÓN FINAL : **15** PTS

..... **QUIENES** (En letras)

En consecuencia, se lo declara **QUIENES** con el calificativo de **QUIENES** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **11.00 am** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios Todopoderoso por su guía y acompañamiento constante en cada etapa de mi vida, y por permitirme formar parte de la Universidad Nacional de Cajamarca, en la carrera profesional de Ingeniería de Minas. Expreso mi reconocimiento a los docentes y técnicos de laboratorio por la transmisión de sus conocimientos y experiencias, que contribuyeron de manera significativa a mi formación académica y profesional.

De igual forma, manifiesto mi agradecimiento a mi familia por su permanente apoyo y motivación para alcanzar el objetivo de culminar la tesis profesional. Finalmente, extiendo mi gratitud al M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino por su valiosa participación y aportes en el desarrollo y mejora del presente trabajo de investigación.

CJZC

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicado a mi querida madre: Petronila Chilon Tejada, porque siempre me inculco: Respeto, educación y esfuerzo, para lograr siempre el objetivo de ser cada vez mejor persona. Así mismo tengo unas emotivas palabras a mi esposa e hijo, por apoyarme siempre con cada meta o propósito proyectado siendo también, parte de este propósito profesional de superación continua de llegar a ser Ingeniero de Minas.

También plasmó estas palabras a mis hermanos, por sus palabras de aliento constante en cada momento de mi vida, forjando actitud de fuerza y emprendimiento.

CJZC

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	4
2.1.1 Internacionales	4
2.1.2 Nacionales	5
2.1.3 Locales.....	6
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1 Caracterización Geotécnica.....	7
2.2.2 Criterios de resistencia de materiales	11
2.2.3 Método de explotación a cielo abierto	15
2.2.4 Diseño de tajo.....	19
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	24

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN	26
3.2 ACCESIBILIDAD	27
3.3 METEOROLOGÍA Y VEGETACIÓN	29
3.4 HIDROLOGÍA	30
3.5 HIDROGEOLOGÍA	33
3.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	33
3.7 GEOMORFOLOGÍA.....	34
3.8 SISMICIDAD	36

	Pág.
3.9 RECURSOS	37
3.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.10.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación.....	38
3.10.2 Población.....	39
3.10.3 Muestra	39
3.10.4 Unidad de análisis	39
3.10.5 Recopilación y procesamiento de información.....	39
3.10.6 Equipos, materiales y soporte computacional.....	40

CAPÍTULO IV **PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	42
4.1.1 Geología local.....	42
4.1.2 Geotecnia.....	45
4.1.3 Inestabilidad del tajo de explotación	57
4.1.4 Método de explotación.....	58
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	60

CAPÍTULO V **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES	61
5.2 RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

ANEXOS

ANEXO A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	68
ANEXO B: REGISTRO GEOMECÁNICO	71
ANEXO C: PLANOS	81

LISTA DE ABREVIATURAS

UNAM	:	Universidad Nacional Autónoma de México.
AIME	:	Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.
bmh - MT	:	Bosque muy húmedo – Montano tropical.
S.A.C.	:	Sociedad anónima cerrada.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
et al.,	:	Y otros.
UCS	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
σ_{ci}	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_3máx$:	Tensión de confinamiento.
$\sigma't$:	Resistencia a la tracción
$\sigma'ct$:	Resistencia global.
σ_1	:	Esfuerzo principal mayor.
σ_3	:	Esfuerzo principal menor.
T	:	Esfuerzo de corte.
σ_n	:	Esfuerzo normal.
$\sigma'cm$:	Resistencia del macizo rocoso.
σ_0	:	Esfuerzo vertical.
<i>mi</i>	:	Constante de Hoek & Brown.
<i>mb</i>	:	Constante de Hoek & Brown.
s, a	:	Constantes de Hoek & Brown.
c	:	Cohesión.
ϕ	:	Ángulo de fricción.
Ei	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
Em	:	Módulo de deformación.
MR	:	Relación del módulo.
D	:	Factor de disturbancia.
NACAP	:	Universidad Tecnológica de Chile.
Pi	:	Pendiente de tramo (%).
$Ci+1 - Ci$:	Diferencia de cota del tramo.
Ai	:	Ancho de tramo.
Ri	:	Radios de curvatura en el tramo.
Lri	:	Longitud real del tramo.
Lai	:	Longitud aparente del tramo.
BS	:	Baranda de seguridad.
Ac	:	Ancho del camión.
Ds	:	Distancia de seguridad.
DD	:	Derrames.
RGc	:	Radio de giro del equipo de carguío o radio de Operación.

AMc	:	Ancho mínimo de carguío.
DD	:	Derrames
Ψ_T	:	Buzamiento del talud.
H	:	Altura de talud
Sh	:	Sísmica horizontal.
Sv	:	Sísmica vertical.
E.30	:	Norma técnica.
S	:	Perfil de suelo.
Z	:	Zona sísmica.
T_p	:	Período que define la plataforma de factor C.
T_L	:	Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.
C	:	Factor de amplificación sísmica.
S	:	Factor de suelo.
ab	:	Ángulo de talud.
ar	:	Ángulo interrampa.
b	:	Ancho de berma.
hb	:	Altura de banco.
br	:	Ancho de rampa.
qb	:	Ancho de quebradura.
a0	:	Ángulo global.
hr	:	Altura de interrampa.
h0	:	Altura global.
8:2	:	Sección de corte.
I, II	:	Clase o tipo de roca.
R2, R3	:	Grado de estimación de roca.
λ	:	Landa.
L	:	Longitud.
14-f	:	Cuadrángulo geológico.
Esc.	:	Escala.
D	:	Dip.
DD	:	Dip direction.
vs.	:	Versus.
GPa	:	Giga pascales.
Kcal	:	Kilocalorías.
Kg.	:	Kilogramos.
Ma.	:	Millones de años
J1	:	Junta.
TM	:	Toneladas métricas.
Ha.	:	Hectárea.
\pm	:	Mas o menos.
Pe	:	Peso específico.
Av.	:	Avenida.
DG	:	Diseño geométrico
EGM-01	:	Estación geotécnica.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD). Fuente: Fue tomado de González 2002.	6
Cuadro 2.2. Clasificación geomecánica RMR ₈₉ . Fuente: Fue tomado de González 2002.	7
Cuadro 2.3. Calidad de macizos rocosos con relación al índice RMR ₈₉ . Fuente: Fue tomado de González 2002.	8
Cuadro 2.4. Valores caracterización de masas de rocas laminadas en base a: Foliación y discontinuidad. Fuente: Fue tomado de Wyllie y Mah 2004.	9
Cuadro 2.5. Dimensiones para construcción de banquetas. Fuente: Fue tomado de Escavy, et al. 1997.	20
Cuadro 3.1. Coordenadas de concesión Chaupiloma Nueve.	25
Cuadro 3.2. Coordenadas y área de terreno superficial.	26
Cuadro 3.3. Ruta de accesibilidad área de investigación – Mina Vieja – Empresa JHYOS MINERA S.A.C.	26
Cuadro 3.4. Precipitación máxima en 24 horas en base a la estación meteorológica La Encañada.	30
Cuadro 3.5. Aceleración sísmica horizontal y vertical en las estaciones geotécnicas.	36
Cuadro 3.6. Estimación de reservas de carbón de la Mina Vieja.	36
Cuadro 3.7. Estimación de vida del proyecto.	36
Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica mediante Criterios empíricos del tajo de explotación – Mina Vieja.	45
Cuadro 4.2. Constantes elásticas del macizo rocoso de la Mina Vieja.	55
Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico, EGM-01 carbón antracita.	71
Cuadro 5.2. Registro geológico-geotécnico, EGM-01 carbón bituminoso.	72
Cuadro 5.3. Registro geológico-geotécnico, EGM-01 toba piroclástica.	73
Cuadro 5.4. Registro geológico-geotécnico, EGM-02 carbón antracita.	74
Cuadro 5.5. Registro geológico-geotécnico, EGM-02 carbón bituminoso.	75
Cuadro 5.6. Registro geológico-geotécnico, EGM-02 toba piroclástica.	76
Cuadro 5.7. Registro geológico-geotécnico, EGM-03 carbón antracita.	77
Cuadro 5.8. Registro geológico-geotécnico, EGM-03 carbón bituminoso.	78
Cuadro 5.9. Registro geológico-geotécnico, EGM-03 toba piroclástica.	79

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 2.1. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb. Fuente: Fue tomado de Wyllie y Mah 2004.	12
Figura 2.2. Relación para el cálculo de $\sigma'_{3\max}$ para los parámetros equivalentes de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown para taludes. Fuente: Fue tomado de Wyllie y Mah 2004.	13
Figura 2.3. Sistema de explotación en la mina de carbón a cielo abierto, típico en Australia. Fuente: Fue tomado de Westcott, Pitkin y Aspinall 2009.	14
Figura 2.4. Dragalina típica en funcionamiento en la región de Hunter Valley en Nueva Gales del Sur. Fuente: Fue tomado de Mitra y Saydam 2012.	15
Figura 2.5. Sección de trabajo de dragalina. Fuente: Gianazza, 2010.	16
Figura 2.6. Corte: Cerrado y longitudinal, y pilas de escombros. Fuente: Fue tomado de Humphrey 1984.	17
Figura 2.7. Visualización de operación de camión y pala en la región de Hunter Valley en Nueva Gales del Sur. Fuente: Fue tomado de Mitra y Saydam 2012.	17
Figura 2.8. Sistema de minería integrado: combinación de métodos de camión, pala y dragalina. Fuente: Fue tomado de Fox 2011.	18
Figura 2.9. Geometría típica de talud a tajo abierto mostrando la relación entre el ángulo de talud general, el ángulo inter-rampa y geometría del banco. Fuente: Fue tomado de Wyllie y Mah 2004.	19
Figura 2.10. Diseño de banquetas de protección frente a desprendimientos. Fuente: Fue tomado de Escavy et al. 1997.	20
Figura 2.11. Diseño de rampa. Fuente: Fue tomado de NACAP 2022.	21
Figura 2.12. Pendientes máximas (%) de carreteras. Fuente: Fue tomado de DG 2018.	21
Figura 2.13. Ancho de carguío en operación de extracción. Fuente: Fue tomado de NACAP 2022.	22
Figura 3.1. Ruta de accesibilidad a la zona de Investigación. B. Ingreso a las instalaciones de la Mina Vieja. Fuente: Fue tomado de Google Maps 2025.	27

	Pág.
Figura 3.2. Ingreso a las operaciones extractivas de la Empresa Mina Vieja, presentando vías en malas condiciones	28
Figura 3.3. Climograma meteorológico de la estación: La Encañada, con valores: Temperatura y precipitación. Fuente: Fue tomado de SENAMHI 2024.	29
Figura 3.4. Drenaje de las cumbres del centro poblado Chanta Alta, evacuando las aguas a la quebrada Collpa. Fuente: Google EarthPro 2025.	30
Figura 3.5. Histograma de precipitación máxima anual desde el año: 2017 hasta 2024.	31
Figura 3.6. Variograma de la precipitación máxima – Estación La Encañada.	32
Figura 3.7. Desplazamiento gravitatorio (Falla) tiene orientación (Az/Bz): N12°/82°SE, con salto de falla 0.13 m., con coordenadas: N9237380/E776074.	33
Figura 3.8. Geomorfología del entorno de exploración del yacimiento de carbón, conformado por: Planicies y lomadas.	34
Figura 4.1. Secuencia litológica del emplazamiento del carbón: Antracítico y bituminoso, con intercalaciones de tobas piroclásticas, con estrato: Horizontal a subhorizontal, de orientación (Az/Bz) N240°/11°NW.	42
Figura 4.2. Litología sedimentaria no metálica de carbón: Antracítico y bituminoso, de espesor: 0.50 m. a 0.65 m., infrayaciendo las tobas piroclásticas en la caja piso.	43
Figura 4.3. Perfil estratigráfico de la parte superior del tajo, evidenciándose Depósito Lacustre de 0.30 m. y depósito piroclástico 17.50 m. de espesor.	44
Figura 4.4. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón antracita EGM-01, RocData.	46
Figura 4.5. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón antracita EGM-02, RocData.	47
Figura 4.6. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón antracita EGM-03, RocData.	48

	Pág.
Figura 4.7. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón bituminoso EGM-01, RocData.	49
Figura 4.8. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón bituminoso EGM-02, RocData.	50
Figura 4.9. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón bituminoso EGM-03, RocData.	51
Figura 4.10. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Toba piroclástica EGM-01, RocData.	52
Figura 4.11. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Toba piroclástica EGM-02, RocData.	53
Figura 4.12. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Toba piroclástica EGM-03, RocData.	54
Figura 4.13. Inestabilidades en sector Norte del tajo de explotación, relacionándose con deslizamiento rotacional compuesto, por las secuencias progresivas de escarpas de asentamiento posteriores de la corona del talud.	56

RESUMEN

La Mina Vieja se ubican en NW de Cajamarca, en el caserío: Nuevo Triunfo, centro poblado: Chanta Alta, distrito La Encañada, provincia y departamento Cajamarca, realizando actividades de pequeña minería, en la extracción de carbón: Bituminoso y antracítico; planteando como objetivos: Elaborar el cartografiado geológico y geotécnico, obtener los parámetros geotécnicos de los materiales litológicos, determinar la inestabilidad de taludes del tajo del frente de explotación y proponer el método de explotación del tajo; mediante metodología: No experimental, transversal, analítica y deductivo-inductivo. La litología está conformada por mantos de carbón: Antracita y bituminoso, con intercalaciones de tobas piroclásticas del Volcánico Frailones, ubicado dentro de su secuencia volcánica. Geotécnicamente conformado por mantos de calidad: Muy mala - Bituminoso RQD = 17.43% a 23.55%, RMR = 13 a 18 y GSI = 8 a 15; mala -Antracita RQD = 28.73% a 34.77%, RMR = 32 a 37 y GSI = 27 a 32; y regular Tobas piroclásticas RQD = 37.83% a 46.80%, RMR = 46 a 59 y GSI = 41 a 51, por su alto grado de fracturamiento se utilizó método generalizado plasmando valores: $0.00000447 < s < 0.0005 \neq 1, 0.505 < a < 0.598 \neq 1/2, D = 0.70$. Por consiguiente, la inestabilidad se ubica al NW del tajo afectado tobas piroclásticas, presentado: Altura = 48 m. y longitud de ladera = 222 m., formando deslizamientos rotacionales compuestos. Aplicando como método de explotación a tajo abierto por banquetas con parámetros: Altura de banco 15 m., ancho de banco 7.50 m., quebradura 7 m., ángulo de talud 65° y ángulo de interrampa 50°. Así mismo, las operaciones de carguío son: Baranda de seguridad 4 m., distancia de seguridad 2.50 m., ancho de camión 3.50 m., radio de giro del equipo de carguío 10 m., derrames 1.50 m. y ancho mínimo de carguío 34m.

Palabras clave: Litología, geotecnia, inestabilidad, resistencia y tajo.

ABSTRACT

The Old Mine is located in NW of Cajamarca, in the hamlet: Nuevo Triunfo, populated center: Chanta Alta, district La Encañada, province and department Cajamarca, carrying out small mining activities, in the extraction of: Bituminous and anthracitic coal; proposing as objectives: To prepare the geological and geotechnical mapping, obtain the geotechnical parameters of the lithological materials, determine the instability of slopes of the pit of the exploitation face and propose the exploitation method of the pit; through methodology: Non-experimental, transversal, analytical and deductive-inductive. The lithology consists of coal seams: anthracite and bituminous, with intercalations of pyroclastic tuffs from the Frailones Volcanic Formation, located within its volcanic sequence. Geotechnically, it is composed of seams of the following quality: Very xiiiín – Bituminous RQD = 17.43% to 23.55%, RMR = 13 to 18 and GSI = 8 to 15; xiiiín – Anthracite RQD = 28.73% to 34.77%, RMR = 32 to 37 and GSI = 27 to 32; and regular pyroclastic tuffs RQD = 37.83% to 46.80%, RMR = 46 to 59 and GSI = 41 to 51. Due to their high degree of fracturing, a generalized method was used, yielding the following values: $0.00000447 < s < 0.0005 \neq 1$, $0.505 < a < 0.598 \neq \frac{1}{2}$, $D = 0.70$. Consequently, the instability is located to the NW of the affected pit, in pyroclastic tuffs, presenting: Height = 48 m and slope length = 222 m, forming compound rotational landslides. The open pit mining method was applied using benches with the following parameters: Bench height 15 m, bench width 7.50 m, breakage 7 m, slope angle 65° and inter-bench angle 50°. Likewise, the loading operations are: Safety rail 4 m., safety distance 2.50 m., truck width 3.50 m., turning radius of the loading equipment 10 m., spills 1.50 m. and xiiiínimum loading width 34 m.

Keywords: Lithology, geotechnics, instability, strength, open pit.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las operaciones no metálicas de la Mina Vieja se ubican en NW de la ciudad de Cajamarca en el centro poblado de Chanta Alta, en marcadas en la extracción, apilación, carguío, pesado y comercialización de carbón bituminoso. El yacimiento está conformado por secuencias e intercalaciones de carbón bituminoso, limolitas y lutitas de color gris a crema de 0.30 m. a 1 m. con orientación subhorizontal a horizontales en forma de mantos por la discontinuidad predominante del mineral no metálico, evidenciándose en algunos sectores del tajo afectaciones por las intensas lluvias ocasionando deslizamientos y enfangamientos de bermas siendo más peligroso en las épocas de precipitación porque aceleran los deslizamientos, al disminuir la cohesión y ángulo de fricción de la roca, siendo ayudado por la vibración constantes que realiza la maquinaria pesada por el trabajo continuo. Por tal motivo se desea diseñar y plasmar los nuevos bancos de explotación aplicando la geotecnia para así minimizar el deslizamiento y optimizar de explotación del tajo, por la extracción continua que se genera, llegando en algunos casos paralizaciones de maquinarias de producción por tal motivo se desea mejora la inestabilidad del tajo para optimizar el método de explotación acompañado de la producción y distribución de operaciones desde la fase: Pre minado y minado, utilizando actualmente la extracción mecanizada por bancos de explotación, a tajo abierto produciendo 2,000 Tn/mes, siendo de vital importancia para los proveedores de este recurso mineral. Formulando como problema: ¿Cuáles serán los parámetros de evaluación geotécnica, aplicando el método de explotación del tajo Mina Vieja – centro poblado Chanta Alta?

Mediante la justificación de investigación cual es la constante operatividad de la Mina Vieja está extrayendo minerales bituminosos no metálico, generando grandes movimientos de tierra para obtener el mineral bituminoso, siendo afectado en gran parte por las intensas lluvias; logrando paralizar las operaciones mineras, ocasionando disminución de la producción, así misma afectación del tajo de explotación.

Como hipótesis se plantea que la evaluación y determinación adecuada de los parámetros geotécnicos de los materiales presentes en la Mina Vieja (cohesión, ángulo de fricción interna, densidad y resistencia al corte), permitirá diseñar un método de explotación por bancos con taludes estables, reduciendo la ocurrencia de deslizamientos y optimizando la continuidad operativa del tajo a cielo abierto, consiguiendo una correcta metodología de avance y producción en el frente de extracción; y seguridad para los trabajadores. Brindando como alcance el análisis geotécnico y optimización del método de explotación de la Mina Vieja brindara nuevos alcances sobre producción y diseño de sistema de explotación a cielo abierto, siguiendo la metodología: Exploratoria, descriptiva y explicativa.

Mediante la delimitación espacial conformada por área está conformada por 2.5 Ha. de tajo de explotación y delimitación temporal está delimitado en función del avance de obtención de información de campo y procesamiento de gabinete, proyectando una duración de 9 meses; con limitación por el poco presupuesto para realizar ensayos especializados.

Planteando como objetivo general: Evaluar los parámetros geotécnicos para proponer el método de explotación de la Mina Vieja; y objetivos específicos: Elaborar el cartografiado geológico y geotécnico, obtener los parámetros geotécnicos de los materiales litológicos, determinar la inestabilidad de taludes del tajo del frente de explotación y proponer el método de explotación del tajo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Ramírez (2018) aportó que el carbón se encuentra emplazado en el sinclinal volcado en el flanco oriental invertido con buzamiento: 65° a 80°. Presentados parámetros fisicoquímicos: Humedad total 12.40%, cenizas 12.80%, materia volátil 42.30%, contenido de azufre 1.87% y poder calorífico 6,200 Kcal/Kg. Presentado reservas 15.10×10^6 TM de carbón a radio medio $7m^3/TM$ de carbón, con producción anual 1×10^6 TM/año. Utilizando el método de explotación a cielo abierto con parámetros de extracción de carbón de diseño de tajo: Altura de banco 20 m., anchura de berma 10 m., ángulo de talud 56° y ángulo de talud final 40°. Planteando el desmontera: Altura de banco 20 m., anchura de berma 8 m. – 14 m., ángulo de talud 34°, ángulo de talud final 26° y factor de esponjamiento 1.20.

De acuerdo con Corona et al. (2006), las rocas son de la edad: Jurásico Tardío al Cuaternario, y se estructuran bajo la forma de anticlinales y sinclinales de dimensiones relativamente grandes, presentando carbón sub-bituminoso apropiado para su transformación en coque, con volatilidad media a baja, con vitrinita asignando el poder reflector de 0.60% - 1.20%. Las reservas estimadas de carbón en estas subcuenca son de 1,200 millones de TM. Por consiguiente, en la Región de Mixtepec–El Consuelo–Tezoatlán se localiza mantos de carbón en la parte inferior de las Formaciones: Rosario, Zorillo y Simón del Jurásico Medio, constituidas por alternancia de areniscas, lutitas y limolitas, depositadas probablemente en ambiente deltaico. Presentando espesor de capas de carbón desde 0.15 m. a 3 m., estimando reservas mayores a 30 millones de TM de carbón. Por lo contrario, Sonora, muestra mantos de carbón - grafito, en la Formación Barranca del Triásico constituida por: Conglomerados, areniscas y limolitas rojas

con intercalaciones de lutitas y manto de carbón, con reservas 85 millones de TM estimadas.

Lozano, Ochoa y Camacho (2012) realizaron las exploraciones geológico-geomecánicas en 300 Ha, con perforación con diamantina dirigida 310.25 m. con 30° de buzamiento; definiendo litologías como: Lodolitas, limolitas, arcillolitas, arenisca y niveles de carbón, con método de explotación a cielo abierto con parámetros de diseño: Angulo de talud 35° (Flanco occidental) y 50° (Flanco oriental) y berma 5 m., profundidad total 80 m. soportando cada bando carga de 20 KN/m². Constituyendo 68x10⁶ millones m³. de material estéril para obtener 11x10⁶ millones m³. estimando producción 700,000 TM/año, proyectando vida útil 15 años.

Corrigan (2011) muestra que la mina de carbón a cielo abierto ubicada en el valle de Hunter, aproximadamente a 15 Km al sur de Singleton, Nueva Gales del Sur, produciendo alrededor 12 MTM/año, operando mediante sistema integrado, ubicándose las dragas en la parte inferior; utilizando 76 camiones desde 190 TM a 240 TM, presentando parámetros geométricos: talud 70°, talud final 45°, Proyectando vida útil hasta 2050.

2.1.2 Nacionales

Montes (2019) presenta reservas prospectivas de carbón: Bituminoso 40 millones de TM. y antracita 100 millones TM. Aplica el método de explotación mediante el método de Inclined and Sub Levels, por presentar la estructura buzamientos 35° a 92SW y rumbo N10° a 40°W y la geomecánica muestra: Densidad de carbón 1.50TM/m³, RMR = 15 a 25, rendimiento de avance 7.50 m³. Longitud de avance rebanado 1.00 m., numero de cuadrillas 04, producción 100TM/guardia.

2.1.3 Locales

Montoya (2019) define que se encuentra localizado en el caserío: Nuevo Triunfo, Centro Poblado: Chanta Alta, Distrito Encañada, Provincia y Departamento Cajamarca. El yacimiento no metálico se basa en la extracción de carbón: Bituminoso y antracítico, cubiertos por el Volcánico Huambos perteneciente al Cenozoico Terciario superior; con estrato: (Az/bz) N335°/30°NE. Presenta mantos de grosor 4.60 m., con intercalaciones de paquetes lutáceos de 2.50 m.; con reservas de carbón 1'432,994.14 m³. (2'292,790.62 TM), peso específico: 1.6 TM/m³., con producción 200 TM/día con vida estimada 36.74 años, planificando método explotación a tajo abierto.

Wilson (1984) da a conocer el enfoque del contexto geológico regional escala 1/100,000 en aspectos: Litológicos, estratigráficos, estructurales, tectónicos y plutonismo, con descripción de yacimientos y prospectos mineros; para: Interpretaciones, análisis y ubicación de formaciones geológicas, siendo de apoyo para geología local.

Monge y Navarro (2008), aportaron información detallada de la geología local, geoestructuras, cuerpos intrusivos y zonas mineralizadas; mediante planos y archivos editables de la carta geológica, sirviendo como base para exploraciones de yacimientos mineros potenciales.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2019), da conocer el Reglamento nacional de edificaciones comprendidas en los avances científicos en el campo de la sismología, afín de disminuir la vulnerabilidad de edificaciones, para así evitar las pérdidas de vidas humanas. Basada en la distribución espacial caracterizada por movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Caracterización Geotécnica

2.2.1.1 Criterios de clasificación de Macizos Rocosos

Las clasificaciones de los macizos rocosos se basan en factores que determinan el comportamiento geomecánico como: propiedades de la matriz rocosa, frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen: grado de fracturación, tamaño y forma de los bloques del macizo. Sin embargo, la mayoría de estos se basa en observaciones: cualitativas y cuantitativas, por ello se hace muy importante las interpretaciones correctas, mediante las observaciones de campo, clasificándolos en tres criterios empíricos: RQD, RMR y GSI (Osinergmin 2017).

- **Índice de calidad de roca (RQD):** Desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso basándose, en mediciones de discontinuidades o juntas, expuestas en la superficie del macizo rocoso en relación con un metro lineal.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Ecuación 2.1

Donde: λ = Número de discontinuidades/ Longitud

Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD).

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

Fuente: Tomado de González de Vallejo 2002.

- **Valoración de la masa rocosa (RMR):** Introducido por Bieniawski (1976) formulándose hasta la actualidad la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensando para valorar la estabilidad y soportes requeridos en

túneles, resultando ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, teniendo en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso (Guzmán et al. 2016):

Cuadro 2.2. Clasificación geomecánica RMR₈₉.

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

Fuente: Tomado de González de Vallejo 2002.

- ❖ Resistencia de la matriz rocosa
- ❖ RQD
- ❖ Espaciado de discontinuidades
- ❖ Estado de las discontinuidades, que incluye:

- Longitud de la discontinuidad
 - Apertura
 - Rugosidad
 - Relleno
 - Alteración
- ❖ Flujo de agua freática

El puntaje total del RMR, está definido por:

$$RMR = (1 + 2 + 3 + 4 + 5) - 6 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Cuadro 2.3. Calidad de macizos rocosos con relación al índice RMR₈₉.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 – 81	> 4 Kg/cm ²	> 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	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Fuente: Tomado de González Vallejo 2002.

- **Índice geológico de resistencia (GSI):** El criterio de rotura basada en las observaciones geológicas del campo, particularmente para masas rocosas muy débiles, dio lugar a la introducción del Índice geológico de resistencia (GSI) por Hoek et al. (1992), Hoek (1994) y Hoek, Kaiser y Bawden (1995). Este índice se extendió posteriormente a las masas de roca débil en una serie de documentos de Hoek et al. (1998), Marinos y Hoek (2000, 2001) y Hoek y Marinos (2000). El GSI proporciona un sistema para estimar la reducción en la resistencia de la masa rocosa para diferentes condiciones geológicas. Los valores de GSI se relacionan tanto con el grado de fractura como con el estado de las superficies de fractura, como se muestra en el Cuadro 4.1, respectivamente, para masas de rocas altamente fracturadas.

Cuadro 2.4. Valores caracterización de masas de rocas laminadas en base a: Foliación y discontinuidad.

GSI PARA MACIZOS ROCOSOS HETEROGENEOS DE TEXTURA FLYSCH (Marinos P. and Hoek E. 2000)								CONDICIONES DE LA SUPERFICIE DE LA DISCONTINUIDAD (Predominancia de manteo de planos)	MUY BUENA: Superficies, muy rugosa, capas de superficie fresca BUENA: Superficie rugosa, ligeramente meteorizada, manchas de hierro REGULAR: Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y/o alteradas MALA: Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos compactados o rellenos fragmentados MUY MALA: Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.
COMPOSICION Y ESTRUCTURA									
	A. Estratos potentes de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de patinas pelíticas en los planos de estratificación es ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso; sin embargo, en tuneles poco profundos y/o taludes, esos planos de estratificación pueden generar inestabilidades controladas estructuralmente.							70	
	B. Arenisca con delgadas capas intercaladas de limolitas.		C. Arenisca y limolita en estratos similares.		D. Limolita o lutitas limosas con estratos de arenisca.		E. Limolita debiles o arcillas pizarrozas con estratos de arenisca.	60	A
	C,D,E y G. Puede ser mas o menos plegadas, como se ilustra, pero esto no cambia la resistencia. Si presenta deformacion tectonica, fallamiento y perdida de continuidad implica cambiar a las categorias F y H				F. Tectonicamente deformado, intensamente muy plegado/cizallado, material arcilloso a pizarroso o limoso con fragmentos de estratos de arenisca deformadas, formando casi una estructura caotica.			50	B
	G. Limos a arcillas pizarrozas no perturbadas con intercalaciones de estratos delgados de areniscas.				H. Limolita o arcillas pizarroosas, tectonicamente deformada, formando una estructura caotica con paquetes de arcilla. Estratos delgados de areniscas fracturados en pequeños bloques de roca			40	C D E
								30	F
								20	G H
								10	

Fuente: Tomado de Wyllie y Mah 2004.

La resistencia de la masa de roca diaclasada depende de las propiedades de los fragmentos de roca intactas, así como de la independencia de los fragmentos de roca para deslizarse y rotar en diferentes condiciones de tensión. Esta independencia está controlada por la forma geométrica de los fragmentos de roca intacta y el estado de las superficies que separan los fragmentos. Los fragmentos de roca angular con superficies limpias y rugosas darán como resultado una masa de roca mucho más fuerte que una que contiene partículas redondeadas rodeadas de material degradado y alterado.

2.2.2 Criterios de resistencia de materiales

- **Criterio generalizado Hoek-Brown**

El criterio de Hoek-Brown comenzó a partir de las propiedades de la roca intacta y luego introdujo factores para reducir estas propiedades basadas en las características de las juntas de la masa de roca. Buscando la vinculación el criterio empírico a las observaciones geológicas por medio de uno de los esquemas de clasificación de masa de roca disponibles y, para este fin, eligieron la clasificación de masa de roca propuesta por Bieniawski (1976). En consecuencia, se hizo necesario reexaminar estas relaciones e introducir nuevos elementos de vez en cuando para explicar la amplia gama de problemas prácticos a los que se aplicaba el criterio (Hoek et al., 2002). Las típicas mejoras fueron la introducción de la idea de las masas de roca "no perturbadas" y "perturbadas" Hoek y Brown (1988), y de un criterio modificado para forzar la resistencia a la tracción de la masa de roca a cero para las masas de roca de muy mala calidad (Hoek et al. 1992).

Además de los cambios en las ecuaciones, también se reconoció que la clasificación de la masa rocosa de Bieniawski ya no era adecuada como vehículo para relacionar el criterio de rotura con las observaciones geológicas en el campo, particularmente para masas rocosas muy débiles. Esto dio lugar a la introducción del Índice de resistencia geológica (GSI) por Hoek et al. (1992), Hoek (1994) y Hoek, Kaiser y Bawden (1995). Este índice se extendió posteriormente a las masas de roca débil en una serie de documentos de Hoek et al. (1998), Marinos y Hoek (2000, 2001) y Hoek y Marinos (2000).

El criterio generalizado de resistencia de Hoek-Brown se expresa en términos tensionales principales: mayores y menores, que modifica al método empírico a la siguiente manera:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left(m_b \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde m_b es un valor reducido de la constante del material m_i para la roca intacta y está dado por:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

D es un factor que depende del grado de perturbación al que la masa rocosa ha sido sometida por daños por voladura y relajación de tensiones. Varía desde 0 para masas de roca *in situ* no perturbadas hasta 1 para masas de roca muy perturbadas;

- **Criterio Mohr-Coulomb**

El análisis de la estabilidad del talud según Hoek-Brown (2002) implica la evaluación de la resistencia al corte de la masa rocosa en la superficie de deslizamiento expresada por el criterio de falla de Mohr-Coulomb. Por lo tanto, es necesario determinar los ángulos de fricción y las fuerzas de cohesión que son equivalentes entre los criterios de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb. Estas resistencias son necesarias para cada masa de roca y rango de tensión a lo largo de la superficie deslizante. Esto se hace ajustando una relación lineal promedio a la curva generada al resolver la ecuación 1 para un rango de valores de tensión principal menor

definidos por $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{3\max}$, como se ilustra en la Figura 2.2. El proceso de ajuste consiste en equilibrar las áreas por encima y por debajo de la superficie de Mohr – Coulomb (Wyllie y Mah 2004).

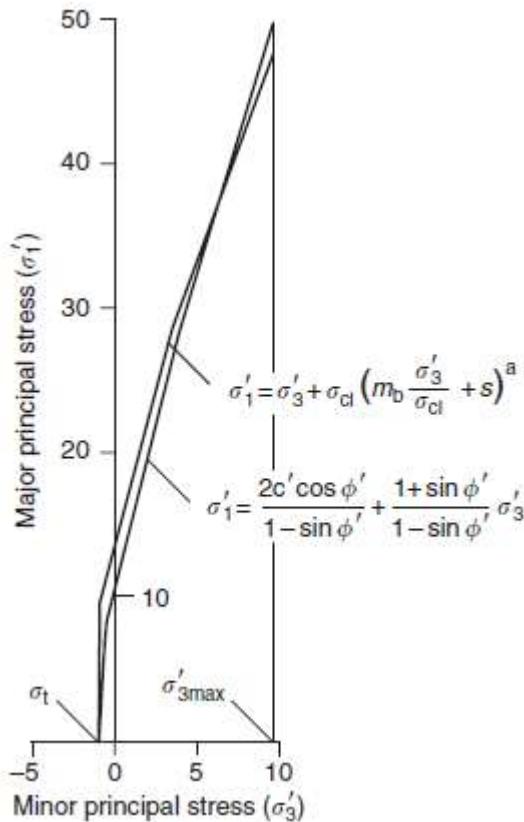


Figura 2.1. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb.

Fuente: Tomado de Wyllie y Mah 2004.

$$\phi' = \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \text{Ecuación 2.7}$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \times \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} \text{Ecuación 2.8}$$

Dónde: c' es la cohesión, en efectivas. Es una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal

aplicada, ϕ' es el ángulo de rozamiento interno y τ es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura (Wyllie y Mah 2004).

$$\tau = c' + \sigma_n \tan \phi'$$

Ecuación 2.9

- **Determinación de $\sigma'_{3\max}$**

La determinación del valor apropiado de $\sigma'_{3\max}$ a ser utilizado en las ecuaciones 5 y 6 dependerá de cada situación específica. Para el caso de taludes, el factor de seguridad calculado, la forma y ubicación de la superficie de rotura son equivalentes. Se han llevado a cabo estudios de estabilidad de los taludes en roca que utilizan el análisis circular de falla de Bishop para un amplio rango de geometrías de taludes y propiedades de masa de roca tanto para los criterios de Mohr-Coulomb y el criterio Generalizado de Hoek-Brown para encontrar el valor de $\sigma'_{3\max}$ da curvas características equivalentes (Wyllie y Mah 2004).

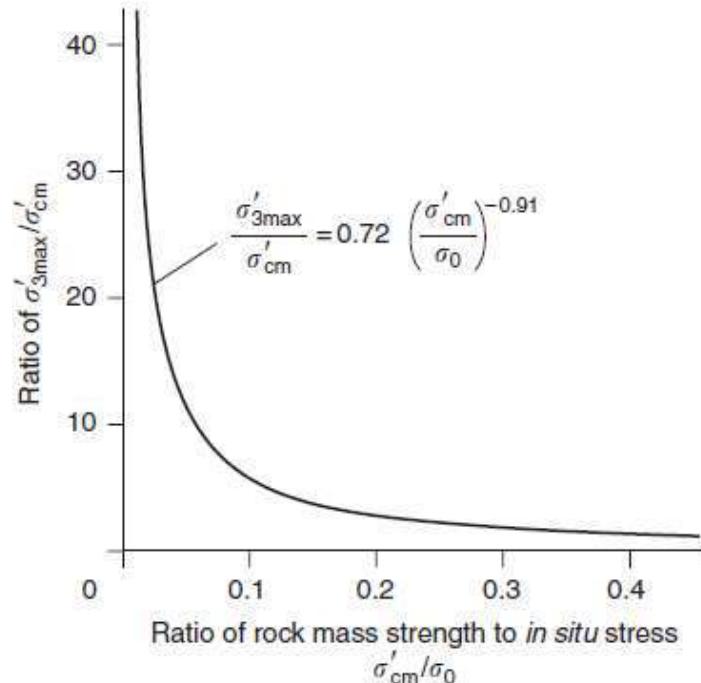


Figura 2.2. Relación para el cálculo de $\sigma'_{3\max}$ para los parámetros equivalentes de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown para taludes.

Fuente: Tomado de Wyllie y Mah 2004.

2.2.3 Método de explotación a cielo abierto

Las operaciones de minería de carbón a cielo abierto a gran escala comenzaron en Australia a mediados de la década de 1960 y, desde entonces, este método de extracción ha experimentado avances significativos. Actualmente, las minas operan con tonelajes anuales significativamente mayores, son cada vez más profundas y complejas, y operan con tasas de desmonte más altas (Westcott, Pitkin y Aspinall, 2009). En las minas de carbón australianas se utilizan los siguientes equipos principales: Dragalinas, camiones, palas, excavadoras de rueda de cangilones, trituradoras y transportadoras, traíllas, bulldozers, desgranadoras y tolvas de dragalina, y mineras continuas de superficie (Mitra y Saydam 2012).

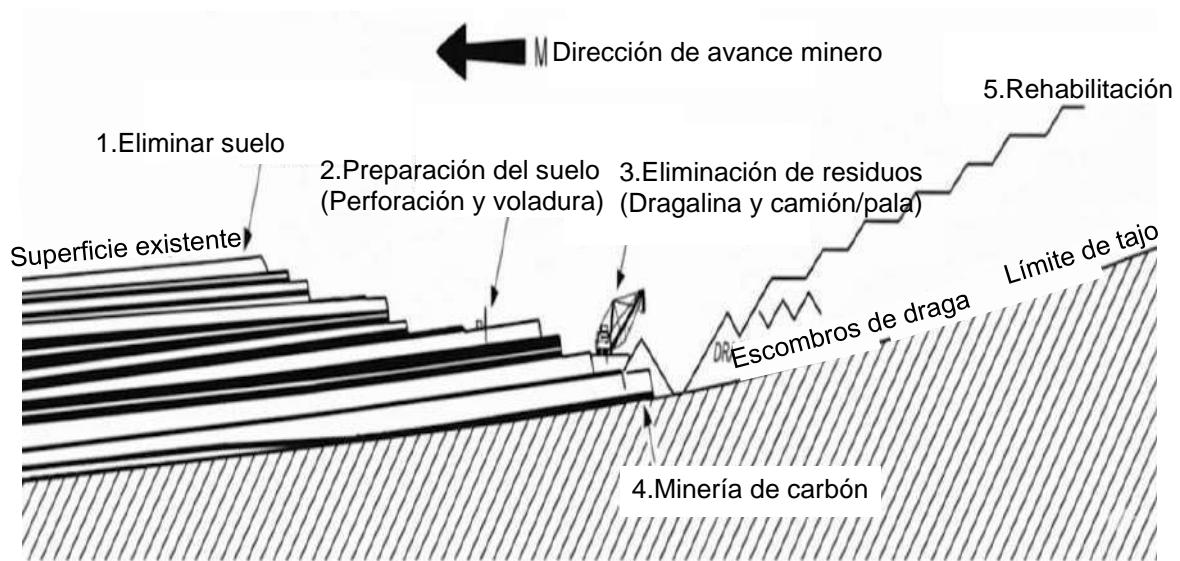


Figura 2.3. Sistema de explotación en la mina de carbón a cielo abierto, típico en Australia. Fuente: Tomado de Westcott, Pitkin y Aspinall 2009.

- **Método de dragalina:** La dragalina es la máquina predominante que se utiliza para remover la sobrecarga y exponer el carbón cuando las características del yacimiento se ajustan a las capacidades físicas de la dragalina. Una vez que las características del yacimiento se alteran debido a las limitaciones físicas de la dragalina, la remoción de la sobrecarga se vuelve costosa a medida que aumenta el manejo de las máquinas (Scott et al., 2010). En esta situación, generalmente en minas de múltiples vetas, se introducen camiones y palas para crear una secuencia de minería

integrada, que opera en conjunto para generar un sistema de minería rentable y eficiente (Fox 2011).

La estructura de la dragalina convencional pesa 20 toneladas y su diseño no ha cambiado en 100 años. Este sistema de aparejo convencional limita la flexibilidad de la operación de la dragalina y dificulta el control del cucharón. Además de los altos costos de productividad cuando una dragalina está fuera de servicio por mantenimiento del aparejo, también existen riesgos de seguridad considerables asociados con la sustitución de equipos pesados. Las dragalinas a menudo se complementan con voladuras y/o asistencia de topadoras para aumentar la capacidad de remoción de sobrecarga (Westcott, Pitkin y Aspinall 2009).



Figura 2.4. Dragalina típica en funcionamiento en la región de Hunter Valley en Nueva Gales del Sur.

Fuente: Tomado de Mitra y Saydam 2012.

- **Método volquete y pala:** Es el método más flexible y, por lo tanto, se adapta mejor a depósitos geológicos complejos, con diferentes profundidades y espesores de sobrecarga, y depósitos más pequeños

(Westcott, 2004). Ofrecen inversiones de capital más económicas que las dragalinas; sin embargo, su operación es más costosa con una tasa de extracción de metros cúbicos de banco/hora. Otra ventaja importante del sistema es la capacidad de transportar material a largas distancias, lo que garantiza que la remanipulación no se convierta en un problema ni en el presente ni en el futuro de la operación (Fox 2011).

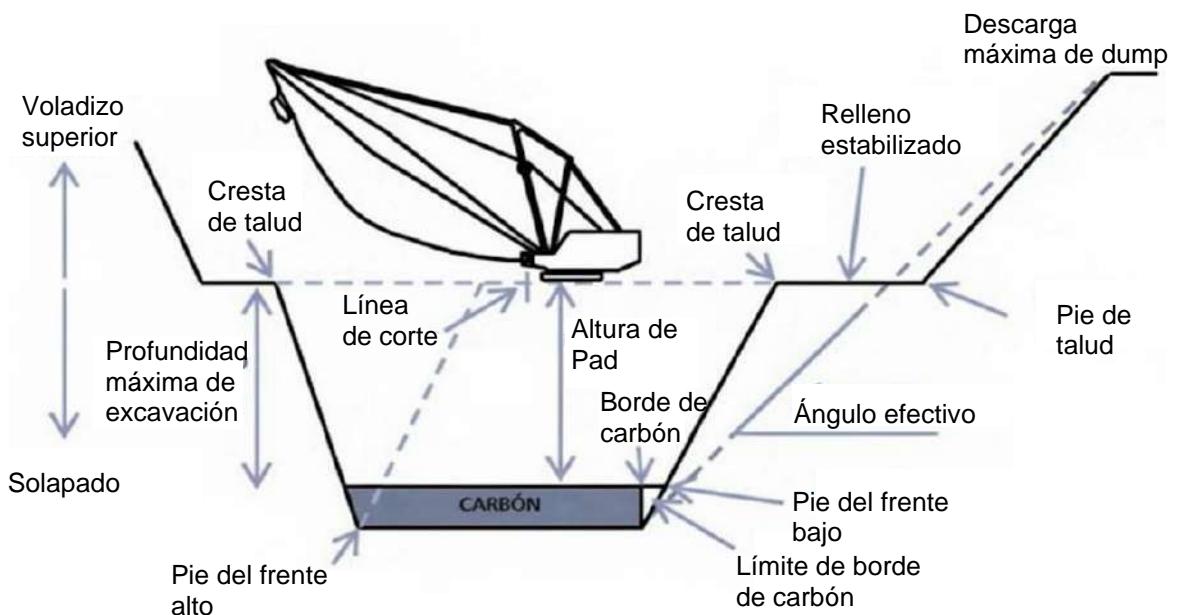


Figura 2.5. Sección de trabajo de la dragalina.

Fuente: Tomado de Gianazza 2010.

La versatilidad del sistema y su capacidad para transportar grandes distancias lo hacen extremadamente favorable en casi todas las situaciones mineras (Hays, 1990). Una vez seleccionado el equipo y definidos y gestionados de la mejor manera posible los cuatro aspectos principales del tiempo de ciclo según las condiciones, el sistema funcionará y alcanzará altas tasas de producción (Fox 2011). La Figura 2.14 se puede observar una operación típica de camión y pala.

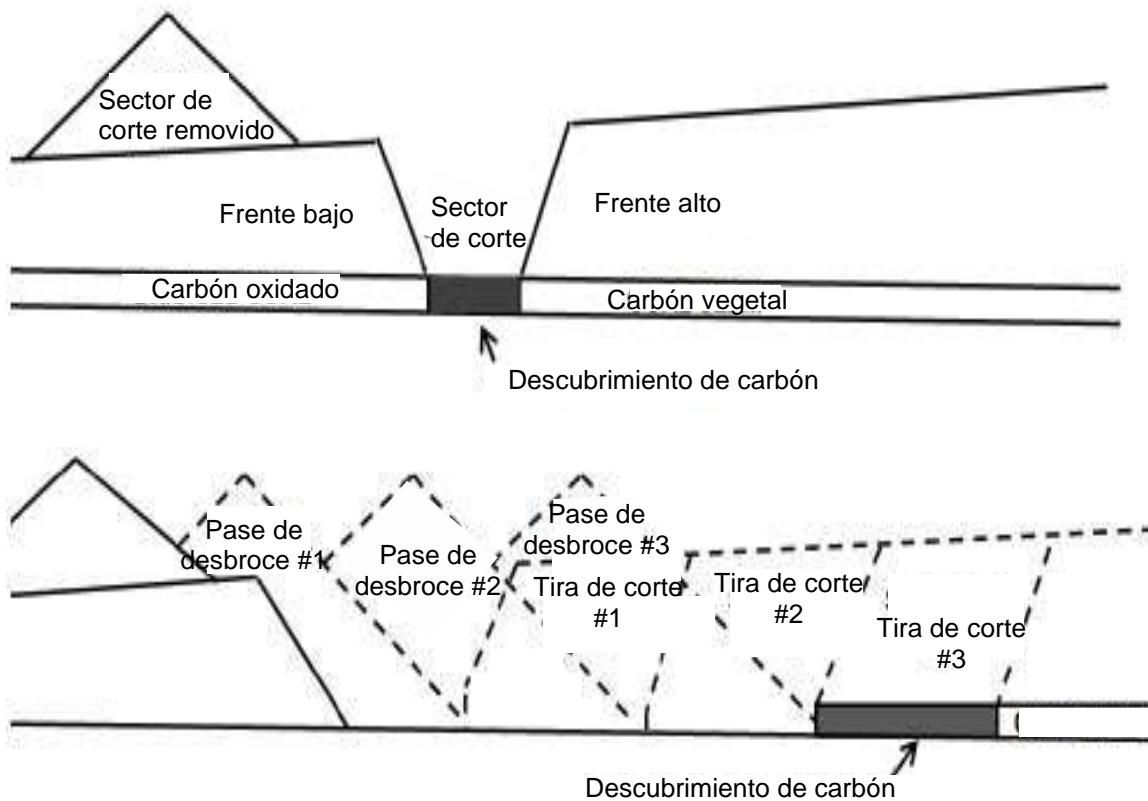


Figura 2.6. Corte en cajas, cortes en tiras y pilas de escombros.
Fuente: Tomado de Humphrey 1984.



Figura 2.7. Visualización de operación de camión y pala en la región de Hunter Valley en Nueva Gales del Sur.
Fuente: Tomado de Mitra y Saydam 2012.

- **Método de sistema de minería integrada: combinación de camión, pala y dragalina:** El sistema de minería integrado, que combina camión y pala con el uso de dragalina para la remoción de la sobrecarga, ofrece numerosas ventajas. Generalmente, el sistema de camión y pala se utiliza para remover la sobrecarga superior y más delgada del yacimiento, mientras que las dragalinas remueven la sobrecarga mucho más profunda, que quedaría fuera del alcance de una operación con pala (Aiken y Gunnnett 1990).

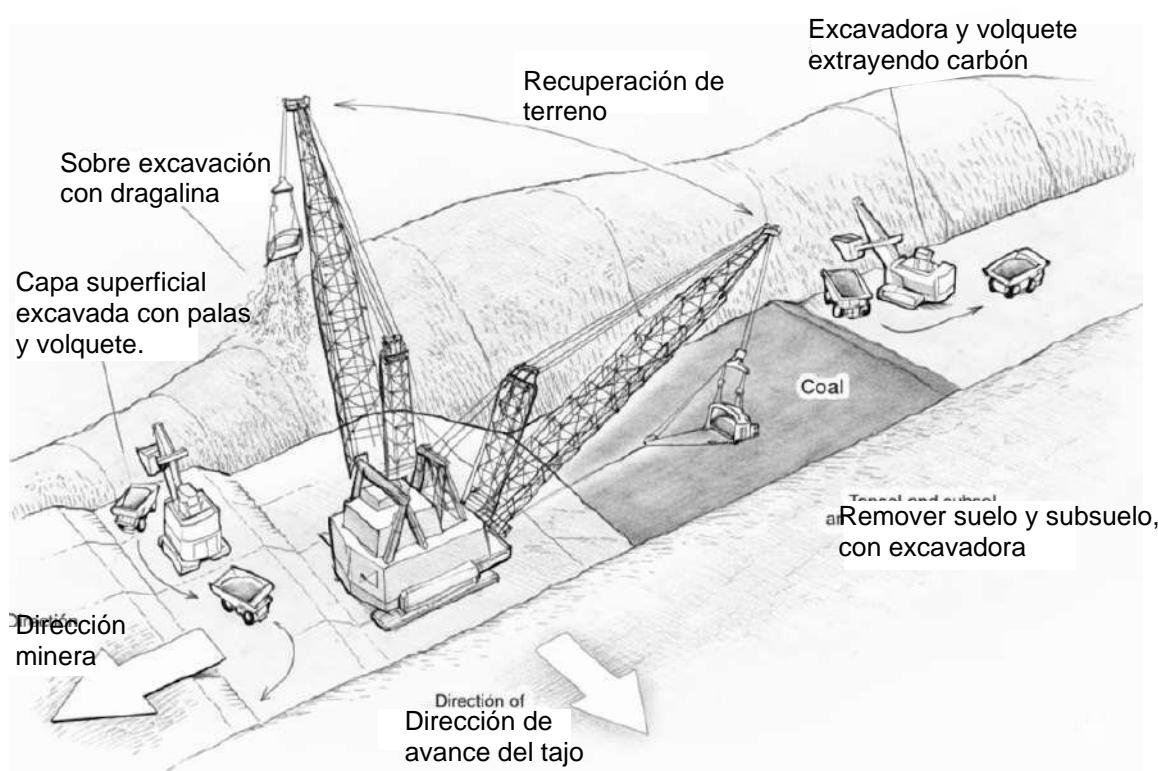


Figura 2.8. Sistema de minería integrado: combinación de métodos de camión, pala y dragalina.

Fuente: Tomado de Fox 2011.

2.2.4 Diseño de tajo

Los tres componentes principales de un diseño de taludes a tajo abierto son los siguientes: Primero, ángulo total del talud del tajo inicia desde la cresta hasta el pie del talud incorporando todas las rampas y bancos a diseñar. Esta puede ser un talud compuesto con unos taludes más planos en materiales superficiales más débiles y un talud más pronunciado en la roca más competente en profundidad.

Además, el ángulo del talud puede variar alrededor del tajo para adaptar tanto la geología diferente como el diseño de la rampa (Wyllie y Mah 2004).

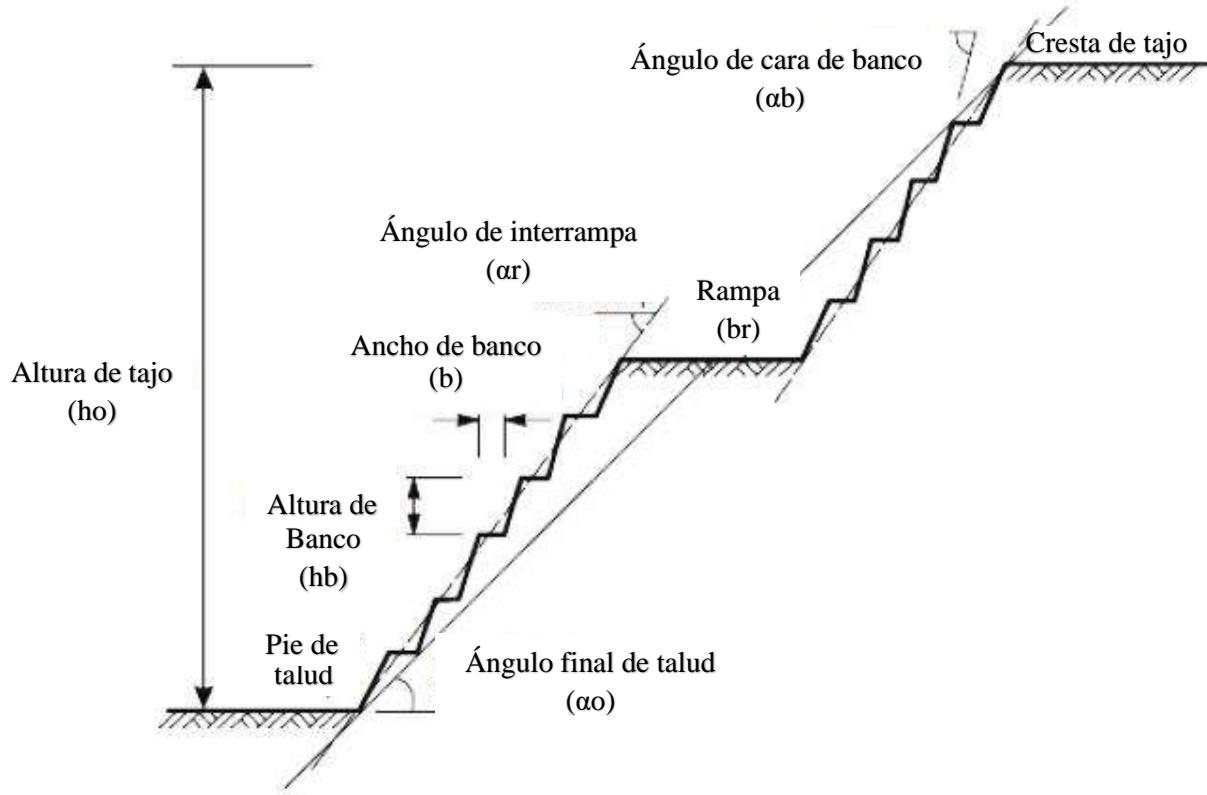


Figura 2.9. Geometría típica de talud a tajo abierto mostrando la relación entre el ángulo de talud general, el ángulo inter-rampa y geometría del banco.

Fuente: Tomado de Wyllie y Mah 2004.

- **Ancho de berma:** Es la distancia entre el pie del banco y cresta que pertenecen al mismo nivel; propuesto por Ritchie (1963) modificado por (Evans y Call, 1992).

$$b = 0.20 * h_b + 2.0; \text{ para } h_b < 9 \text{ m.}$$

$$b = 0.20 * h_b + 4.5; \text{ para } h_b > 9 \text{ m.}$$

Ecuación 2.10

Donde:

b: Ancho de berma (m.)

h_b : Altura de banco (m.)

Cuando se produce explotación con frecuencia hay desprendimiento en taludes siendo necesario trabajar en niveles inferiores o cuando se vayan a abandonar las minas, se debe construir banquetas de material suelto o

muretes para la protección en las propias bermas y para que retengan el material caído desde una cierta altura (Escavy, et al. 1997).



Figura 2.10. Diseño de banquetas de protección frente a desprendimientos.
Fuente: Tomado de Escavy et al. 1997.

Cuadro 2.5. Dimensiones para construcción de banquetas.

Altura de banco (m.)	zona de impacto (m.)	Altura de banqueta(m.)	Ancho de banqueta(m.)	Ancho mínimo de berma (m.)
15	3.50	1.50	4.00	7.50
30	4.50	2.00	5.50	10.00
45	5.00	3.00	8.00	13.00

Fuente: Tomado de Escavy et al. 1997.

- **Quebradura:** Condiciona las operaciones de carguío y transporte debido a la variación que se produce en el ancho de banco (Morales 2009).

$$q = h_b * \operatorname{ctg} \alpha_b \quad \text{Ecuación 2.11}$$

- **Ángulo de interrampa:** Es la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une los pies de los bancos (Morales 2009).

$$\alpha_b = \operatorname{tg}^{-1} * (h_b/q+b) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

- **Ancho rampa:** Debemos considerar los siguientes datos, tomando en cuenta que una rampa se compone de varios tramos que no necesariamente tendrán las mismas características:

P_i = Pendiente del tramo i (%)

$$C_{i+1} - C_i = \text{Diferencia de cota tramo } i \text{ (m.)} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

A_i = Ancho del tramo i (m.)

R_i = Radios de curvatura en el tramo i (m.)

L_{ri} = Longitud real del tramo i (m.)

L_{ai} = Longitud aparente del tramo i (m.)

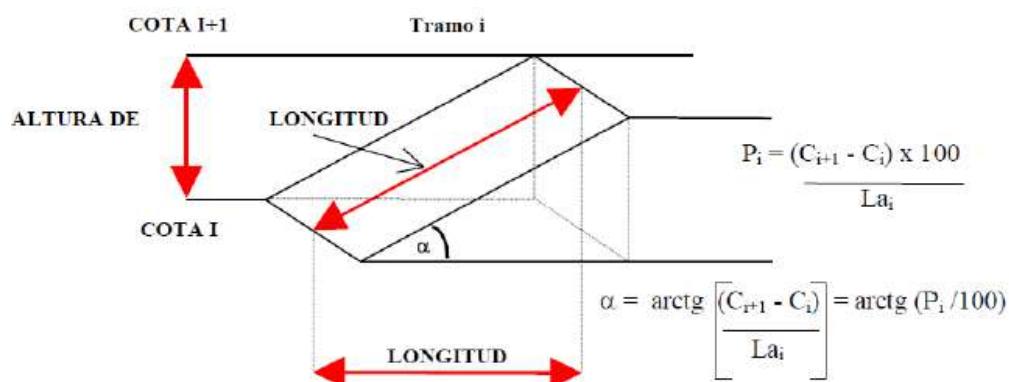


Figura 2.11. Diseño de rampa.
Fuente: Tomado de NACP 2022.

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera					
	> 6.000				6.000 - 4.001				4.000-2.001				2.000-400				< 400					
Vehículos/día	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Velocidad de diseño: 30 km/h																				10.00	10.00	
40 km/h																			9.00	8.00	9.00	10.00
50 km/h													7.00	7.00				8.00	9.00	8.00	8.00	
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00				
70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00			
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00				
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00	6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00				6.00					
110 km/h	4.00	4.00			4.00																	
120 km/h	4.00	4.00			4.00																	
130 km/h	3.50																					

Figura 2.12. Pendientes máximas (%) de carreteras.
Fuente: Tomado de DG 2018.

- **Ancho de Carguío:** Debemos considerar el cálculo del área necesaria para que operen los equipos de carguío de acuerdo con el tipo de equipo que se utilice. El transporte el área mínima de operación corresponde al área del camión puede realizar sus maniobras sin problemas y en forma segura. Esta área requiere disponer de dimensiones físicas operaciones de equipo. Se calcula de la siguiente manera:

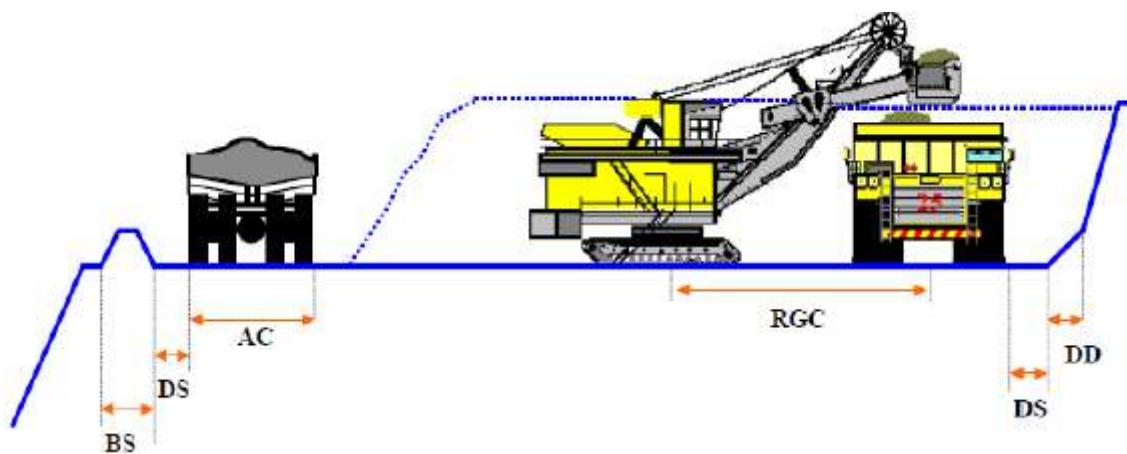


Figura 2.13. Ancho de carguío en operación de extracción.

Fuente: Tomado de NACAP 2022.

$$\text{Ancho mínimo de carguío} = BS + 2 \times DS + AC + 2 \times RGC + DD$$

Ecuación 2.14

Donde:

BS : Baranda de seguridad

Ac : Ancho del camión

Ds : Distancia de seguridad

RGc : Radio de giro del equipo de carguío o radio de operación

DD : Derrames

- **Acceso:** La explotación minera se encuentra la construcción o habilitación de accesos. Dentro de esta actividad participan los equipos de servicios mina, aunque a veces se requiere de la participación de los equipos productivos (perforación, tronadura, carguío y transporte) para realizar movimientos específicos de materiales (NACAP 2022).

- **Angulo de talud:** Pared de la mina es el plano inclinado que se forma por la sucesión de las caras verticales de los bancos y las bermas respectivas (NACAP 2022).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Agrietamiento: Causadas por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos (GEMMA 2007).

Dioclasis: Son fracturas en rocas a lo largo de las cuales apenas o ningún movimiento ha tenido lugar (Lisle y Lesión 2002).

Estabilidad: estado y condición de una estructura o de una masa de material cuando puede soportar los esfuerzos aplicados durante largo tiempo sin sufrir una deformación o movimiento apreciable que no se recupere o devuelva al retirar la carga. (Hoyos 2012).

Falla: Es una fractura planar a lo largo de la cual la roca se ha desplazado según una dirección que es generalmente paralela al plano de ruptura, como consecuencia de la aplicación de un stress de cizalle (Niemeyer 1999).

Geotecnia: Aplicación de los métodos científicos y los principios de la ingeniería a la adquisición, la interpretación y el conocimiento de los materiales de la corteza terrestre, orientados a la solución de los problemas de ingeniería. Abarca las áreas de mecánica de rocas y suelos, y muchos de los aspectos cubiertos por la geología, la geofísica, la hidrología y las ciencias relacionadas (RC 2003).

Deslizamiento: Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, las cuales se localizan en la zona que ocupará el escarpe principal (Alcántara 2000).

Manto: Ver estrato o capa geológica. El término manto también se usa para referirse al manto detrítico, manto aluvial, manto de descomposición (Dávila 2011).

Método minero: Proceso iterativo tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevara a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas procesos y maquinarias que operan de una forma: Ordenada, repetitiva y rutinaria (Herrera y Ortiz 2006).

Modelo geológico: Consiste en la recopilación de información geológica existente sobre la zona de estudio, para proporcionar información más detallada, necesaria para el diseño de la mina (Ramírez et al. 2008).

Resistencia: La máxima tensión que un cuerpo puede soportar sin fallar por rotura o por deformación continua. La resistencia a la rotura se refiere a la tensión en el momento de la rotura. El término puede ser descrito como el punto más elevado de la curva tensión –deformación (Gavilánes y Andrade 2004).

Talud: un “talud” o ladera es una masa de tierra no plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Suarez 2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

La Mina Vieja se ubican en NW de la ciudad de Cajamarca, en el caserío: Nuevo Triunfo, centro poblado: Chanta Alta, distrito Encañada, provincia y departamento Cajamarca, geográficamente en los andes occidentales del Perú, delimitado hidrográficamente en la microcuenca del río Llaucan, figurando como empresa JHYOS MINERA S.A.C., con ruc: 20611555068.

Por consiguiente, realiza actividades de pequeña minería con producción promedio de 25 TM/día, en la extracción de carbón: Bituminoso y antracítico; de pequeño productor minero, para desarrollar actividades mineras No Metálicas, ubicada en la Concesión Chaupiloma Nueve superponiendo al petitorio Mina Vieja - Cuadro 3.1 de concesión, para formalizar sus actividades mineras como pequeño productor minero.

Presentando un terreno superficial presenta un área de 8.146 Ha. (Cuadro 3.2) comprendiendo el Cuadrángulo de Chota (14-f), con el sistema de coordenadas: UTM – DATUM – WGS-84 – ZONA – 17S.

Cuadro 3.1. Coordenadas de la concesión Chaupiloma Nueve.

Vértice	Este (m.)	Norte (m.)	Área (Ha)
A	77170.68	9237542.21	943
b	776917.18	9233450.41	
c	774621.80	9233592.00	
d	774875.31	9237684.40	

Cuadro 3.2. Coordenadas y área de terreno superficial.

Vértice	Este (m.)	Norte (m.)	Área (Ha)
a	775975.576	9237668.070	8.146
b	776022.143	9237589.753	
c	776111.034	9237546.892	
d	776175.196	9237570.043	
e	776199.670	9237503.897	
f	7762188.305	9237538.955	
g	776298.227	9237513.158	
h	776303.519	9237486.699	
i	776312.779	9237468.840	
j	776230.758	9237409.970	
k	776211.585	9237352.686	
l	775829.526	9237281.778	
m	775758.617	9237660.662	

3.2 ACCESIBILIDAD

El punto de inicio al área de estudio se realiza desde la ciudad de Cajamarca, tomando el Jr. Angamos con la orientación NW, con referencia a Hualgayoc llegando hasta el kilómetro 41 cruce a Chanta Alta; luego siguiendo la orientación NE cambiando a carretera afirmada, hasta el cruce a Chanta. Cambiando a orientación SW con la misma carretera afirmada en regulares condiciones, finalmente se llegó al área de estudio Mina Vieja.

Cuadro 3.3. Ruta de accesibilidad área de investigación – Mina Vieja
Empresa JHYOS MINERA S.A.C.

Tramo		Estado de Vía	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	Km 41 Cruce a Chanta Alta	Regular	Terrestre	Camioneta	41+250	01:14
Km 41 Cruce a Chanta Alta	Cruce Yanacancha Grande	Mala	Terrestre	Camioneta	20+950	00:35
Cruce Yanacancha Grande	Cruce Chanta Alta	Mala	Terrestre	Camioneta	05+100	00:16
Cruce Chanta Alta	Mina Vieja	Muy mala	Terrestre	Mala	01+600	00:04
Total					68+900	02:08



Figura 3.1. Accesibilidad.



Figura 3.2. Ingreso a las operaciones extractivas de la Empresa Mina Vieja, presentando vías en malas condiciones.

3.3 METEOROLOGÍA Y VEGETACIÓN

La zona de extracción de mineral no metálico presenta cambios meteorológicos de temperatura friolenta a heladas, desde temperatura: Mínima desde: 3°C a 9°C y máxima 17°C a 19°C, con nubosidad 28%, humedad 90%, velocidad del viento 9Km/h; en el centro poblado el Triunfo; así mismo afecta las operaciones extractivas sobre en épocas de precipitación desde: Diciembre a abril, por generar movimiento de tierras ocasiona zonas de enfangamiento por ser materiales: Muy deleznables y plásticos. Así mismo la zona presenta abundante humedad formando zonas de inundación por nivel freático (Agua subterráneas) y escorrentía en el tajo de explotación. Así mismo se utilizó la estación meteorológica tipo: convencional – La Encañada – 153331, latitud: 7° 7' 23.78`` , longitud: 78° 19' 59.3`` y altitud: 2980 msnm. Distrito: La Encañada, Provincia: Cajamarca y Departamento: Cajamarca; para obtener valores numéricos cuantitativos de la evolución del cambio meteorológico por meses, mostrando variaciones meteorológicas de las diferentes estaciones del año, observándose en algunos sectores variaciones notorias y en otros casos casi similares, dando tomar decisiones ingenieriles de producción de mineral. Concluyendo que las condiciones climáticas son muy variantes y afectan la extracción de mineral (Senamhi 2024).

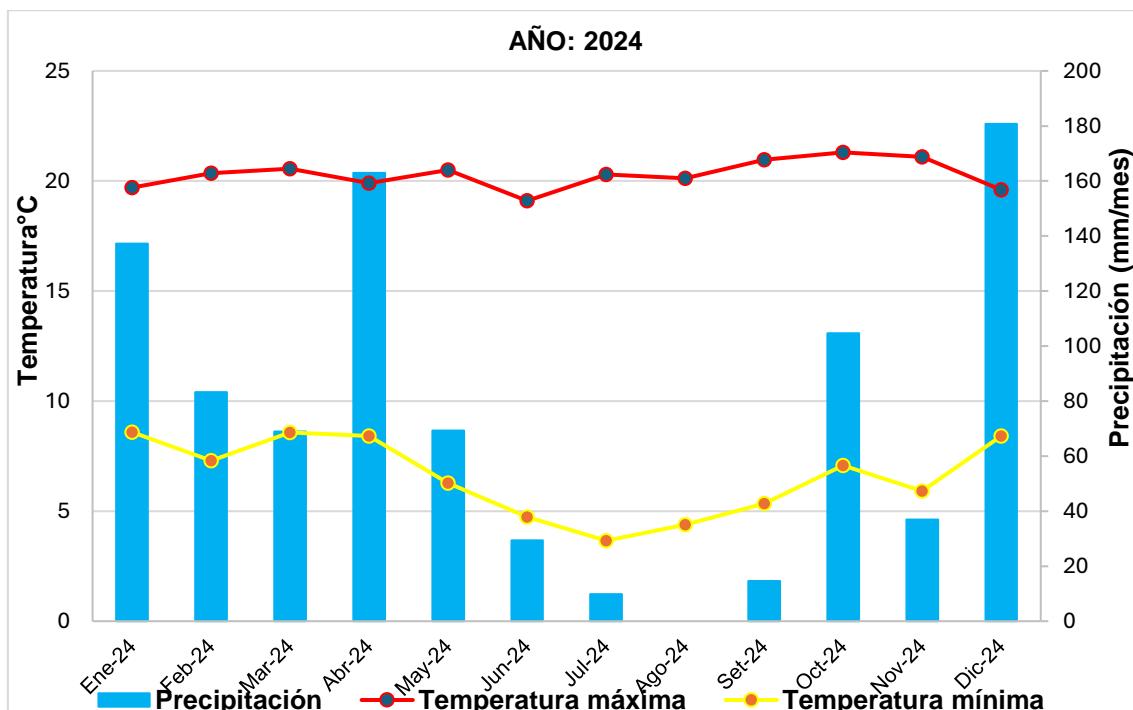


Figura 3.3. Climograma Meteorológico De La Estación La Encañada.
Fuente: Tomado de SENAMHI 2024.

Así mismo los criterios bioclimáticos constituyen la zona de vida Bosque muy húmedo – montano tropical (bmh – MT), ubicándose en el proyecto entre 3,740 msnm. – 3,670 msnm., con una precipitación total anual promedio de varios años de 1,000 mm a 1,600 mm; la biotemperatura media anual entre 6°C y 12°C y la relación de evapotranspiración potencial entre 0.25 y 0.50, lo que determina una fisonomía prehúmeda. Presentando un clima de condiciones adecuadas para la actividad agropecuaria. Los terrenos de poco declive, se concentra la producción de papa, haba, olluco, trigo, cebada, chocho y maíz. Observándose bosques densos en el área de influencia directa como indirecta. Con suelos que varian de superficiales a profundos con textura moderada a fina y con pH desde extremadamente acido a moderadamente alcalino. La instalación que engloba esta zona de vida lo conforman el 100% en su emplazamiento superficial.

3.4 HIDROLOGÍA

Localmente las operaciones mineras se encuentran ubicadas en la zona montañosa dentro de la Cordillera Occidental del caserío: Nuevo Triunfo, centro poblado: Yanacancha Grande (naciente), en la microcuenca de la Mina Vieja, así mismo por estas delimitada por un tajo cóncavo la dirección de la escorrentía ocasiona constantes acumulaciones de agua pluvial, afectando las operaciones mineras, por consiguiente, el tajo se ubica en la parte superior del del caserío: Nuevo Triunfo; así mismo las instalaciones se encuentran a distancia 780 m. de la quebrada Collpa.

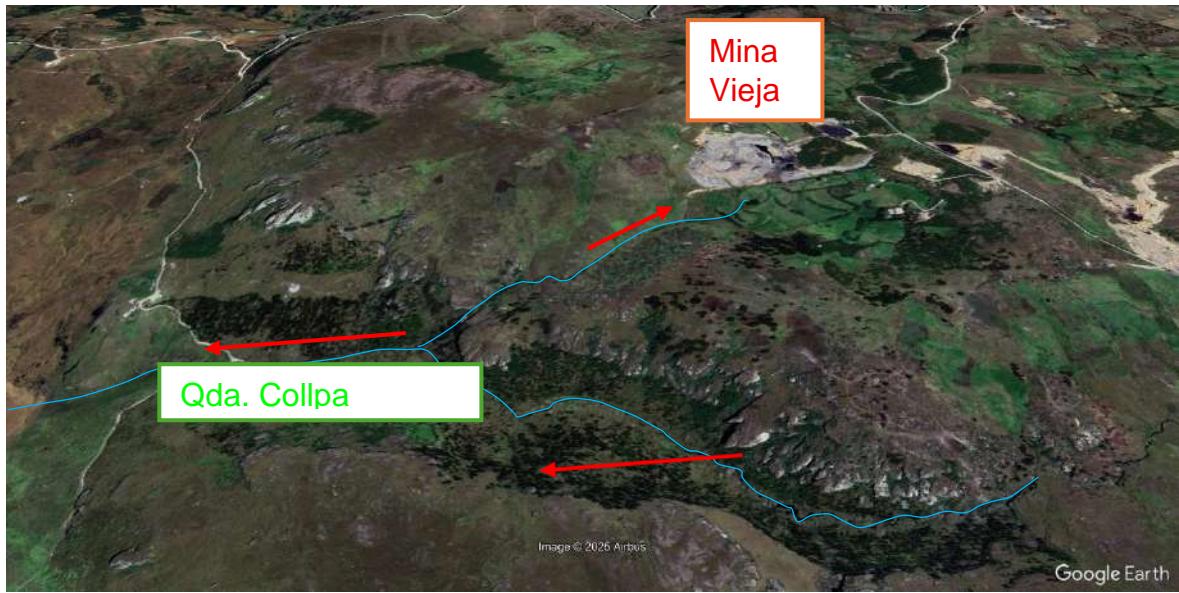


Figura 3.4. Drenaje de las aguas del centro poblado Chanta Alta, hacia la quebrada Collpa.

Fuente: Google EarthPro 2025.

Por lo contrario, muestra drenaje estacionario tiene que ver con la escorrentía superficial de la microcuenca de la Mina Vieja, conformando un área de 6.56 Km²., siguiendo la orientación de evacuación de aguas de lluvia, sobre todo en épocas de precipitación de enero a abril. El drenaje de escorrentía superficial tiene una orientación S-N con una distancia longitudinal de 780 m. que cortan el área de operaciones mineras por la parte céntrica del yacimiento minero. Sin embargo, la naciente de la quebrada Collpa inicia a la altitud 3,850msnm. siguiendo la orientación NW- WWNW-SW, conformado longitud 6.63 Km., evacuando sus aguas al río Llaucan (Iniciando su naciente a los 4,000msnm. En el centro poblado Porvenir Combayo con orientación NE-SW, con longitud 9.57 Km.) confluendo a la altitud 3,450 msnm. siguiendo la dirección de flujo de orientación E-W, luego cambiando S-N confluendo con la quebrada La Pachachaca (La naciente 3,650 msnm. con orientación NE-SW con longitud 2.87 Km.) formando el río Honda con orientación SSE-NNW con longitud 2.83 Km. confluendo con la quebrada Cerro Azul (Su naciente inicia en el centro poblado San Cirilo a la altitud 3,690 msnm. con orientación WSW-ENE a SSW-NNE, con longitud 6.73 Km. evacuando al Cerro Azul en la altitud 3,250 msnm. Con longitud 5.72 Km. con orientación SW-NE) a la altitud 3,050 msnm. formando el río Chanta siguiendo la orientación S-N a SW-NE, conformando longitud 5.57 Km., confluendo con la quebrada Sin Nombre a la altitud 2,650 msnm.; formando aguas abajo el río Llaucan a una altura aproximada

de 3,420 msnm., conformando estos dos efluentes en río Crisnejas con una longitud 25Km., hasta los 2,000 msnm., lugar donde confluye con desembocando en el Océano Atlántico.

Cuadro 3.4. Precipitación Máxima en 24 horas.
Estación meteorológica La Encañada.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
2017	106.70	112.10	276.20	137.80	67.50	0.00	3.20	27.70	13.80	103.30	41.60	111.80	276.20
2018	99.10	187.00	76.80	146.10	144.90	6.30	0.00	0.00	56.30	107.50	198.20	52.60	198.20
2019	43.70	133.50	199.40	152.10	56.20	15.40	7.20	0.00	19.00	134.09	82.20	171.50	199.40
2020	67.60	50.60	114.70	74.50	47.50	19.80	54.90	1.00	19.30	45.10	112.30	207.80	207.80
2021	116.50	89.70	242.40	110.40	80.90	24.10	2.10	14.30	16.00	210.70	160.60	114.50	242.40
2022	73.80	220.30	229.40	132.80	46.40	59.60	7.00	11.40	36.40	109.10	8.00	109.40	229.40
2023	263.20	186.70	184.60	135.70	56.20	5.00	4.30	9.00	16.80	168.80	69.10	190.10	263.20
2024	137.30	83.30	69.00	163.00	69.20	29.40	9.80	0.00	14.60	104.70	36.90	180.80	180.80
PP	113.49	132.90	174.06	131.55	71.10	19.95	11.06	7.93	24.03	122.91	88.61	142.31	

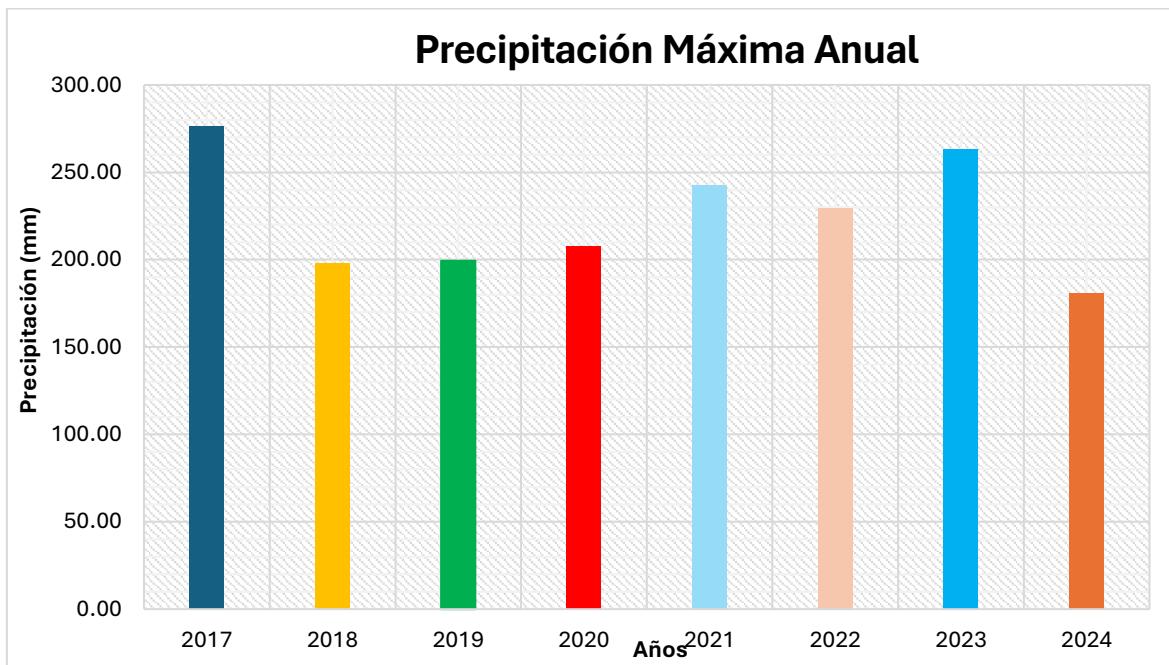


Figura 3.5. Histograma de precipitación máxima anual.
Años 2017 hasta 2024.

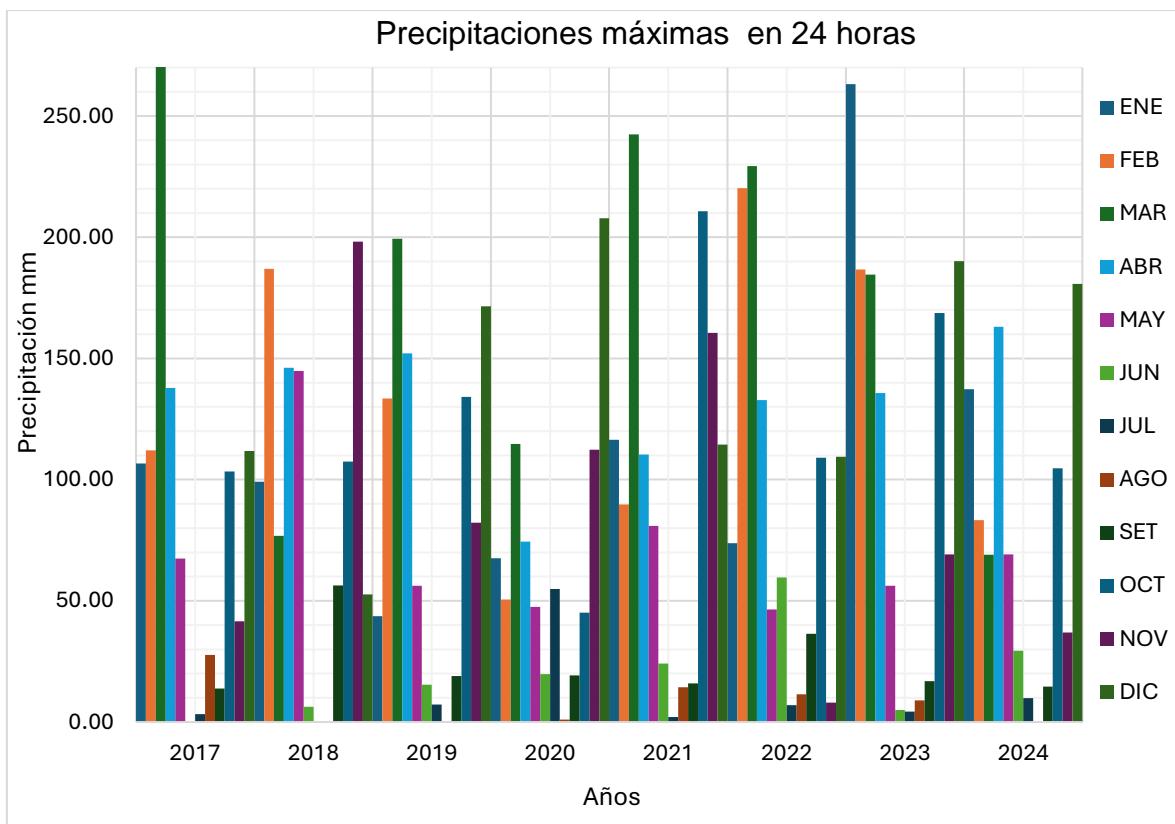


Figura 3.6. Variograma de la precipitación máxima.
Estación La Encañada.

3.5 HIDROGEOLOGÍA

La Mina Vieja presenta influencia de acuíferos o manantiales siendo emplazado en un acuífero fisurado volcánico afectando las actividades mineras no metálicas, por consiguiente, el cuerpo de agua permanente es un acuífero que se encuentra en las áreas de extracción mineral carbón: Antracítico y bituminoso, ubicándose en la en el tajo cóncavo, sobre todo aumentando la dirección de flujo hacia NW. Así mismo se acumulan grandes cantidades de agua.

3.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las geoestructuras principales se originaron en el cretáceo: Inferior y superior, formando plegamientos de orientación SW-NE a WSW a ENE, formando sinclinal con orientación el flanco: Derecho (Az/Bz N125°/8°SW) e izquierdo (Az/Bz N315°/53°NE). Por consiguiente, la seudoestratificación del Volcánico Frailones

tiene orientación Az/Bz N321°/20°NE, siendo depositado y formado el carbón con orientación (Az/Bz) N240°/11°NW.

Por consiguiente, la disipación de energía liberada muestra la ocurrencia de fallas geológicas de orientación NE a SW, siendo paralelas a controles estructurales del Carta geológica de Celendín y también presentando fallamiento inferidos con orientación NW-SE. Evidenciándose en el manto de carbón zonas de fallamiento geológicos desplazando vertical y transversamente, afectando la continuidad de extracción de carbón.

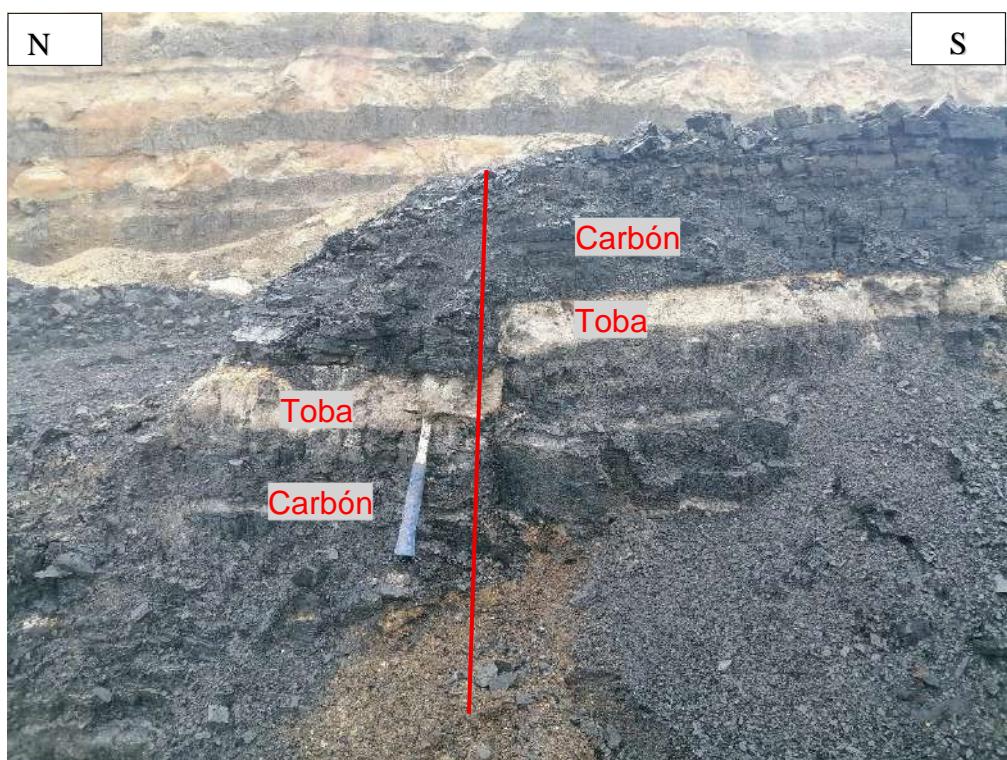


Figura 3.7. Desplazamiento gravitatorio (Falla) tiene orientación (Az/Bz): N12°/82°SE, con salto de falla 0.13 m., con coordenadas: N9237380/E776074.

3.7 GEOMORFOLOGÍA

Están definidas por las unidades geomorfológicas actuales del relieve terrestre, afectando gran parte de la extensión del área de investigación caracterizada por el conjunto de rasgos topográficos o geomorfológicos homogéneos bien definidos y de correlación genética, siendo controlada por procesos de erosión del relieve terrestre. Así mismo las operaciones mineras están

emplazadas sobre la roca volcánica piroclástica del Neógeno, formando superficies de topografía suave a moderada; siendo modelado por agentes externos que afectan: Física, química y biológica; a la roca matriz rocosa afectando progresivamente la resistencia de la roca. Por consiguiente, el yacimiento no metálico está emplazado por tres unidades geomorfológicas como:



Figura 3.8. Geomorfología del Yacimiento de Carbón, conformado por: Planicies y Lomadas.

- Planicie: Están ubicadas en las zonas perimetrales del yacimiento no metálico ocupando un área 6.015 Ha. equivalente a 73.84%; con pendientes oscilantes entre 0° - 8°, formando zonas bajas y mesetas, Siendo actualmente utilizadas por la actividad a humana como: Agricultura, ganadería, pastoreo y forestación. Predominando instalaciones como: Oficina, playa de estacionamiento, servicios higiénicos, caseta de guardianía, cocina-comedor, área de reposo o alojamiento, residuos sólidos, almacén de herramientas, área de descanso, almacén de sustancias peligrosas, trinchera, tanque séptico, área de carguío de carbón, acopio de carbón y desmontera.

- Lomadas: Constituyen la parte minoritaria del área de estudio con pendientes oscilantes de 8° - 20°, ocupando un área de 2.116 Ha. con un área porcentual de 25.98%, de forma alargada y redondeada, no presentando altura natural del terreno no muy elevada, siendo producto de la erosión y humedad del entorno del área de investigación. Siendo ubicada al N y SW de las instalaciones, conformando zonas elevadas de modelamiento topográfico altitudinal, siendo los algunos casos conformados por rocas de mayor resistencia a la erosión.
- Ladera: Presenta área 0.015 Ha equivalente 0.18%, conformando tres zonas puntuales con áreas mínimas, siendo empinadas con pendientes: 20° a 45° definiendo vertientes en la zona de investigación.

3.8 SISMICIDAD

Las operaciones mineras extractivas están susceptibles movimientos sísmicos o telúricos debido a espectros sísmicos: Horizontales y verticales, ubicándose en la Zona Sísmica 2 = 0.25, correspondiente a suelos: Blandos S3 y EMS S4; de acuerdo con la Norma Técnica E.030 sismorresistencia, para mejor diseño del tajo de explotación en función de grado de fracturamiento de roca de muy mala calidad y estabilidad del tajo de explotación de la cantera de la Mina Vieja.

Por consiguiente, la parte operativa de extracción utiliza de maquinaria pesada de gran: Altura, volumen y peso, como: 02 Excavadora y 04 Volquete, ocasionando vibraciones constantes sobre todo en el tajo de explotación, siendo estas vibraciones cada vez más constantes y prolongadas, afectando la estabilidad del tajo de explotación. Evidenciándose al norte del tajo de explotación deslizamiento rotacional compuesto siendo afectando una longitud de 100 m. de largo de la superficie, así mismo la extracción del recubrimiento cuaternario y volcánico, generando vibraciones: Horizontales y verticales, inestabilizando los taludes del tajo. La información se muestra en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Cálculo de Aceleración Sísmica Horizontal y Vertical en las Estaciones Geotécnicas.

Sísmica		Estación geotécnica		
		EG-01	EG-02	EG-03
Zona sísmica (Z)		0.20	0.20	0.20
Perfil de suelo (S)	Antracita	S3	S3	S3
	Bituminoso	S3	S3	S3
	Limo de baja plasticidad	---	---	---
Factor de suelo (S)	Antracita - Bituminoso	1.20	1.20	1.20
	Limo de baja plasticidad	---	---	---
Período (T)	Plataforma del factor $C T_p(s)$	1.0	1.0	1.0
	Zona del factor $C T_L(s)$	1.6	1.6	1.6
Sh		0.256	0.289	0.317
Sv		0.683	0.772	0.846

3.9 RECURSOS

El espesor promedio del yacimiento de carbón es 2.50 m.; con un volumen de 169,568.43 m³., peso específico: 1.70 TM/m³, obteniendo la siguiente estimación:

Reservas	: 288,266.331 TM
Producción anual	: 37,440 TM/año
Producción mensual	: 3,120 TM/mes
Producción diaria	: 120 TM/día
Días de trabajo	: 26 días/mes

Cuadro 3.6. Estimación de reservas de carbón de la Mina Vieja.

ÁREA (m ²)	ESPESOR DE ESTIMACIÓN (m.)	VOLUMÉN ESTIMADA (m ³)	TONELADAS MÉTRICAS
67,827.37	2.50	169,568.43	288,266.331

Cuadro 3.7. Estimación de vida del proyecto.

VIDA ÚTIL (AÑOS)	7.70
------------------	------

Se estima una vida útil de la mina de 7.70 años destinados a la explotación, por consiguiente, al culminar está esta primera etapa de explotación, se proseguirá a ampliar el tajo de explotación para las operaciones de extracción de agregado de cerro aumentando las reservas de mineral y prolongación del tiempo de vida útil de la mina.

3.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.10.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación

- **No experimental:** Basada en la sustentación: Observacional, análisis e interpretación, fundamentada en función: Origen, espesor del manto, secuencia estratigráfica formación, resistencia y optimo método de explotación para minimizar gastos, mediante la extracción de mineral no metálico de carbón: Bituminoso y antracítico Así mismo también se tuvo en consideración cuento de recubrimiento cuaternario de material excedente hay para extraer, obtener el carbón; por consiguiente también se puso en práctica la estabilidad del frente y tipo de maquinaria.
- **Transversal:** Constituida por la ocurrencia observacional descriptivo del entorno del movimiento de tierras, mediante el desarrollo de cada variable: Dependiente e independiente, dando la consistencia ingenieril científica; para mejorar la estabilidad del tajo y sistema de producción de desbroce, acarreo, acopio y comercialización del mineral no metálico - Mina Vieja. Por consiguiente, muestra también los fenómenos geodinámicos que se originan en la parte superior del tajo de explotación.
- **Deductivo:** De acuerdo con los métodos anteriormente desarrollados y complementados con la etapa de campo se planteó el título principal o de investigación, para llegar a correlacionar mediante la obtención de información independiente de cada variable para dar respuesta a los objetivos específicos, plasmados en respuestas cuantitativas y cualitativas, basadas en estrategias de razonamiento general a lo particular logrando obtener respuesta anticipadas mediante la respuesta a la hipótesis,

logrando proyectar inferencias lógicas del manto de carbón y también como debe posteriormente extraerse por métodos ingenieriles.

3.10.2 Población

Se ubica en la Mina Vieja, específicamente en el tajo de explotación de la zona 1, realizando actividades de: Desbroce, seleccionamiento, acopio y comercialización de mineral no metálico, presentando un área 14,506.20 m². de tajo, para determinar la evaluación geotécnica y método de explotación.

3.10.3 Muestra

La muestra fue obtenida del tajo de explotación enmarcada en suelos y rocas, utilizando parámetros geotécnicos de obtención de: Muestra, procesamiento y laboratorio.

3.10.4 Unidad de análisis

Parte importante del desarrollo de la investigación geotécnica de producción, fundamentadas por el desarrollo de las variables como: Litología, geoestructuras, geomorfología, geotecnia, método de explotación, precipitación e infiltración; que tienen relación directa con la actividad de producción de la empresa JHYOS MINERA S.A.C.

3.10.5 Recopilación y procesamiento de información

Estuvo constituida por sucesivas etapas, que fueron debidamente planificadas, siguiendo parámetros de recopilación y procedimientos, que se detallan a continuación de la tesis:

- **Primera etapa:** Constituida en realizar actividades de búsqueda de información científica relacionada con el título de investigación como: Libros, papers, seminarios, revistas, etc.; que aportaran con el enfoque

científico y metodológico, que fundamenta el reglamento de grados y títulos la Universidad Nacional de Cajamarca. Así mismo se adiciona o anexa la autorización de la empresa y aceptación del asesor para la elaboración y desarrollo de la tesis.

- **Segunda etapa:** Basada en actividades de: Planificación, cartografiado de campo y agrupamiento de información; conformado por 6 salidas de campo debidamente distribuidas en el área de estudio, enfocadas al desarrollo de variables dependiente e independientes. Así mismo también se realizó adquisición de equipos y materiales, debidamente calibrados para evitar errores progresivos en el procesamiento de información.
- **Tercera etapa:** Está dada por la acumulación y seleccionamiento de información de campo, apuntada en libretas de campo a registros geotécnicos, para posteriormente transcribirla a información editable que sirve como base para realizar mejoramiento y recomendaciones en el proyecto de investigación desarrollado por los cartografiados geológicos-mineros.
- **Cuarta etapa:** Lo constituye la elaboración del documento editable plasmando información: Cuantitativa y cualitativa, mediante en gráficos, cuadros y planos; teniendo como base los protocolos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Por consiguiente, esta etapa está acompañada de ingreso de la tesis al 50% y 100%, susceptible a levantamiento de observación por parte del jurado evaluador.

3.10.6 Equipos, materiales y soporte computacional

Conforman la etapa del desarrollo de la investigación, siendo utilizado progresivamente ya sea en gabinete o campo, cumpliendo los estándares de procesamiento información, acompañados de equipos, materiales y soporte técnico.

- **Equipos:** Están relacionados con la información obtenida de campo acompañada de instrumentos de lectura mecánica y computarizada, o captura en tiempo real, como: GPS Garmin, celular, cámara fotográfica, brújula geotécnica, protactor, rayador, lupa, wincha y picota.
- **Materiales:** Base importante conformada por elementos de escritorio para: Trazar, anotar y proyectar, a mano alzada conformado por los siguiente: Registro geotécnico, registro geoestructural, colores, plumones, lápices, borrador, corrector, tajador, regla, lapiceros, libreta de campo, ácido clorhídrico, marcador indeleble, portapapeles y flexómetro.
- **Software:** Utilizado plasmar la tesis de investigación mediante la transcripción de información editable mediante por programas numéricos como: Word, Excel, Adobe AcrobatDC, SASPlanet, Google Earth Pro, Google Maps, Global Mapper, ArcGis, AutoCAD, Faultkin y RocData.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 Geología local

La geología está conformada rocas del Cenozoico: Neógeno a Cuaternario, emplazado en el Grupo Calipuy – Volcánico Frailones y Holoceno - Depósito Lacustre. Por consiguiente, las acumulaciones de carbón se acumularon en la paleocuenca del Volcánico Frailones formando grandes acumulaciones de restos de vegetación formando con el tiempo carbón: Antracítico y bituminoso, infrayaciendo al volcánico que se encuentra ubicado dentro de su secuencia volcánica a profundidad vertical de 10 m. a 15 m. de referencia del superficial del terreno, por lo contrario, la secuencia presenta un grosor 1.50 m. el Volcánico Frailones. Morfológicamente está definida por geoformas como: Planicies y lomadas; con pendientes bajas a moderadas relacionados a la tectónica (plegamientos, fallas y sobreescrismientos) y el modelamiento morfotopogenético; originándose en la etapa posterior a los comienzos del Levantamiento Andino; probablemente inició en el Mioceno tardío o Plioceno. Constituyendo parte de las erupciones de piroclásticas ácidas que cubrieron a enormes áreas de los Andes en el Plio-Pleistoceno. Así mismo el método de explotación es a tajo abierto por tiras por ser mantos horizontales con secuencias intercaladas de tobas piroclásticas: 0.20 m. a 0.60 m. y carbón: Antracítico y bituminoso de grosor: 0.15 m. a 1.50 m. en el techo siendo cubierto en su totalidad por flujos piroclásticos de grosor: 10 m. a 20 m. y finalmente por Depósito Lacustre de grosor 0.20 m. a 0.35 m.; geocronológicamente presenta dos unidades litoestratigráficas, delimitadas desde la edad: Messiniano al Holoceno.

- **Volcánico Frailones:** Está compuesto por flujo piroclásticos de rocas pómex, gris blanquecino a amarillento, rico en cristales y fragmentos líticos afaníticos y porfiríticos, de composición mayormente ácida, presentando

fragmentos de cuarzo desde: 2 mm. a 3 mm. de diámetro y cristales euhedrales de biotita en una matriz feldespática que probablemente corresponden a tobas dacíticas. Así mismo en composición muestra secuencia brechas dacíticas compuestas por bloques grandes de tobas envueltos en la matriz tobácea, conteniendo fragmentos de pómez de textura fibrosa de color blanco. Aunque la mayor parte de la formación está constituida por piroclásticos ácidos, evidenciándose capas de toba andesítica que se distinguen generalmente por sus colores rojizos a morados. En contraste los piroclásticos ácidos muestran tonos claros de gris verde, rosado o amarillo. Evidenciándose los fiames o dirección de flujo del material piroclásticos del Volcánico Frailones compuesta por capas: Medianas o gruesas, parcialmente compactas con escasos niveles de toba ignimbrita (Montoya, F. 20199).

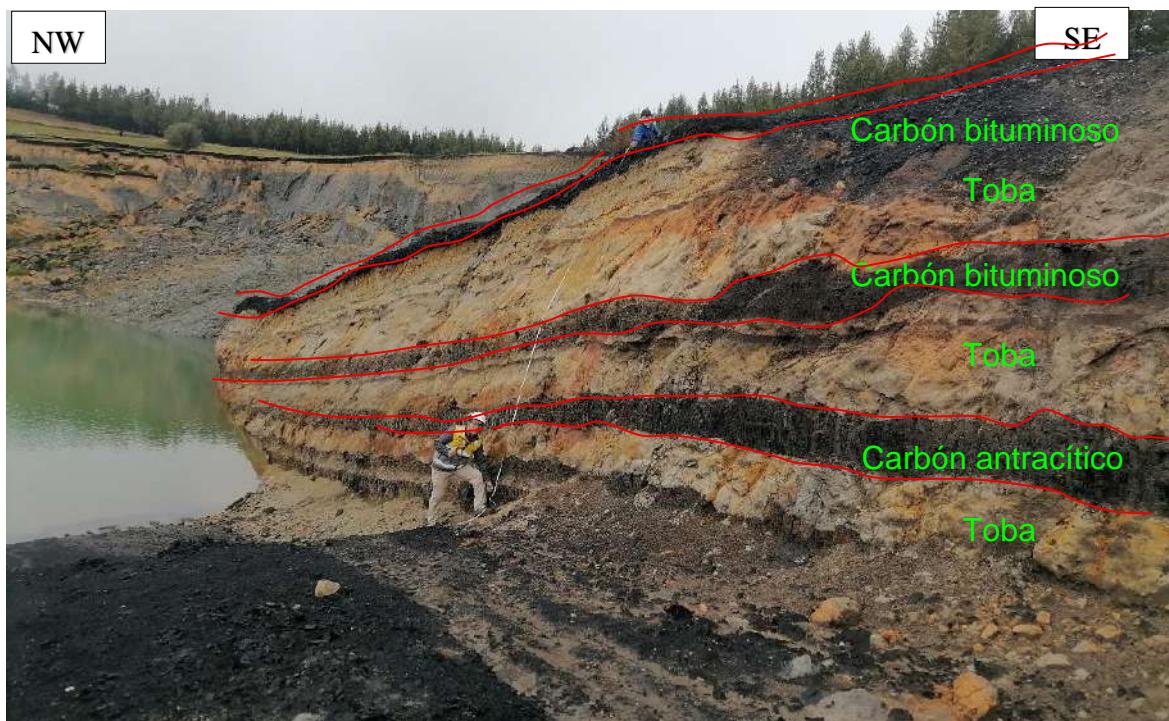


Figura 4.1. Secuencia litológica del emplazamiento del carbón: Antracítico y bituminoso, con intercalaciones de tobas piroclásticas, con estrato: Subhorizontal, de orientación (Az/Bz) N240°/11°NW.

Así mismo la secuencia piroclástica se depositó en la paleocuenca del sector Yanacancha en función de topografía superficial de ese entonces, mediante grandes acumulándose de material piroclástico, evidenciándose en el nivel superior del Volcánico Frailones facies de roca sedimentaria de

carbón: Antracítico y bituminoso, iniciando con grosores en el piso: 4.50 m. a 4 m., conforme llegan al techo disminuye su grosor desde: 1.50 m. a 0.30 m., con intercalaciones de materiales limoso de color: Castaño a anaranjado de grosor: 0.15 m. a 0.50 m., presentando estratos horizontales de orientación (Az/Bz) N240°/11°NW. Por consiguiente, ocurrieron otras secuencias volcánicas relacionadas con el Volcánico Tantahuatay; cubriendo a los mantos de carbón que actualmente se encuentran emplazados en el Volcánico Frailones (Montoya, F. 20199).



Figura 4.2. Litología sedimentaria no metálica de carbón: Bituminoso, de espesor: 0.50m. a 0.65 m., infrayaciendo las tobas piroclásticas.

- **Depósito lacustre:** Constituido litológicamente por un suelo altamente orgánico de color negruzco a bituminoso, perteneciente al Sistema Cuaternario, de textura suave a fina, con grosor: 0.20 m. a 0.50 m. presentando diferente espesor de acuerdo con la topogeomorfología del terreno en el tajo Mina Vieja, cubriendo a toda la superficie del terreno.



Figura 4.3. Perfil estratigráfico de la parte superior del tajo, evidenciándose Depósito Lacustre de 0.30 m. y toba piroclástica 17.50 m.

4.1.2 Geotecnia

La caracterización del tajo Mina Vieja está conformada por diferentes tipos de materiales: Carbón antracítico, carbón bituminoso y tobas piroclásticos, depositados en la paleocuenca volcánica que se acumuló y cubrió al carbón sedimentario siendo importante para su extracción, teniendo como primera etapa determinar los parámetros de la roca en función de cada estación geomecánica. Así mismo para obtener la caracterización de la roca se analizó de manera individual, para el comportamiento frente a estado de sobre carga, basándose en parámetros ingenieriles del macizo rocoso mediante el modelo: No lineal Hoek - Brown y lineal Morh Coulomb, siendo de vital importancia para la mecánica de roca en la obtención de las constantes elásticas del macizo rocoso, logrando así plasmar la calidad de roca para la extracción y la sección de corte del tajo (Anexo C, Plano 09).

Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica los criterios empíricos del tajo de explotación – Mina Vieja.

Roca	RQD(%)			RMR			GSI		
	EGM-01	EGM-02	EGM-03	EGM-01	EGM-02	EGM-03	EGM-01	EGM-02	EGM-03
Antracita	34.77	31.06	28.73	37	35	32	32	30	27
Calidad mala			Calidad muy mala			Calidad mala			
Bituminoso	21.31	17.43	23.55	18	13	16	15	8	11
Calidad muy mala			Calidad muy mala			Calidad muy mala			
Piroclástica	40.60	37.83	46.80	51	46	59	48	41	51
Calidad regular			Calidad regular			Calidad regular			

Así mismo los valores de reporte muestran valores muy bajos por ser un material que se formó en el Cenozoico, no logando completar su ambiente de formación presentando alto fracturamiento no superando el 1 m. en el tajo con $\sigma_{ci}=16$ MPa a 39 MPa el carbón; en cambio el material volcánico muestra bajo grado de fracturamiento siendo una estructura más masiva geomecánicamente con $\sigma_{ci}=38$ MPa a 43 MPa, pero mostrando un comportamiento más plástico cuando está en contacto con el agua, mostrando sectores de inestabilidad progresiva.

4.1.2.1 Carbón antracítico: El carbón antracítico está emplazado en el manto sedimentario conformando espesores: 0.15 m. a 0.20 m. de color negro brillante y lustroso, de brillo submetálico, con alto poder calorífico, dureza 3 escala de Mohs. Presentando $\sigma_{ci} = 32$ MPa a 39 MPa, equivalente R1 – 1 golpe, RQD= 28.73% a 34.77%, RMR = 32 a 37 y GSI = 27 a 32 definiendo roca de calidad mala y peso específico = 17 TM/m³. Presentando continuidad menor a 1 m. por su alto grado de fracturamiento forma bloques romboédricos, mostrando como facie estratigráfica Bz = 11°NW horizontal a subhorizontal. Por lo contrario, el afloramiento rocoso no presenta afectación las superficies de la roca por meteorización, plano de rugosidad suave, apertura < 0.10 a 1; y condiciones de agua humedad por la elevada precipitación. Por lo contrario, se encuentra como franjas sedimentarias de formación siendo material más resistente en algunos casos intercalado con bituminoso, diferenciándose a simple vista en el tajo de explotación.

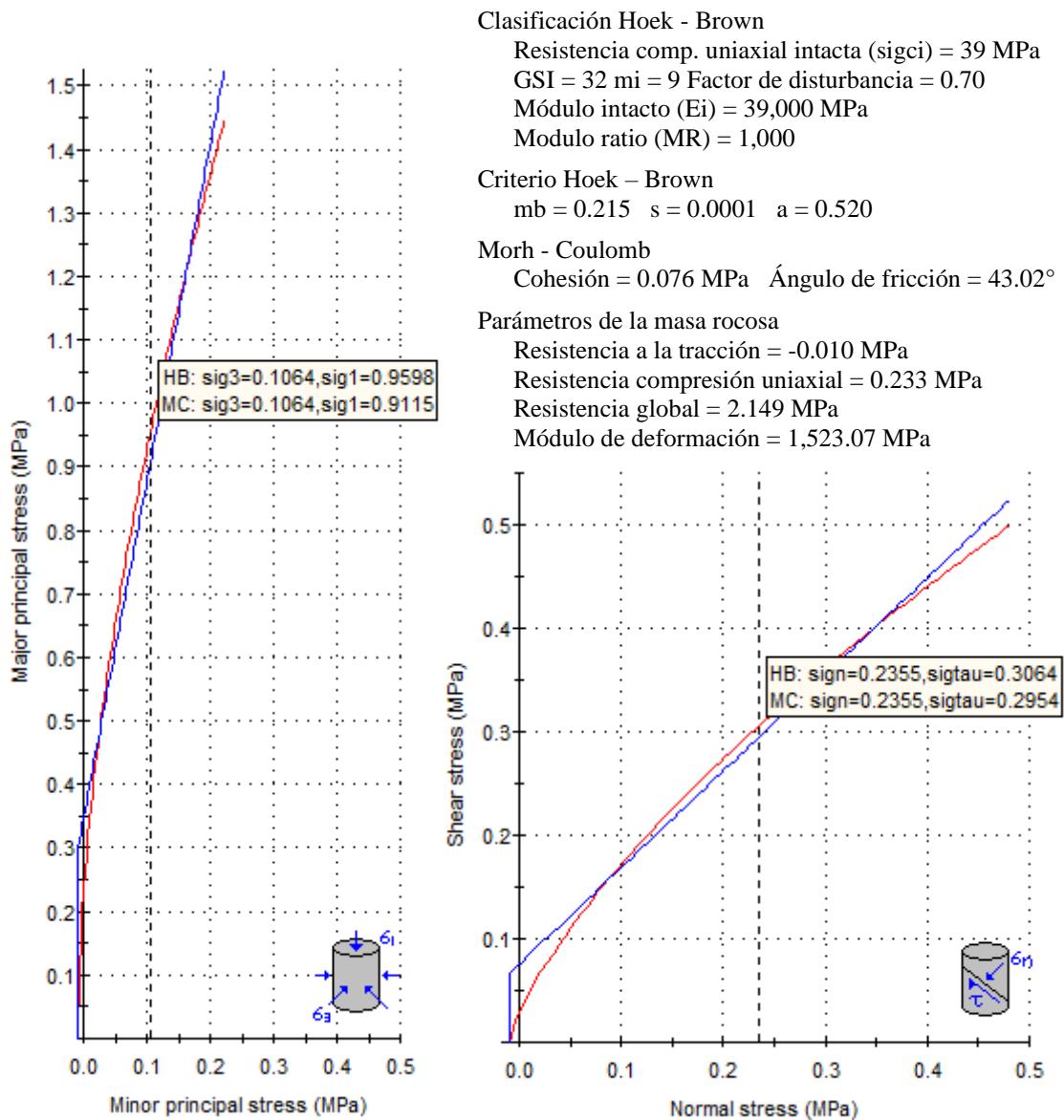


Figura 4.4. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón antracita EGM-01, RocData.

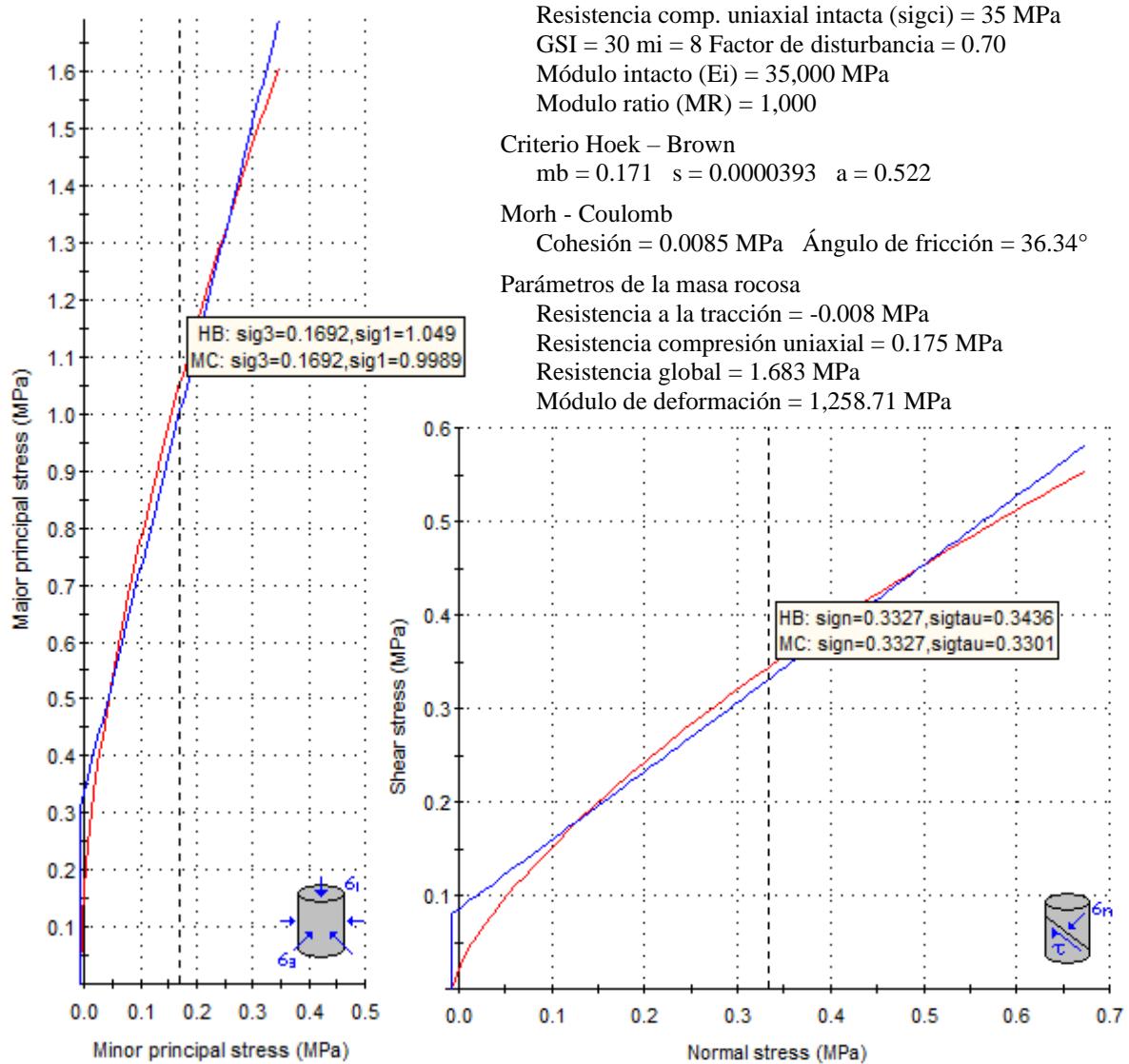


Figura 4.5. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón antracita EGM-02, RocData.

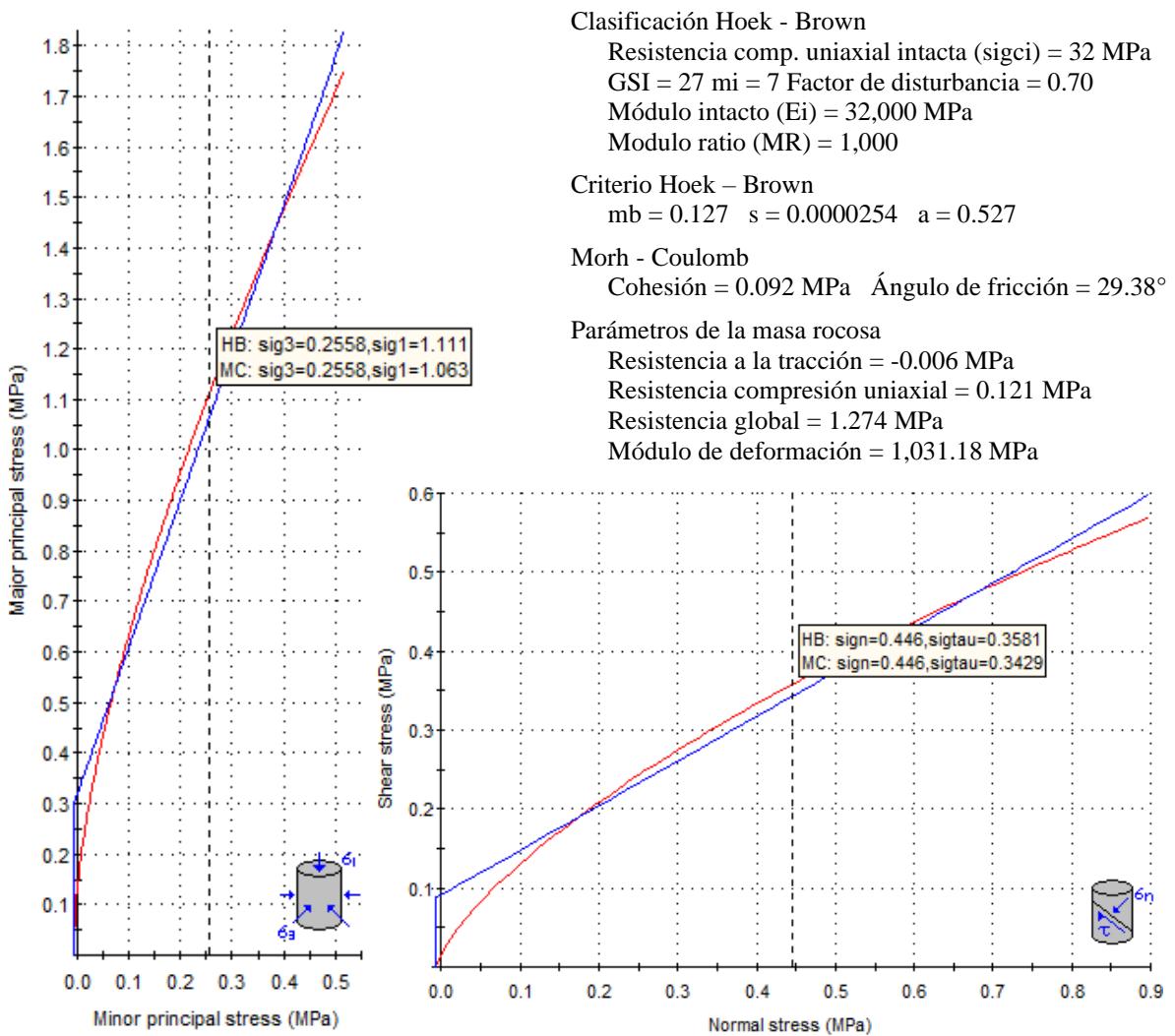
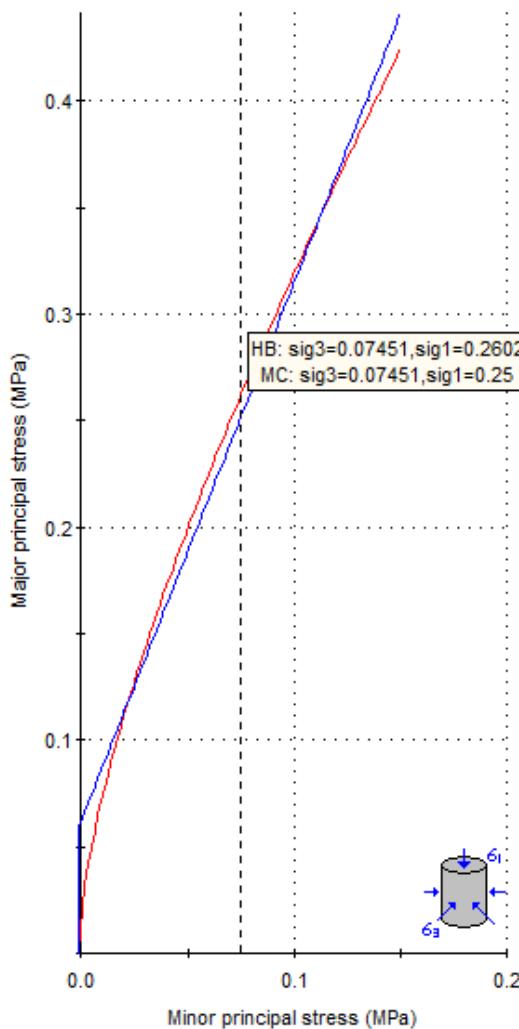


Figura 4.6. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón antracita EGM-03, RocData.

4.1.2.2 Carbón bituminoso: Este carbón bituminoso tiene textura fisil o laminar de espesor: 2 mm. a 4 mm., constituyendo grosor: 0.20 m. a 0.30 m. de color opaco de baja resistencia: $\sigma_{ci} = 16$ MPa a 21 MPa, equivalente R1 – 1 golpe, RQD= 17.43% a 23.55%, RMR = 13 a 18 y GSI = 8 a 11, categorizándolo como roca de muy mala calidad por sus valores muy bajos de caracterización geomecánica, predefiniendo la sección de corte es H:V 6:2 de tajo del talud al formar sectores inestables. Así mismo el carbón se encuentra intercalado conformando un solo manto predominando en su mayoría el carbón bituminoso siendo 65% en comparación del carbón antracítico un 35%.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (sigci) = 19 MPa
GSI = 15 mi = 7 Factor de disturbancia = 0.70
Módulo intacto (E_i) = 4,560 MPa
Modulo ratio (MR) = 240

Criterio Hoek - Brown

$m_b = 0.066$ $s = 0.00000447$ $a = 0.561$

Mohr - Coulomb

Cohesión = 0.020 MPa Ángulo de fricción = 25.60°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.001 MPa
Resistencia compresión uniaxial = 0.019 MPa
Resistencia global = 0.416 MPa
Módulo de deformación = 110.16 MPa

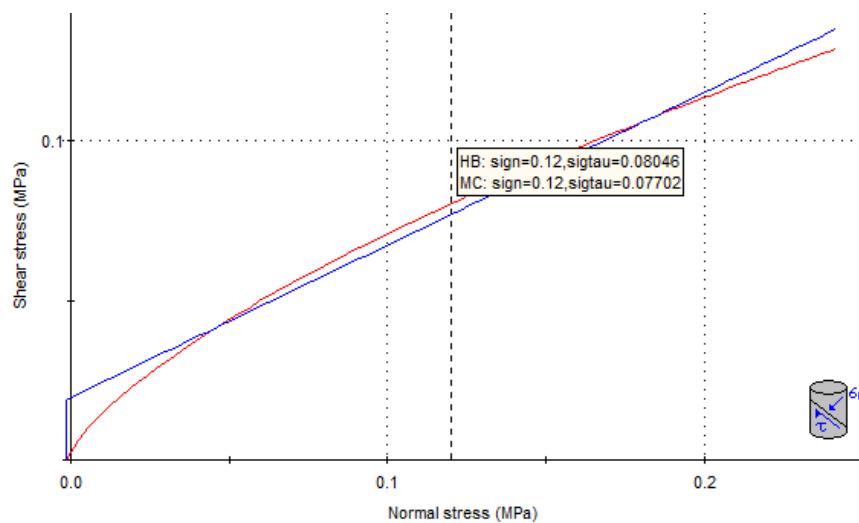


Figura 4.7. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón bituminoso EGM-01, RocData.

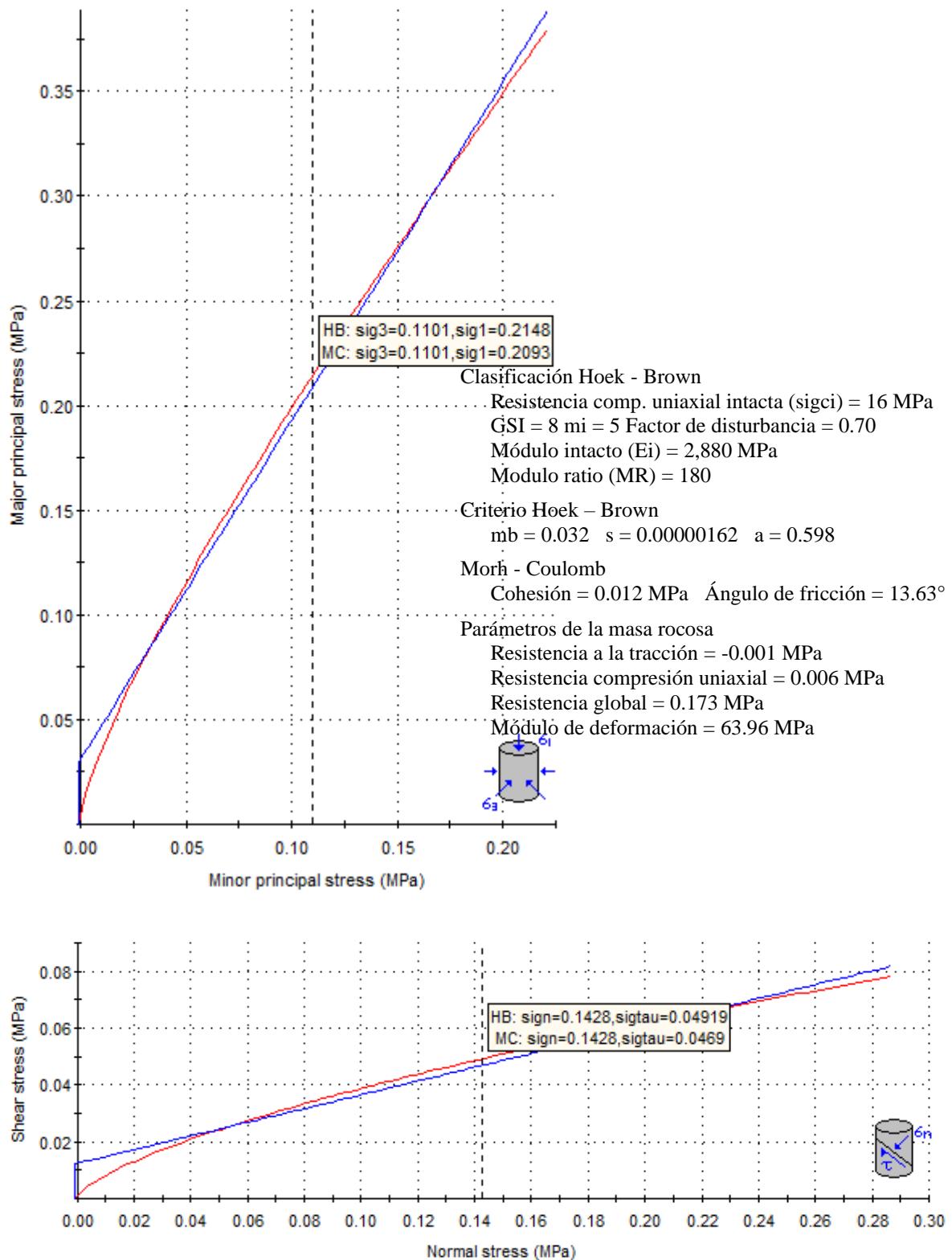


Figura 4.8. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón bituminoso EGM-02, RocData.

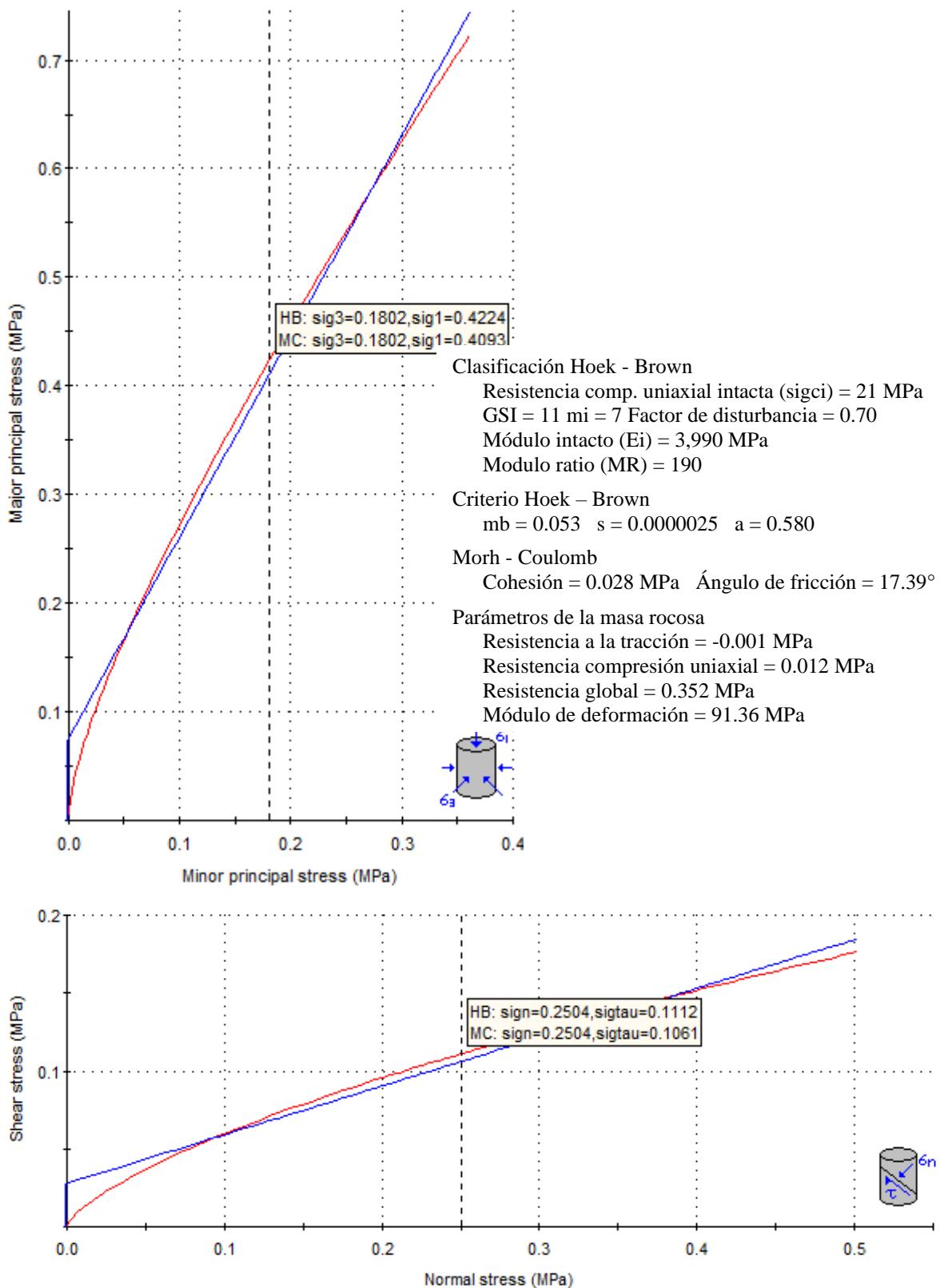


Figura 4.9. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Carbón bituminoso EGM-03, RocData.

4.1.2.3 Toba piroclástica: La roca volcánica está compuesta por roca piroclástica félítica de color gris, cubriendo a toda la superficie de estudio, siendo material de calidad media a regular con parámetros de cartografiado como: $\sigma_{ci} = 38$ MPa a 43 MPa, equivalente R2 – 2 golpe, RQD= 37.83% a 46.80%, RMR = 46 a 59 y GSI = 46 a 54. Así mismo este material se encuentra intercalando y delimitando el manto de carbón desde grosor: 0.35 m. a 0.75 m., formando sectores estables por su estructura masiva y muy escaso grado de fracturamiento.

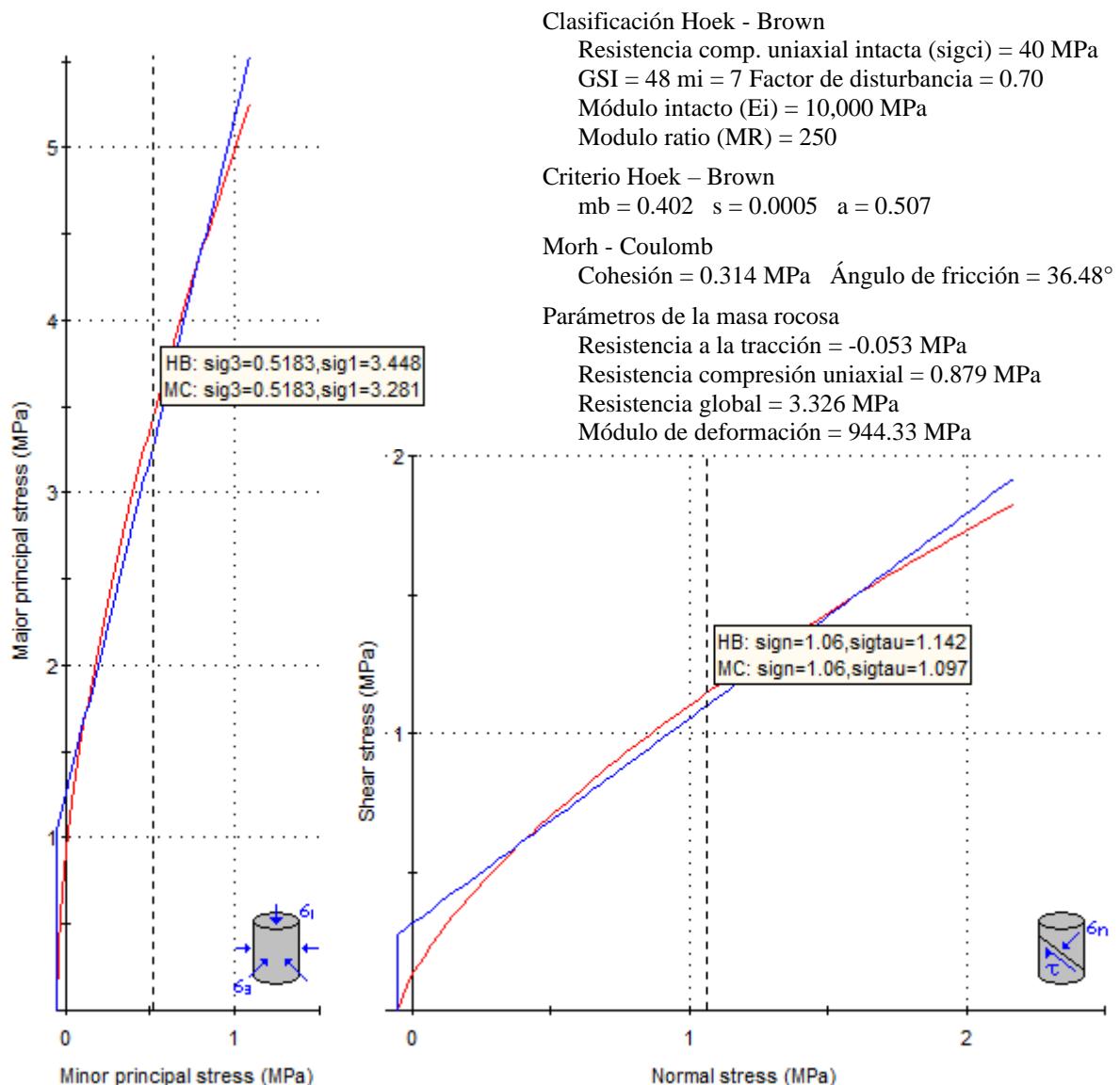


Figura 4.10. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Toba piroclástica EGM-01, RocData.

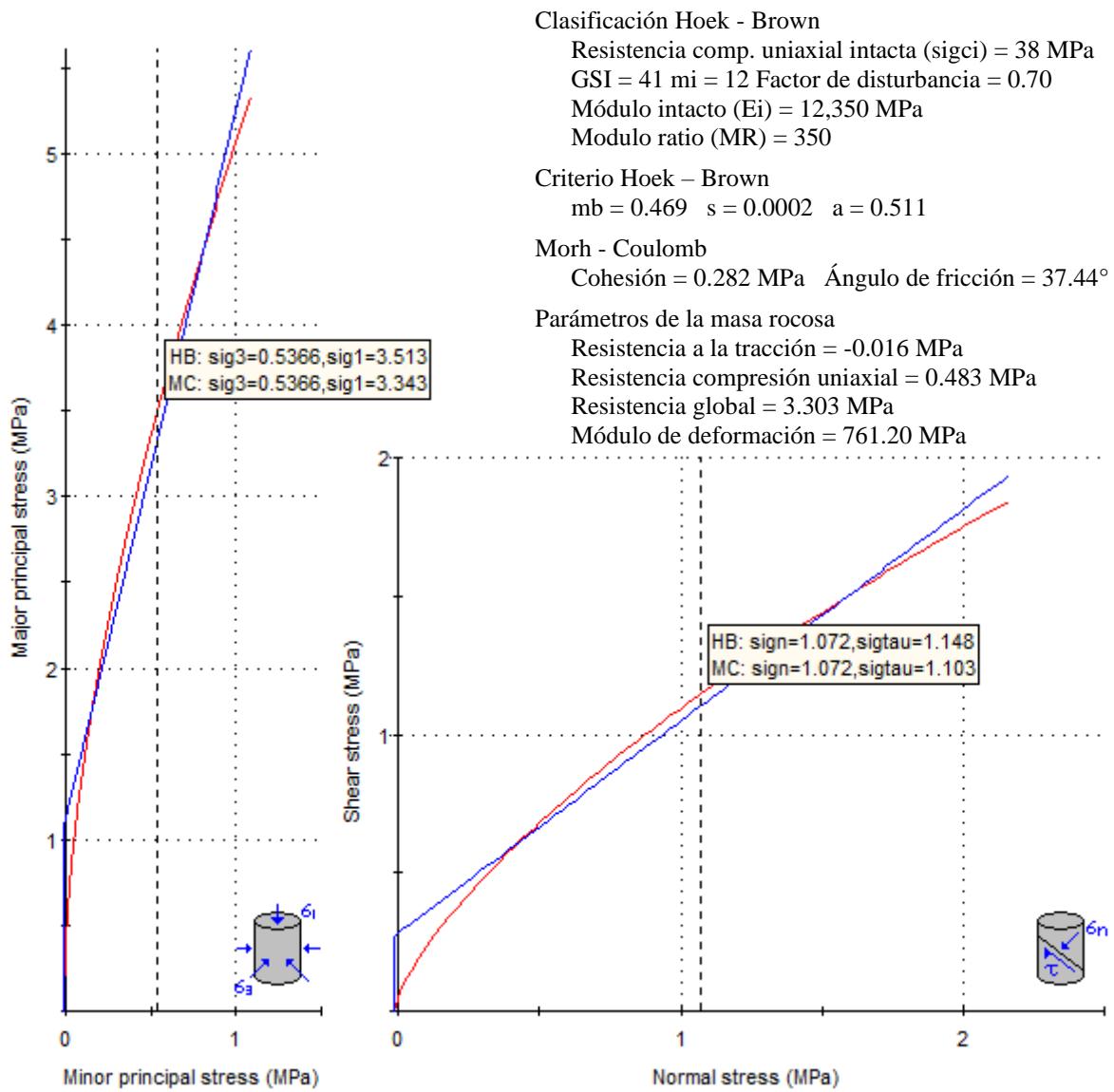


Figura 4.11. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Toba piroclástica EGM-02, RocData.

Para obtener valores ingenieriles de estabilidad se tuvo que aplicar el método de equivalencia de áreas, con consideración de estabilidad de producción de roca por el constante movimiento de tierras en el tajo de explotación, siendo la base primordial para la estabilidad constituyendo la sobre carga que cubre a todo el manto de carbón, así mejorando la estabilidad en todo el tajo de explotación teniendo consideraciones de secciones de corte H.V 10:3, por la calidad de roca y bermas 15 m. Así mismo para minimizar la inestabilidad de roca volcánica construir zanjas de coronación para conducir el agua de escorrentía a otros sectores y no afecte el talud de corte de avance y recubrimiento de material excedente; así

aumentado el carguío en la parte inferior del tajo, mediante un planeamiento de minado por dos excavadoras mecanizadas.

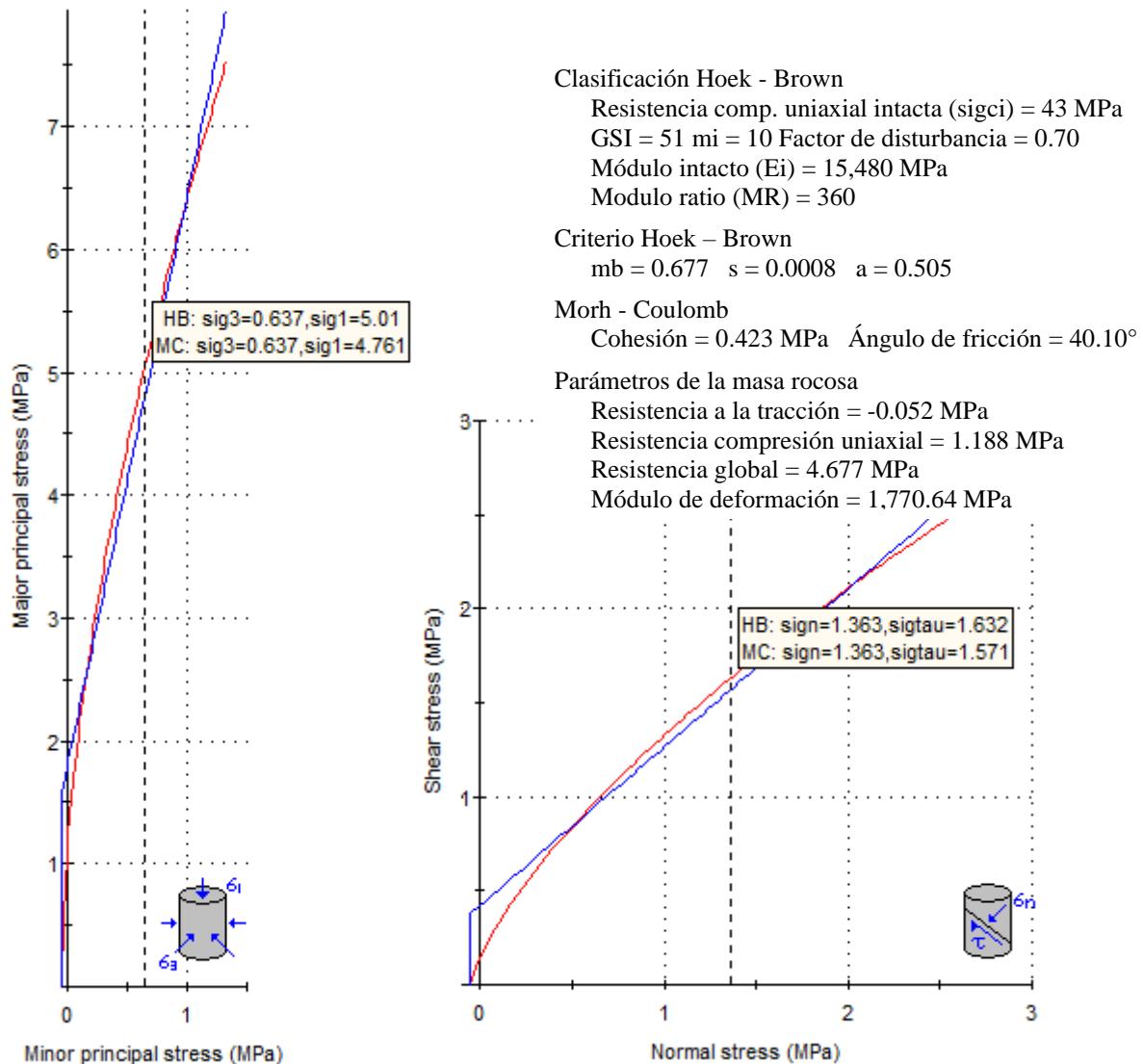


Figura 4.12. Equivalencia de áreas, mediante la interacción de esfuerzos: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C). Toba piroclástica EGM-03, RocData.

El cuadro 4.2 muestra la resistencia de los materiales que conforma el tajo de explotación, siendo materiales muy deleznable poco consolidados en su formación geológica, presentando valores bajos de resistencia y parámetros de composición. Así mismo los resultados muestran ser materiales muy cambiantes bajo la saturación de agua, afectando la estabilidad del tajo, siendo necesario tener controles ingenieriles de diseño y estabilización, así mismo las aguas subterráneas afectaran la estabilidad siendo necesario realizar ensayos en tensiones efectivas bajo saturación para visualizar los cambios geotécnicos.

Cuadro 4.2. Valores de resistencias y parámetros según estaciones del macizo rocoso de la Mina Vieja, comprendidos en los registros del anexo B.

Criterios		Estación geomecánica								
		Antracita			Bituminoso			Tobas		
		EGM-01	EGM-02	EGM-03	EGM-01	EGM-02	EGM-03	EGM-01	EGM-02	EGM-03
Clasificación Hoek - Brown	mi	9	8	7	7	5	7	7	12	10
	D	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
	Ei (MPa)	39,000	35,000	32,000	4,560	2,880	3,990	10,000	12,350	15,480
	MR	1000	1000	1000	240	180	190	250	325	360
Criterio Hoek - Brown	mb	0.215	0.171	0.127	0.066	0.032	0.053	0.402	0.469	0.677
	s	0.0001	0.0000393	0.0000254	0.00000447	0.00000162	0.0000025	0.0005	0.0002	0.0008
	a	0.520	0.522	0.527	0.561	0.598	0.580	0.507	0.511	0.505
Parámetros masa rocosa	σ_t (MPa)	-0.010	-0.008	-0.006	-0.001	-0.001	-0.001	-0.053	-0.016	-0.052
	σ_c (MPa)	0.233	0.175	0.1221	0.019	0.006	0.012	0.879	0.483	1.188
	σ_{ct} (MPa)	2.149	1.683	1.274	0.416	0.173	0.352	3.326	3.303	4.677
	E_m (MPa)	1,523.07	1,258.71	1,031.18	110.16	63.96	91.36	944.33	761.20	1,770.64
Criterio Mohr - Coulomb	c	0.076	0.085	0.092	0.020	0.012	0.028	0.314	0.282	0.423
	ϕ°	43.02°	36.34°	29.38°	25.60°	13.63°	17.39°	36.48°	37.44°	40.10°

4.1.3 Inestabilidad del tajo de explotación

La constante apertura del tajo de explotación hacia el Norte por la orientación de los mantos de carbón horizontales a subhorizontales con buzamiento 11°NW, origina cada vez descapotar con más frecuencia material residual logrando alturas 35 m. con dirección hacia el cerro, así mismo por ser materiales de origen piroclástico de composición limoarcilloso está originando asentamientos graduales en forma de media luna paralelas una respecto a la otra, formando deslizamiento rotacional compuesto abarcando longitudes 180 m. a 250 m. con desplazamientos 0.50 m. de zanja de coronación; deslizándose a favor del tajo de explotación por ser suelos muy heterogéneos; así mismo la constante precipitación y clima húmedo en la zona se encuentra saturado de agua por: Escorrentía superficial y agua subterránea ocasionando cada vez mayor afectación y ampliación transversal de longitud 110 m. hacia la parte norte, para tales contingencia se plantea realizar banquetas V:H 8:2, con berma 5.5 m.



Figura 4.13. Inestabilidades en sector Norte del tajo Mina Vieja de explotación, relacionándose con deslizamiento rotacional compuesto, por las secuencias progresivas de escarpas de asentamiento posteriores de la corona del talud.

4.1.4 Método de explotación

El ciclo de minado de la Mina Vieja es a tajo abierto por tiras, siendo la extracción por bancos o banquetas por el emplazamiento del carbón Subhorizontal, plasmando el diseño geotécnico de acuerdo con la resistencia del material presentando los siguientes parámetros: Altura de banco, rampas, bermas, ángulo de banco y ángulo final de banco. El método para complementar para la extracción se complementará con maquinaria como: Excavadora, retroexcavadora, volquetes, grupo electrógeno y motobombas; utilizándose de manera adecuada definiendo la distribución de la excavadora de carguío, ubicándolas estratégicamente para: Desbroce y avance en la extracción de carbón y desmonte. Por consiguiente, de acuerdo con la ampliación del tajo y aperturamiento el manto se evidencia mantos de carbón con orientación NW con contra de la cara libre del carbón para mejores formaciones de pilas de escombros, constituido por: Desbroce, seleccionamiento, acumulación, transporte y comercialización; aplicado en el planeamiento de minado del yacimiento minero no metálico de producción de materia prima.

El tajo de explotación del yacimiento Mina Vieja presenta un frente de explotación con los siguientes parámetros geométricos de explotación: Altura de banco (hb) 15 m., ancho de banco (b) 7.50 m., quebradura (q) 7 m., ángulo de talud (ab) 65° y ángulo de interrampa (ar) 50°. Por consiguiente, las operaciones de carguío presentan los siguientes parámetros: Baranda de seguridad (BS) 4 m., distancia de seguridad (Ds) 2.50 m., ancho de camión (Ac) 3.50 m., radio de giro del equipo de carguío o radio de operación (RGc) 10 m., derrames (DD) 1.50 m. y ancho mínimo de carguío (AMc) 34 m.; para tener mejores controles en la extracción y sistema operativo de las maquinarias.

La Desmontera: Los materiales o desmontes generados por la extracción mineral generan desmonte progresivamente, conformando un peso específico: 1.40 TM/m³., ángulo de talud de 45°, altura de banco: 1.20 m., ancho de berma: 2.40 m. y quebradura: 1.20 m.; conformando un área 2,064.31 m². y un volumen: 13,489.19TM., conformado por cuatro bancos de acumulación de desmontes. Para estabilizar la desmontera se realizará por bancos o banquetas, revestidas con geotextiles de recubrimiento para evitar la erosión acelerada y cunetas de sección

triangular de base 0.45 m. y altura 0.30 m. Colocar en la parte inferior collarín de gaviones de sección cuadrada de 2 m. de altura.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación que realizó Montoya 2019, muestra variaciones de la orientación del manto de carbón con (Az/Bz): N335°/30°NE y N240°/11°NW, definiendo Montoya que presenta 4.50 m. de espesor conformando una sola estructura carbonífera conformada por secuencias de antracita y bituminoso, en cambio en la Mina Vieja se muestra secuencias intercaladas de carbón y toba piroclástica presentando variaciones desde 0.50 m. a 1.50 m. Por consiguiente, ambos utilizan método de explotación a cielo abierto por banquetas mostrando valores: Altura de banco (hb) 6 m., ancho de banco (b) 6 m., quebradura (q) 2.30 m. y ángulo de talud (ab) 75°, siendo valores muy distintos de acuerdo con el tipo de maquinaria y producción por día.

Por lo contrario, Lozano, Ochoa y Camacho (2012), muestra la extracción de carbón a cielo abierto con parámetros de diseño: Angulo de talud 35° (Flanco occidental) y 50° (Flanco oriental) y berma 5 m., profundidad total 80 m. conformado por litologías: Lodolitas, limolitas, arcillolitas, arenisca y niveles de carbón; y Corrigan (2011) extrae carbón a cielo abierto produciendo alrededor 12 MTM/año, operando mediante sistema integrado, ubicándose las dragas en la parte inferior; utilizando 76 camiones desde 190 TM a 240 TM, presentando parámetros geométricos: talud 70°, talud final 45°, con vida útil de 2050. Así mismo Ramírez (2018), presentado reservas 15.10×10^6 TM de carbón a radio medio $7.0 \text{ m}^3/\text{TM}$ de carbón, con producción anual 1×10^6 TM/año. Utilizando el método de explotación a cielo abierto con parámetros de extracción de carbón de diseño de tajo: Altura de banco 20 m., anchura de berma 10 m., ángulo de talud 56° y ángulo de talud final 40°. Planteando el desmontera: Altura de banco 20 m., anchura de berma 8 m. – 14 m., ángulo de talud 34°, ángulo de talud final 26°. Acotando con las investigaciones presentan valores similares siendo esto yacimientos emplazados en rocas sedimentarias como roca caja y en cambio la tesis fue emplazado en roca volcánica por consiguiente, Corona et al., (2006) muestra la extracción de carbón bituminoso a tajo abierto emplazado en el Jurásico con estimando reservas

mayores a 30 millones de TM de carbón, con capas carbón desde 0.15 m. a 3 m.; presentando características similares de carbones siendo de mayor durabilidad de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas de las de Corona et al., (2006).

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El cartografiado geológico-geotécnico del tajo de explotación afirma que está conformado por secuencias de carbón: Antracítico y bituminoso de espesor: 0.20 m. a 0.50 m., con intercalaciones de tobas piroclásticas de 0.50 m. a 0.75 m. negando que no presenta limolitas se estructura de estatificación, por consiguiente presenta estratos de orientación: Subhorizontal, por lo contrario, para optimizar el método de explotación es a tajo abierto por banquetas con parámetros geométricos: Altura de banco 15 m., ancho de banco 7.50 m., quebradura 7 m., ángulo de talud 65° y ángulo de interrampa 50°. Así mismo, las operaciones de carguío son: Baranda de seguridad 4 m., distancia de seguridad 2.50 m., ancho de camión 3.50m., radio de giro del equipo de carguío 10 m., derrames 1.50 m. y ancho mínimo de carguío 34 m.; mediante el desarrollo de las variables como: Litología-geoestructuras, precipitación-infiltración y sismicidad, que interactúan con las variables detonantes como la ocasionando disminución de la resistencia de la cohesión y fricción, afectando las propiedades el tajo ubicado al NW.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico está conformado por mantos de carbón: Antracita y bituminoso, con intercalaciones de tobas piroclásticas del Volcánico Frailones, ubicado dentro de su secuencia volcánica a profundidad vertical de 10 m. a 15 m. de referencia del superficial del terreno.

Geotécnicamente conformado por roca de calidad: Muy mala - bituminoso, mala - antracita y tobas piroclásticas regular.

Los parámetros geotécnicos lo caracterizan como rocas calidad: Muy mala - bituminoso RQD = 17.43% a 23.55%, RMR = 13 a 18 y GSI = 8 a 15; Mala - Antracita RQD = 28.73% a 34.77%, RMR = 32 a 37 y GSI = 27 a 32 y regular - Toba piroclástica RQD = 37.83% a 46.80%, RMR = 46 a 59 y GSI = 41 a 51; así mismos por el alto grado de fracturamiento se utilizó el método generalizado Hoek y Brown obteniendo valores: $0.00000447 < s < 0.0005 \neq 1$, $0.505 < a < 0.598 \neq 1/2$, $D = 0.70$ por grado de disturbación del tajo.

La inestabilidad se ubica al NW del tajo de explotación de avance, por estar afectado por aguas superficiales, siendo conformado por tobas piroclásticas, presentado: Altura = 48 m. y longitud de ladera = 222 m., formando deslizamientos rotacionales compuestos.

El método de explotación es tajo abierto por banquetas con parámetros geométricos: Altura de banco 15 m., ancho de banco 7.50 m., quebradura 7 m., ángulo de talud 65° y ángulo de interrampa 50° . Así mismo, las operaciones de carguío son: Baranda de seguridad 4 m., distancia de seguridad 2.50 m., ancho de camión 3.50 m., radio de giro del equipo de carguío 10 m., derrames 1.50 m. y ancho mínimo de carguío 34 m.

5.2 RECOMENDACIONES

A la empresa JHYOS MINERIA se le recomienda lo siguiente:

Realizar cartografiado geológico constantemente según avance entre bancos, para determinar el cambio y/o continuidad de diseño propuesto.

Crear el área de geotécnica para la evaluación constante de los frentes de minado.

Realizar evacuación de aguas superficiales y subterráneas que acumula el tajo de explotación.

Mantener el diseño de tajo propuesto hasta determinar cambios en los parámetros geotécnicos a favor de la estabilidad del talud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiken, E; Gunnett, W. 1990. Overburden removal. In: Surface Mining, 2nd Edition, (Ed: B A Kennedy) pp. 584-619, Baltimore: Maryland, USA.
- Alcántara, I. 2000. Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificación y terminología. Investigaciones geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM, número 41, 2000, págs. 7-25. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n41/n41a2.pdf>
- Bieniawski, T. 1976. Rock mass classifications in rock engineering. Exploration for Rock Engineering (ed. Z. T. Bieniawski), 1: 97–106. A. A. Balkema: Cape Town.
- Corona, R; Tritlla, J; Benavides, M; Piedad, N; Ferrusquía, I. 2006. Geología estructura y composición de los principales yacimientos de carbón mineral en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Revisión de algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México. Tomo LVIII, núm. 1, 2006, p. 141-160.
- Corrigan, M. 2011. Analysis of effect of carbon tax on operational costs of the Mount Thorley Warkworth truck fleet. BE Thesis. School of Mining Engineering, The University of New South Wales.
- Deere, D; Hendron, A; Patton, F; Cording, E. 1967. Diseño de superficies y superficies del entorno de excavación en roca. 8vo. Simposium de mecánica de rocas en procedimientos. Fracturamiento y reforzamiento en roca (ed. C Fairhurst), págs. 237 - 302. New York – Estados Unidos: AIME.
- DG. 2018. Manual de carreteras diseño geométrico de carreteras. Lima - Perú: Ministerio de transporte y comunicaciones.
- Escavy, J; Rivas, F; González, F; García, P. 1997. Explotaciones mineras. Madrid – España: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Fox, R. 2011. A Study on the effectiveness of mine design software for pit optimisation and scheduling at the Mt. Thorley Warkworth Coal Mine. BE Thesis. School of Mining Engineering, The University of New South Wales.

- Gavilanes, H; Andrade, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito – Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- GEMMA. 2007. Movimientos de masa en la región andina: Guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional N° 4. Canadá 432 p.
- Gianazza, R. 2010. Strip optimization at Curragh mine. BE Thesis. School of Mining Engineering, The University of New South Wales.
- González, De Vallejo. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid – España: PEARSON.
- Guzmán, C; Leones, H; Olmos, L. 2016. Caracterización geomecánica del macizo rocoso “Cerro Mocho”. Consultado 10 de abril 2025. Recuperado de: https://www.academia.edu/34619618/CARACTERIZACION_GEOMECAÑICA_DEL_MACIZO_ROCOSO
- Hays, M. 1990. Trucks, in Surface Mining (2nd Edition), (Ed: BA Kennedy) pp. 672-691, Baltimore: Maryland, USA.
- Herrera, J; Ortiz, F. 2006. Métodos de minería a cielo abierto. Madrid – España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hoek, E; Kaiser, P; Bawdwn, W. 1995 Support of Underground excavations in Hard Rock. Balkema, Rotterdam.
- Hoek, E; Marinos, P. 2000. GSI: Una confiable herramienta geológica para la estimación de la resistencia del macizo rocoso. Canadá.
- Hoyos, F. 2012. Manual de estabilidad de taludes. Medellin Colombia.
- Humphrey, J. 1984. The Fundamentals of the Dragline, 29 p (Marion Division-Dresser Ind. Inc: Marion).
- Lambe, W; Whitman, R. 1981. Mecánica de suelos. México: Limusa.
- Lisle, R; Lesión, P. 2002. Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingenieros civiles, 2da. edición.
- Lozano, F; Ochoa, J; Camacho, R. 2012. Geomecánica para el diseño minero a cielo abierto del yacimiento de carbón en Rondón Bocayá. L'esprit Ingénieur. Trunja – Colombia: V3 pp.46-60.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. 2019. Norma técnica: E.30 Diseño sismorresistente. Resolución ministerial N° 043-2019-vivienda. Lima - Perú: Ministerio de vivienda. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf

- Mitra, R; Saydam, S. 2012. Surface coal mining methods in Australia. The School of Mining Engineering. The University of New South Wales, Sydney. Australia. Recuperado
InTech-Surface_coal_mining_methods_in_australia.pdf
- Montes, E. 2019. Método de explotación del carbón para optimizar la producción en la concesión minera Acumulación Oyon 1 – Lima 2018 (Tesis de pregrado). Universidad nacional del Centro del Perú. Faculta de Ingeniería de Minas.
- Montoya, F. 2019. Estudio de IGAFOM preventivo no metálico del yacimiento de carbón. Cajamarca – Perú: DREM Cajamarca.
- Monge, P; Navarro, R. 2008. Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 14-f cuadrante-II. Lima - Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Recuperado de
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Monge, P; Navarro, R. 2008. Mapa geológico del cuadrángulo de Celendín, escala 1/50,000 hoja 14-g cuadrante-III. Lima - Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Recuperado de
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- NACAP. 2022. Extracción mina II: Apuntes carguío y transporte. Viña del Mar Valparaíso – Chile: Área minería y metalurgia.
- Niemeyer, R. 1999. Apuntes de geología estructural primera parte: estructuras frágiles. Antofagasta – Chile. Recuperado de:
https://www.ucursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/geologia_structural_-_hans_niemeyer.pdf
- Ochoa, G. 2012. Sistemas de explotación en yacimiento de carbón. Canberra – Australia: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Osinergmin. 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores mineras. Magdalena del mar, Lima - Perú: Edición: INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- Ramírez, O; De La Cuadra, I; Laín, H; Grijalbo, O. 2008. Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea. Instituto geológico y minero de España.
- Ramírez, D. 2018. Estudio de viabilidad de la mina de carbón a cielo abierto “La Margarita” en Titiribí, Colombia (Tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Departamento de ingeniería geología y minería.

- RC. 2003. Glosario técnico minero. Bogotá – Colombia. Ministerio de minas y energía.
- Ritchie, A. 1963. Evaluation of Rockfall and Its Control. Highway Research Record, N°. 17, pp. 13-28
- Sáez, E. 2010. Fundamentos de geotecnia – versión 2. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile
- Scott, B; Ranjith, G; Choi, K; Khandelwa, M. 2010. A review on existing opencast mining methods within Australia, In: Journal of Mining Science, 46(3): 280-297.
- Senamhi. 2024. Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación Magdalena. Recuperado de
<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>
- Suarez, D. 2009. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.
- Villalobos, F. 2016. Mecánica de suelos 2da Edición. Concepción – Chile: Editorial UCSC y OyP.
- Wescott, P. 2004. The Inaugural UNSW/ Mitsubishi Lecture: Dragline or Truck and Shovel? - Some technical and business considerations. Presented to the School of Mining Engineering, University of New South Wales, May 2004. <<http://www.mining.unsw.edu.au>>.
- Westcott, P; Pitkin, G; Aspinall, T. 2009. Open-cut mining. In: Australasian Coal Mining Practice, Chapter 18, Monograph 12, Third Edition, Eds. Kininmonth, R.J and Baafi, E.Y. pp. 410 – 458, AusIMM, Melbourne, Victoria, Australia.
- Wilheli, P. 1976. Mecánica de suelos I y II. Cajamarca Perú: Universidad Nacional Cajamarca.
- Wilson, J. 1984. Boletín N°31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Wyllie, D; Mah, C. 2004. Ingeniería civil y minería de taludes rocosos. Ingeniería de taludes rocosos. Reino Unido – Londres: Spon Press - Grupo Taylor & Francis.

ANEXOS

- A. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA**
- B. REGISTRO GEOMECÁNICO**
- C. PLANOS**

ANEXO A
AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

AUTORIZACIÓN DE INGRESO A MINA VIEJA

JHYOS MINERIA S.A.C.

RUC: 20611555068

Dirección fiscal: Jr. Manuel Ascencio 418, Lince, Lima

AUTORIZACIÓN DE INGRESO

Por la presente, **JHYOS MINERIA S.A.C.**, en su calidad de empresa responsable, autoriza el ingreso a las instalaciones de la **Unidad Minera MINA VIEJA**, ubicada en el Caserío Nuevo Triunfo, Centro Poblado Chanta Alta, Distrito de La Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca, a la siguiente persona:

- **Nombres y Apellidos:** Christian Jhulinio Zambrano Chilón
- **DNI / CE:** 77170194
- **Motivo de Ingreso:** Elaboración de Tesis
- **Fecha de ingreso autorizado:** marzo 2025
- **Zona(s) de acceso:** Tajo Mina Vieja

El personal autorizado se compromete a:

1. Cumplir estrictamente con las normas de **Seguridad y Salud Ocupacional** de la unidad minera.
2. Portar siempre los **EPP obligatorios** y el presente documento de autorización.
3. Respetar las disposiciones del personal de seguridad y supervisión de la mina.

Emitido por:

Nombre y cargo: Manuel Oscar Zambrano Chilón

Fecha aprobación: 20-02-2025

Firma:



JHYOS MINERIA SAC
Msc. Oscar Zambrano Chilón
Gerente General

ANEXO B
REGISTRO GEOMECÁNICO

Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico, EGM-01 carbón antracita.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROPOSER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO Poblado CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLORACIÓN EMPRESA JHYS MINERA S.A.C.												BENIAWSKY RMR (1989) Superficie							
CÓDIGO		EGM-01		TRAMO	1	DE	-		A	-		-		-										
RESPONSABLE		Christian Jhulinio Zambrano Chilon		HOJA N°	1	DE	-		-		-		-		-									
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Christian Jhulinio Zambrano Chilon												FECHA	6/06/2025						
DATA GPS				MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS		RELENTO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
DIS. Nro	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estraficada D=Dioclase		ND	39	DIRECCIÓN		1= >2 2= 2-0.6 3= 0.6-0.2 4= 0.2-0.06 5= <0.06	1= <1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5= >20	1=Nada 2=Rugosa 3=Lig. Rug. 4=Ondulad.-lis 5=Suave	1=Muy Rug. 2=Duro<5mm 3=Calcita 4=Óxidos 5=Roca Tritur. 6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsomita 10=Aragonito 11=Pirolusita	TIPO	DUREZA	1=Inalterada 2=Lig. Alt. 3=Humedo 4=Goteando 5=Descomp. 6=Flujo				
					4=Alt. Met. 5=Compl.	4=Fract-Intens 5=Compl.	mf=Microfalla SE=Sobrees. MB,B,M,P,MP C=Contacto	Prom. Golpes	λ	22.29	1 Golp.	γ _p	Z/R	DIP	DD									
1	776066.186	9237389.536	3727.000	Antracita	1	2	3	E					34.77	240	11	330	4	4	2	5	-	1	1	1
2	776066.186	9237389.536	3727.000	Manto sedimentario conformando espesores: 0.15 m. a 0.20 m. de color negro brillante y lustroso, de brillo submetálico, con alto poder calorífico, dureza 3 escala de Mohs.	1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	238	8	328	4	4	3	5	-	-	1	1	1	1	1
3	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	245	13	335	3	3	2	4	-	-	1	1	2	1	1
4	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	236	16	326	4	4	2	4	-	-	1	1	1	1	1
5	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	241	10	331	4	4	2	4	-	-	1	1	1	1	1
6	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	243	19	333	3	4	3	5	-	-	1	1	1	1	1
7	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	239	17	329	4	4	2	4	-	-	1	1	1	1	1
8	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	242	16	332	4	3	4	4	-	-	1	1	1	1	1
9	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	236	13	326	3	4	2	4	-	-	1	1	2	1	1
10	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	245	15	335	4	4	2	5	-	-	1	1	1	1	1
11	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	E	R3 (39 MPa)	34.77	244	18	334	3	3	4	4	-	-	1	1	1	1	1
12	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	25	56	115	3	1	2	5	-	-	1	1	1	1	1
13	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	29	58	119	3	1	4	5	-	-	1	1	1	1	1
14	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	31	50	-239	3	1	3	4	-	-	1	1	1	1	1
15	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	22	71	-248	3	1	2	5	-	-	1	1	1	1	1
16	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	20	62	-250	4	2	4	5	-	-	1	1	1	1	1
17	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	15	59	-255	3	1	2	5	-	-	1	1	2	1	1
18	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	24	43	-246	3	1	3	5	-	-	1	1	1	1	1
19	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	21	56	-249	3	1	2	4	-	-	1	1	1	1	1
20	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	26	58	-244	4	1	3	5	-	-	1	1	1	1	1
21	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	27	68	-243	3	2	2	5	-	-	1	1	1	1	1
22	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	18	62	-252	3	1	4	5	-	-	1	1	2	1	1
23	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	25	55	-245	4	1	3	5	-	-	1	1	1	1	1
24	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	19	53	-251	4	1	2	4	-	-	1	1	1	1	1
25	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	29	61	-241	3	1	3	5	-	-	1	1	1	1	1
26	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	31	44	-239	3	2	2	5	-	-	1	1	1	1	1
27	776066.186	9237389.536	3727.000		1	2	3	Disc-1	R3 (39 MPa)	34.77	22	46	-2											

Cuadro 5.2. Registro geológico-geotécnico, EGM-01 carbón bituminoso.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS		EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROPONER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO Poblado CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLORACIÓN EMPRESA JHOS MINERA S.A.C.											BENIAWSKY RMR (1989) Superficie								
				UBICACIÓN		TRAMO		2	DE	-		A		-		-									
CÓDIGO		EGM-02		HOJA N°		2	DE	-		-		-		-		-									
RESPONSABLE		Christian Jhulinio Zambrano Chilon		SISTEMA		WGS	84	ZONA 17S		EJECUTADO POR		Christian Jhulinio Zambrano Chilon		FECHA		6/06/2025									
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																									
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELENTO		ALTERAC. METOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN				
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Dioclase					DIRECCIÓN	1= >2 2= 2-0.6 3= 0.6-0.2 4= 0.2-0.06 5= <0.06	1=<1 2= 1-3 3= 0.1-1 4= 1-5 5= >20	1=Nada 2=Rugosa 3=Lig. Rug. 4=Ondulad.-lis 5=Suave	1=Muy Rug. 2=Qz 3=Calcita 4=Duro>5mm 5=Roca Tritur. 6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsonita 10=Aragonito 11=Pirolusita	1=Arcilloso 2=Mod. Alt. 3=Humedo 4=Goteando 5=Descomp.	1=Ninguna 2=Lig. Alt. 3=Lec. Húm. 4=Muy Alt. 5=Flujo	1=Inalterada 2=Lec. Real 3=Lec. Apar.	1=Seco 2=Lec. Húm. 3=Lec. Proy.				
1	776066.186	9237389.536	3727.000	Bituminoso Prsenta textura fisil o laminar de espesor: 2 mm. a 4 mm., constituyendo grosor: 0.20 m. a 0.30 m. de color opaco de baja resistencia: oci = 16 MPa a 21 MPa,	1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	240	15	330	4	1	1	4	-	-	1	1	1			
2	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	238	10	328	5	1	2	4	4	2	1	1				
3	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	239	8	329	4	1	1	5	-	-	2	1				
4	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	241	12	331	4	1	2	4	-	-	1	1				
5	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	237	16	327	5	1	2	4	-	-	1	1				
6	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	246	14	336	4	1	3	4	-	-	1	1				
7	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	238	11	328	5	1	2	5	4	2	2	1				
8	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	248	16	338	4	1	2	5	-	-	1	1				
9	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	240	15	330	4	1	3	4	-	-	1	1				
10	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	235	12	325	5	1	2	4	-	-	1	1				
11	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	237	17	327	4	1	4	4	4	2	1	1				
12	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	231	10	321	4	1	2	5	-	-	1	1				
13	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	E	R3 (35 MPa)	21.31	238	16	328	4	1	2	4	-	-	2	1				
14	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	75	19	165	3	1	2	4	-	-	1	1				
15	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	74	26	164	4	1	3	4	4	2	1	1				
16	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	70	23	160	3	1	2	5	-	-	1	1				
17	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	64	64	154	5	1	2	4	4	2	1	1				
18	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	69	72	159	3	1	4	4	-	-	1	1				
19	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	72	69	162	4	1	2	4	4	2	1	1				
20	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	58	58	148	4	1	2	5	-	-	2	1				
21	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	63	62	153	3	1	4	5	-	-	1	1				
22	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	60	71	150	5	1	2	4	-	-	1	1				
23	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	72	64	162	3	1	5	5	4	4	2	1				
24	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	75	68	165	3	1	2	4	4	4	1	1				
25	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-1	R3 (35 MPa)	21.31	69	55	159	3	1	2	4	-	-	1	1				
26	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-2	R3 (35 MPa)	21.31	302	45	32	4	1	1	4	4	4	1	1				
27	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-2	R3 (35 MPa)	21.31	316	43	46	5	1	2	4	4	4	2	1				
28	776066.186	9237389.536	3727.000		1	1	4	Disc-2	R3 (35 MPa)	21.31	322														

Cuadro 5.3. Registro geológico-geotécnico, EGM-01 toba piroclástica.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROponER MÉTODo DE EXPLOTACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO POBLADO CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLOTACIÓN EMPRESA JHOS MINERA S.A.C.											BENIAWSKY RMR (1989) Superficie					
CÓDIGO	EGM-03			TRAMO	1	DE	-			A	-			-							
RESPONSABLE	Christian Jhulinio Zambrano Chilon			HOJA N°	1	DE	-			-			-			-					
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Christian Jhulinio Zambrano Chilon											FECHA	6/06/2025				
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELENO		ALTERAC. METOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estraficada D=Dioclase	σ _{ci}	ND	50	DIRECCIÓN		1= >2 2= 2-0.6 3= 0.6-0.2 4= 0.2-0.06 5= <0.06	1= <1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5= >20	1= Nada 2= Rugosa 3= 0.1-1 4= 1-5 5= >5	1= Muy Rug. 2= Qz 3= Calcita 4= Ondulad.-lis 5= Suave	1= Arcilloso 2= Duro <5mm 3= Duro >5mm 4= Mod. Alt. 5= Suave >5mm	1= Ninguna 2= Lig. Alt. 3= Humedo 4= Goteando 5= Descomp.	1= Inalterada 2= Lig. Húm. 3= Humedo 4= Goteando 5= Flujo	1= Seco 2= Lec. Apar. 3= Lec. Proy.	
			1=Fresco 2=Lev. Met. 3=Mod	1=Alto 2=Mediano 3=Bajo	1=Bloc-Regul. 2=Bloc-Irrig. 3=Bloc-Capas	1=F.Directa 2=F.Directa 3=Microfalla															
			4=Alt. Met. 5=Compl.	4=Fract-Intens 5=Compl.	Agregar MB,B,M,P,MP	SE=Sobrees. C=Contacto															

Cuadro 5.4. Registro geológico-geotécnico, EGM-02 carbón antracita.

REGISTRO GEOLOGICO GEOTÉCNICO				TESIS		EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROPONER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA - CENTRO Poblado CHANTA ALTA - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA												BENIAWSKY RMR (1989)						
				UBICACIÓN		TRAMO		1	DE	-		A		-		-		-						
RESPONSABLE	Christian Jhulino Zambrano Chilon			HOJA N°		1	DE	-		-		-		-		-		-		-				
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR		Christian Jhulino Zambrano Chilon			FECHA		6/06/2025													
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																								
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		DIRECCIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELENTO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN			
ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estirada	σ _{ci}	ND	49	A	23.90	Z/R	DIP	DD	1= >2	1= <1	1= Nada	1= Muy Rug.	1= Arcilloso	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real
							D=Diáclasa																	
1	776030.838	9237428.906	3731.000	Antracita	1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		245	15	335	4	3	2	4	4	3	2	1	1	
2	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		236	12	326	3	3	1	5	-	1	1	1	1	
3	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		241	17	331	3	2	3	4	4	3	2	2	1	
4	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		239	10	329	4	3	2	4	-	1	1	1	1	
5	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		230	16	320	3	3	2	4	4	3	2	1	1	
6	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		244	14	334	4	3	1	4	-	1	1	1	1	
7	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		237	15	327	4	3	2	5	-	1	1	1	1	
8	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		241	13	331	4	2	2	4	-	1	1	1	1	
9	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		235	11	325	3	3	2	4	4	3	2	2	1	
10	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		242	18	332	4	2	1	4	4	3	2	1	1	
11	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	E	R3 (35 MPa)	31.06		249	16	339	4	3	3	5	-	1	1	1	1	
12	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		65	56	155	3	1	3	5	-	1	1	1	1	
13	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		58	58	148	3	1	2	5	-	1	1	1	1	
14	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		54	50	144	3	1	3	4	4	3	2	1	1	
15	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		60	71	150	4	1	3	5	4	3	2	1	1	
16	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		64	62	154	3	1	3	5	4	3	2	1	1	
17	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		69	59	159	3	1	3	5	-	1	1	2	1	
18	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		63	43	153	4	1	1	5	-	1	1	1	1	
19	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		62	56	152	3	1	2	5	-	1	1	1	1	
20	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		58	58	148	3	1	2	4	4	3	2	1	1	
21	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		53	68	143	4	1	3	4	-	1	1	1	1	
22	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		51	62	141	3	1	1	4	-	1	1	2	1	
23	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		67	55	157	3	1	2	4	-	1	1	1	1	
24	776030.838	9237428.906	3731.000		1	2	3	Disc-1	R3 (35 MPa)	31.06		57	53	147	4	1								

Cuadro 5.5. Registro geológico-geotécnico, EGM-02 carbón bituminoso.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN		EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROPOSER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO Poblado CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLORACIÓN EMPRESA JHYS MINERA S.A.C.										BENIAWSKY RMR (1989) Superficie							
CÓDIGO		EGM-02		TRAMO		2	DE	-		A		-		-		-							
RESPONSABLE		Christian Jhulinio Zambrano Chilon		HOJA N°		2	DE	-		-		-		-		-							
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR		Christian Jhulinio Zambrano Chilon		FECHA		6/06/2025													
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS		ALTERAC. METOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA	FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.												GSI	E=Estratificada D=Diaclasa			
1	776030.838	9237428.906	3731.000	Bituminoso	1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	237	19	327	5	1	2	4	-	-	-	1	1	
2	776030.838	9237428.906	3731.000	Prsenta textura fisil o laminar de espesor: 2 mm. a 4 mm., constituyendo grosor: 0.20 m. a 0.30 m. de color opaco de baja resistencia: ocl = 16 MPa a 21 MPa,	1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	239	21	329	4	1	3	4	4	3	2	2	1	
3	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	241	15	331	5	1	2	5	-	-	-	2	1	
4	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	236	12	326	5	1	2	4	-	-	-	2	1	
5	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	248	11	338	4	1	3	4	4	3	2	2	1	
6	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	241	18	331	5	1	2	4	4	3	2	2	1	
7	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	239	21	329	4	1	3	5	-	-	-	1	1	
8	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	246	13	336	5	1	2	5	-	-	-	1	1	
9	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	238	17	328	5	1	4	4	4	3	2	1	1	
10	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	247	19	337	4	1	2	4	-	-	-	1	1	
11	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	239	20	329	4	1	4	4	-	-	-	1	1	
12	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	246	16	336	4	1	3	5	-	-	-	1	1	
13	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	E	R2 (16 MPa)	17.43	242	11	332	5	1	2	4	4	3	2	1	1	
14	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	137	61	227	4	1	1	4	-	-	-	1	1	
15	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	128	52	218	4	1	2	4	-	4	2	2	1	
16	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	132	63	222	5	1	1	5	-	-	-	1	1	
17	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	145	54	235	4	1	1	4	-	-	-	1	1	
18	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	139	50	229	4	1	2	4	4	3	2	1	1	
19	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	137	63	227	5	1	1	4	4	3	2	2	1	
20	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	129	67	219	4	1	1	5	-	-	-	1	1	
21	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	137	48	227	5	1	2	5	-	-	-	1	1	
22	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	129	59	219	5	1	2	4	-	-	-	2	1	
23	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	133	63	223	5	1	1	5	-	-	-	2	1	
24	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	130	57	220	4	1	1	4	-	-	-	2	1	
25	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-1	R2 (16 MPa)	17.43	137	53	227	5	1	2	4	4	3	2	2	1	
26	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-2	R2 (16 MPa)	17.43	89	82	179	5	1	3	4	-	-	-	2	1	
27	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-2	R2 (16 MPa)	17.43	75	79	165	5	1	2	4	-	-	-	2	1	
28	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-2	R2 (16 MPa)	17.43	79	81	169	5	1	2	4	4	3	2	2	1	
29	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-2	R2 (16 MPa)	17.43	83	76	173	4	1	4	5	-	-	-	1	1	
30	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-2	R2 (16 MPa)	17.43	67	80	157	4	1	1	4	-	-	-	1	1	
31	776030.838	9237428.906	3731.000		1	1	4	Disc-2	R2 (16 MPa)	17.43	64	69	154										

Cuadro 5.6. Registro geológico-geotécnico, EGM-02 toba piroclástica.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROponER MÉTODo DE EXPLOTACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO Poblado CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLOTACIÓN EMPRESA JHOS MINERA S.A.C.											BENIAWSKY RMR (1989) Superficie						
CÓDIGO	EGM-03			TRAMO	1	DE	-			A	-			-								
RESPONSABLE	Christian Jhulinio Zambrano Chilon			HOJA N°	1	DE	-			-			-			-						
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Christian Jhulinio Zambrano Chilon			FECHA	6/06/2025													
DIS. Nro	DATA GPS		MACIZO ROCOSO			TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELENTO		ALTERAC. METOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN		
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estrefizada D=Diaclasa	σ _{ci}	ND	40	DIRECCIÓN		1= >2 2= 2-0.6 3= 0.6-0.2 4= 0.2-0.06 5= <0.06	1= <1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5= >20	1=Nada 2=Rugosa 3=Lig. Rug. 4=Ondulad.-lis. 5=Suave	1=Muy Rug. 2=Qz 3=Duro>5mm 4=Óxidos 5=Roca Tritur.	1=Arcilloso 2=Mod. Alt. 3=Humedo 4=Goteando 5=Descomp. 6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsonita 10=Aragonito 11=Pirolusita	1=Ninguna 2=Lig. Alt. 3=Humedo 4=Muy Alt. 5=Suave>5mm 6=Inalterada 7=Lig. Húm. 8=Lec. Apar. 9=Lec. Proy.	1=Seco 2=Lig. Húm. 3=Lec. Apar. 4=Goteando 5=Flujo		
1	776030.838	9237428.906	3731.000	Toba piroclástica	2	3	2	E	R3 (38 MPa)	37.83	50	25	140	2	1	1	-	-	1	1	1	
2	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	51	28	141	3	2	2	4	1	5	2	1	1
3	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3	2	E		37.83	48	21	138	2	1	1	-	-	1	2	1	1
4	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	46	26	136	2	2	3	5	4	3	1	1	1
5	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	53	20	143	2	1	2	4	1	5	1	3	1
6	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	50	22	140	3	2	1	-	-	1	1	1	1
7	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3	2	E		37.83	47	19	137	3	2	1	-	-	2	1	1	1
8	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	46	23	136	3	1	3	4	1	5	1	1	1
9	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	42	19	132	2	2	1	5	4	3	1	2	1
10	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	41	24	131	2	2	2	4	4	3	1	1	1
11	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3	2	E		37.83	55	31	145	2	2	3	4	1	5	2	3	1
12	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	54	29	144	3	2	1	-	-	2	1	1	1
13	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	46	21	136	3	1	1	-	-	2	1	1	1
14	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	52	26	142	2	1	3	5	4	3	1	2	1
15	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	49	31	139	3	1	2	4	4	3	2	1	1
16	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3	2	E		37.83	45	30	135	2	2	1	-	-	1	1	1	1
17	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	E		37.83	41	27	131	2	1	2	5	4	3	1	1	1
18	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3	2	Disc-1		37.83	154	86	244	3	1	2	4	1	5	2	2	1
19	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	146	75	236	4	1	3	4	1	5	2	2	1
20	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	142	71	232	3	1	2	4	1	5	1	1	1
21	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	139	69	229	4	2	2	5	1	5	1	1	1
22	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	129	81	219	3	1	2	4	1	5	1	1	1
23	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	146	72	236	3	2	3	5	1	5	1	1	1
24	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	140	80	230	4	1	2	5	4	3	1	2	1
25	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	147	62	237	4	2	3	4	4	3	1	1	1
26	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3	2	Disc-1		37.83	152	73	242	3	1	3	5	4	3	1	1	1
27	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	167	69	257	3	1	2	5	4	3	1	3	1
28	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	163	61	253	3	1	2	5	1	5	2	1	1
29	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	149	73	239	4	2	3	4	4	3	2	1	1
30	776030.838	9237428.906	3731.000		2	3	2	Disc-1		37.83	128	72	218	3	1	3	4	1	5	1	2	1
31	776030.838	9237428.906	3731.000		3	3																

Cuadro 5.7. Registro geológico-geotécnico, EGM-03 carbón antracita.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROPONER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO Poblado CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLORACIÓN EMPRESA JHOS MINERA S.A.C.												BENIAWSKY RMR (1989) Superficie							
CÓDIGO	EGM-01			TRAMO	1	DE	-		A	-		-		-										
RESPONSABLE	Christian Jhulinio Zambrano Chilon			HOJA N°	1	DE	-		-		-		-		-									
SISTEMA	WGS	84	ZONA 175	EJECUTADO POR	Christian Jhulinio Zambrano Chilon												FECHA	6/06/2025						
DIS. Nro	DATA GPS	MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN		
						E=Estraficada		D=Dioclasa		σ_c		DIRECCIÓN		1=>2	1=<1	1=Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real		
						1=Fresco		1=Alto				2= 2-0.6		2= 1-3	2=<0.1	2=Rugosa	2=Qz	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Lig. Húm.	2=Lec. Apar.			
						2=Lev. Met.		2=Mediano				3= 0.6-0.2		3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt.	3=Humedo	3=Lec. Proy.			
						3=Mod		3=Bajo				4= 0.2-0.06		4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad.-lis	4=Óxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteando				
						4=Alt. Met.		5=Compl.				5=<0.06		5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo				
						4=Fract-Intens		mf=Microfalla				6=Bx												
						Agregar		SE=Sobrees.				7=Panizo												
						MB,B,M,P,MP		C=Contacto				8=Veta												
												9=Epsomita												
												10=Aragonito												
												11=Pirolusita												
1	775988.716	9237461.080	3737.000	Antracita	1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	241	19	331	3	3	1	5	4	3	1	1	1		
2	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	238	21	328	3	3	2	4	-	-	-	2	1		
3	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	236	15	326	3	2	1	5	4	3	1	2	1		
4	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	248	16	338	3	3	2	5	4	3	1	1	1		
5	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	230	21	320	4	3	2	5	4	3	2	2	1		
6	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	237	13	327	4	3	1	4	4	3	1	2	1		
7	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	235	17	325	4	3	2	4	4	3	2	1	1		
8	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	234	15	324	3	2	2	4	-	-	-	1	1		
9	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	233	18	323	3	3	1	4	-	-	-	2	1		
10	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	229	15	319	4	3	1	5	-	-	-	2	1		
11	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	E	R3 (32 MPa)	28.73	237	14	327	3	2	2	5	-	-	-	2	1		
12	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	115	65	205	3	1	2	5	4	3	1	1	1		
13	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	110	54	200	3	1	3	5	4	3	1	1	1		
14	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	121	62	211	4	1	2	5	-	-	-	1	1		
15	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	116	51	206	4	1	3	4	-	-	-	1	1		
16	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	119	8	209	3	1	3	5	4	3	1	2	1		
17	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	126	53	216	4	1	2	5	4	3	1	2	1		
18	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	128	50	218	5	1	1	5	-	-	-	2	1		
19	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	111	54	201	3	1	2	5	-	-	-	1	1		
20	775988.716	9237461.080	3737.000		1	2	3	Disc-1	R3 (32 MPa)	28.73	130	62	220	3	1	3	5	-	-	-	2	1		
21	775988.716	9237461.080	3737.000</																					

Cuadro 5.8. Registro geológico-geotécnico, EGM-03 carbón bituminoso.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROponER MÉTODo DE EXPLOTACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO POBLADO CHANTA ALTA – LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLOTACIÓN EMPRESA JHYOS MINERA S.A.C.												BENIAWSKY RMR (1989) Superficie																			
CÓDIGO		EGM-02		TRAMO	2	DE	-		A	-		-		-																						
RESPONSABLE		Christian Jhulio Zambrano Chilon		HOJA N°	2	DE	-		-		-		-		-																					
SISTEMA		WGS	84	ZONA 175	EJECUTADO POR		Christian Jhulio Zambrano Chilon												FECHA	6/06/2025																
DIS. Nro		DATA GPS		MACIZO ROCOSO			TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN														
ESTE (m.)		NORTE (msnm.)		COTA (msnm.)		LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Dioclase	σ _{ci}	ND		43		DIRECCIÓN		1= >2 2= 0.6 3= 0.6-0.2 4= 0.2-0.06 5= <0.06	1= <1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5= >20	1=Nada 2=Rugosa 3=Lig. Rug. 4=Ondulad.-lis. 5=Suave	1=Muy Rug. 2=Qz 3=Calcita 4=Óxidos 5=Roca Tritur.	1=Arcilloso 2=Qz 3=Duro<5mm 4=Mod. Alt. 5=Descomp.	1=Ninguna 2=Duro>5mm 3=Humedo 4=Muy Alt. 5=Suave>5mm	1=Inalterada 2=Lig. Alt. 3=Humedo 4=Goteando 5=Flujo	1=Seco 2=Lig. Húm. 3=Lec. Proy.	1=Lec. Real 2=Lec. Apar. 3=Lec. Proy.										
ESTE (m.)		NORTE (msnm.)		COTA (msnm.)		LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	4=Fract-Intens 5=Compl. Aregar SE=Sobres. MB,B,M,P,MP C=Contacto		L		1.55		Prom. Golpes		λ		27.74		1 Golp.		γ _p		Z/R		DIP		DD		6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsonita 10=Aragonito 11=Pirolusita				
1	775988.716	9237461.080	3737.000	Bituminoso	1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	230	22	320	5	1	2	4	4	4	3	1	1	1													
2	775988.716	9237461.080	3737.000	Prsenta textura fisil o laminar de espesor: 2 mm, a 4 mm., constituyendo grosor: 0.20 m. a 0.30 m. de color opaco de baja resistencia: oci = 16 MPa a 21 MPa,	1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	238	20	328	4	1	3	5	4	3	2	1	1	1													
3	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	240	18	330	5	1	2	4	4	3	1	1	1														
4	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	234	19	324	4	1	2	4	4	3	1	1	1														
5	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	231	24	321	5	1	3	4	4	3	2	1	1														
6	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	239	23	329	4	1	2	5	4	3	2	1	1														
7	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	221	15	311	5	1	2	5	4	3	1	2	1														
8	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	240	24	330	5	1	2	5	4	3	1	2	1														
9	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	237	16	327	5	1	3	5	4	3	2	1	1														
10	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	234	24	324	4	1	3	4	4	3	2	2	1														
11	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	237	27	327	4	1	3	4	4	3	2	1	1														
12	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	231	23	321	5	1	2	5	4	3	2	1	1														
13	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	E	R2 (21 MPa)	23.55	246	17	336	5	1	2	5	4	3	1	2	1														
14	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	175	48	265	4	1	2	5	4	3	2	1	1														
15	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	170	52	260	5	1	3	4	4	3	2	1	1														
16	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	165	49	255	5	1	2	4	4	3	1	1	1														
17	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	179	53	269	4	1	2	4	4	3	2	2	1														
18	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	162	51	252	4	1	3	4	4	3	2	2	1														
19	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	164	47	254	5	1	2	5	4	3	1	1	1														
20	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	160	58	250	5	1	3	4	4	3	1	1	1														
21	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	172	40	262	4	1	3	4	4	3	1	1	1														
22	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	157	46	247	4	1	2	5	4	3	1	1	1														
23	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	153	51	243	5	1	2	5	4	3	1	1	1														
24	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	168	42	258	5	1	4	5	4	3	1	2	1														
25	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-1	R2 (21 MPa)	23.55	174	50	264	4	1	2	5	4	3	2	2	1														
26	775988.716	9237461.080	3737.000		1	1	4	Disc-2	R2 (21 MPa)	23.55	15	74	105	5</																						

Cuadro 5.9. Registro geológico-geotécnico, EGM-03 toba piroclástica.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS UBICACIÓN		EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y PARA PROPONER MÉTODO DE EXPLORACIÓN DE LA MINA VIEJA – CENTRO Poblado CHANTA ALTA - LA ENCAÑADA – CAJAMARCA TAJO DE EXPLORACIÓN EMPRESA JHOS MINERA S.A.C.										BENIAWSKY RMR (1989) Superficie									
CÓDIGO	EGM-03			TRAMO		1	DE	-		A		-		-											
RESPONSABLE	Christian Jhulinio Zambrano Chilon			HOJA N°		1	DE	-		-		-		-											
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR			Christian Jhulinio Zambrano Chilon			FECHA		6/06/2025													
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																									
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELENTO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN				
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Dioclase	σ _{ci}	ND	41	DIRECCIÓN		1=>2 2=2-0.6 3=0.6-0.2 4=0.2-0.06 5=<0.06	1=<1 2=1-3 3= 0.1-1 4= 10-20 5=>20	1=Nada 2=Rugosa 3=Lig. Rug. 4=Ondulad.-lis. 5=Suave	1=Muy Rug. 2=Qz 3=Calcita 4=Óxidos 5=Roca Tritur.	1=Arcilloso 2=Qz 3=Duro>5mm 4=Mod. Alt. 5=Suave<5mm 6=Suave>5mm 7=Panizo 8=Veta 9=Epsomita 10=Aragonito 11=Pirolusita	TIPO		DUREZA				
								4=Alt. Met. 5=Compl. Aregar MB,B,M,P,MP C=Contacto		A	17.83	Prom. Golpes	Y _p	Z/R	DIP	DD			6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsomita 10=Aragonito 11=Pirolusita						
1	775988.716	9237461.080	3737.000	Toba piroclástica	2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	61	31	151	2	1	2	5	4	3	1	2	1			
2	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	54	35	144	3	2	3	5	4	3	1	2	1			
3	775988.716	9237461.080	3737.000		3	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	62	30	152	2	1	1	4	-	-	-	2	1			
4	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	50	28	140	2	1	2	5	4	3	1	1	1			
5	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	63	24	153	3	2	2	4	4	3	1	1	1			
6	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	52	31	142	2	2	1	5	-	-	-	1	1			
7	775988.716	9237461.080	3737.000		3	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	48	38	138	3	1	3	4	4	3	1	1	1			
8	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	50	30	140	3	1	2	4	4	3	1	1	1			
9	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	47	40	137	2	2	2	5	4	3	1	1	1			
10	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	43	29	133	3	2	1	4	-	-	-	2	1			
11	775988.716	9237461.080	3737.000		3	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	54	34	144	3	1	2	4	4	3	1	2	1			
12	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	52	42	142	3	2	3	4	4	3	1	2	1			
13	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	40	37	130	2	2	2	4	4	3	1	1	1			
14	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	59	29	149	2	1	3	5	4	3	1	2	1			
15	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	45	25	135	2	2	1	5	-	-	-	1	1			
16	775988.716	9237461.080	3737.000		3	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	47	36	137	2	2	2	5	4	3	1	1	1			
17	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	E	R3 (43 MPa)	46.08	52	28	142	2	2	3	5	4	3	1	1	1			
18	775988.716	9237461.080	3737.000		3	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	190	54	280	3	2	2	5	4	3	1	2	1			
19	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	182	56	272	4	1	1	4	-	-	-	2	1			
20	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	195	48	285	3	2	2	5	4	3	1	1	1			
21	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	183	52	273	4	1	2	5	4	3	1	2	1			
22	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	210	42	300	3	1	1	5	-	-	-	1	1			
23	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	197	59	287	4	2	2	5	4	3	1	1	1			
24	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	206	40	296	3	2	3	5	4	3	1	1	1			
25	775988.716	9237461.080	3737.000		2	3	2	Disc-1	R3 (43 MPa)	46.08	197	48	287	4	2	2	5	4	3	1	2	1			
26	775988.716	9237461.080	3737.000		3	3																			

ANEXO C

PLANOS

