

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS
BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L.
- DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO CAJAMARCA**

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. Ortiz Barboza Juan Eugenio

Asesor:

M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** ORTIZ BARBOZA, JUAN EUGENIO
DNI: 71069364
Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA
Fecha de evaluación: 25/11/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 17%
- Código Documento:** Oide:3117:409468313
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 27/11/2024

		<p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 27/11/2024 15:29:12-0500</p>
<p>FIRMA DEL ASESOR Roberto Severino Gonzales Yana</p>	<p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>	



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA"

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

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0008-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 03 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diecisiete días del mes de enero de 2025**, 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.

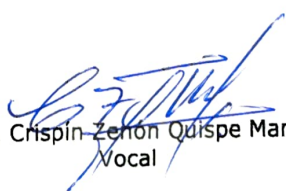
Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA" presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas JUAN EUGENIO ORTIZ BARBOZA, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

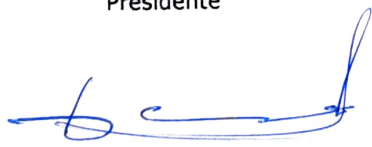
Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

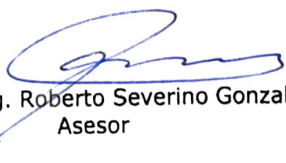
EVALUACIÓN PRIVADA :³..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :¹¹..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :¹⁴..... PTS. *CATORCE* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *CATORCE* 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.


Dr. Ing. 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



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



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería de Minas: JUAN EUGENIO ORTIZ BARBOZA.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	2
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

Cajamarca, 17 de enero de 2025

Dr. Ing. 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



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



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería de Minas: JUAN EUGENIO ORTIZ BARBOZA.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	3
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	14
EN LETRAS (A + B)	CATORCE
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 17 de enero de 2025

Dr. Ing. 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

DEDICATORIA

Mi tesis dedico a mis padres Luis Ortiz Mejía, Felicita Barboza Gil, a mis hermanos Walter, Norvil, Doris, Luis, Sadith, José y Jhimmy, por haberme apoyado constantemente en cada etapa de mi vida hasta llegar a esta instancia de ser Ingeniero de Minas y por apoyarme siempre en cada momento fundamentada en logros, caídas y anhelos, dando el fortalecimiento a seguir luchando; siendo también los pilares importantes de mi vida. gracias por todo equipo familiar.

AGRADECIMIENTO

Mi más grado agradecimiento a Dios por brindarme: Sabiduría, orientación y entendimiento a realizar bien las cosas, agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca por abrirme las puertas del conocimiento intelectual, de igual manera a la Facultad de Ingeniería – Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por compartir aprendizaje teórico y práctico de la vida universitaria, a mis padres Luis Ortiz Mejía, Felicita Barboza Gil, mis hermanos Walter, Norvil, Doris, Luis, Sadith, José y Jhimmy.

También agradezco al M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino, por apoyarme a ser mi asesor y dedicar tiempo a reformular mejor mi tesis y conocimiento en la ingeniería de minas.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE PLANOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1.1 Internacionales	3
2.1.2 Nacionales.....	4
2.1.3 Local	4
2.2 BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1 Macizo Rocoso	5
2.2.2 Propiedades Físicas de las Rocas	5
2.2.3 Criterio de Resistencia en Macizos Rocosos.....	6
2.2.4 Clasificaciones geomecánicas.....	11
2.2.5 Rupturas en rocas	14
2.2.6 Diseño de explotación de canteras.....	18
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	19

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN	22
3.2	ACCESIBILIDAD	23
3.3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
3.3.1	Tipo, nivel, diseño y método de investigación	23
3.3.2	Población	24
3.3.3	Muestra.....	24
3.3.4	Unidades de análisis	24
3.3.5	Etapas de recolección de información	24
3.3.6	Equipos, materiales y softwares	26
3.4	HIDROLOGÍA.....	26
3.5	GEOLOGÍA LOCAL.....	31
3.5.1	Cretáceo Superior	32
3.5.2	Cuaternario – Holoceno	34
3.6	UNIDADES MORFOGENÉTICAS.....	36
3.7	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	38
3.8	ANÁLISIS GEOMECÁNICO Y DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA..	38
3.8.1	Estación Geomecánica EG-01	39
3.8.2	Estación Geomecánica EG-02	45
3.8.3	Estación Geomecánica EG-03	51
3.9	DISEÑO DE EXPLOTACIÓN	57
3.9.1	Diseño de explotación actual en la zona de estudio	57
3.9.2	Propuesta de diseño de explotación en la zona de estudio	58

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO, GEOMECÁNICO Y GEOESTRUCTURAL.....	64
4.2	ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LAS RUPTURAS EN ROCAS	68

		Pág.
4.3	FACTOR DE SEGURIDAD	70
4.4	DISEÑO DE TAJO EXPLOTACIÓN	72
4.5	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	75

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	76
5.2	RECOMENDACIONES	77

	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
--	----------------------------------	----

	ANEXOS	82
	ANEXO A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	82
	ANEXO B: REGISTRO GEOMECANICO	82
	ANEXO C: PLANOS	82
	ANEXO D: SECCION DE CORTE DE CANTERA	82

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
AIME	:	Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.
UNACEM	:	Unión andina de cementos.
TNT	:	Trinitrotolueno.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
MDP	:	Modelo digital de pendientes.
σ_{ci}	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_{3m\acute{a}x}$:	Tensión de confinamiento.
σ'_t	:	Resistencia a la tracción.
σ'_{ct}	:	Resistencia global.
σ_1	:	Esfuerzo principal mayor.
σ_3	:	Esfuerzo principal menor.
T	:	Esfuerzo de corte.
σ_n	:	Esfuerzo normal.
σ'_{cm}	:	Resistencia del Macizo Rocoso.
c	:	Cohesión.
φ	:	Ángulo de fricción.
E_i	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
E_m	:	Módulo de deformación.
D	:	Factor de disturbancia.
RQD	:	Índice de calidad de roca.
RMR	:	Valoración de la masa rocosa.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
H	:	Altura de talud
T	:	Tensiones totales.
Dh	:	Dimensión horizontal.
$1\alpha b$:	Ángulo de talud.
α_r	:	Ángulo interrampa.
α_0	:	Ángulo global.
hr	:	Altura de interrampa.
h0	:	Altura global.
D-1	:	Número de junta.
E	:	Estrato.
Bz.	:	Buzamiento.
FS	:	Factor de seguridad.
EG-01	:	Estación geomecánica
GPa	:	Giga pascales
EG-1,...	:	Estación geomecánica.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD). Fuente: Ramírez, 2004.	6
Cuadro 2.2. Valoración de la constante mi para tipo de roca. Fuente: González de Vallejo, 1967.	8
Cuadro 2.3. Índice de calidad de la roca (RQD). Fuente: Deere et al., 1967.	12
Cuadro 2.4. Calidad de macizos rocosos con relación al índice RMR ₈₉ . Fuente: González, 2002.	12
Cuadro 2.5. Índice geológico de resistencia (GSI). Fuente: Hoek, Carranza y Corkum, 2002.	13
Cuadro 3.1. Cronograma de ruta acceso detallando las Condiciones del recorrido a la zona de investigación.	23
Cuadro 3.2. Altitud media de la microcuenca – Precipitación máxima 24 horas.	28
Cuadro 3.3. Unidades morfogénicas del área de explotación de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.	37
Cuadro 3.4. Eventos de litológicos relacionados con las unidades morfogénicas.	37
Cuadro 3.5. Cuadro resumen de los parámetros de diseño	63
Cuadro 4.1. Criterios empíricos y constantes elásticas, representadas por cada estación geomecánica.	66
Cuadro 4.2. Probabilidad de ruptura - software Dips, representadas por las estaciones geomecánicas	69
Cuadro 4.3. Análisis cinemático por software: Dips, RocPlane y Swedge.	72
Cuadro 5.1. Registro geológico- geotécnico, estación geomecánica EG-01.	84
Cuadro 5.2. Registro geológico- geotécnico, estación geomecánica EG-02.	85
Cuadro 5.3. Registro geológico- geotécnico, estación geomecánica EG-03.	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Envoltentes de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangente Fuente: González de Vallejo, (2004).	9
Figura 2.2. Envoltentes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b) Fuente: González de Vallejo, (2004).	10
Figura 2.3. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente Mohr-Coulomb. Fuente: Hoek, Carranza, y Corkum, 2002.	11
Figura 2.4. Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas	14
Figura 2.5. Relación para el cálculo de σ_3^{max} para los parámetros equivalentes de Mohr- Coulomb y Hoek-Brown para taludes. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.	15
Figura 2.6. Condiciones geométricas de rotura por cuña: (a) vista representativa de rotura por cuña, (b) diagrama estereográfico que muestra la orientación de la línea de intersección y la orientación del buzamiento de la línea de intersección Ψ_i donde es posible la rotura; (c) vista de perfil del talud observándose la línea de intersección; (d) la proyección estereográfica muestra la orientación de buzamiento de la línea de intersección α_i donde la falla de cuña es inestable. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.	16
Figura 2.7. Condiciones de cinemática de ruptura por vuelco: (a) reconocimiento de altura/ancho de bloque para el vuelco; (b) direcciones de las tensiones y dirección de deslizamiento de talud rocoso; (c) condición para deslizamiento entre capas; (d) prueba cinemática definida en la proyección estereográfica del hemisferio inferior. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.	17
Figura 2.8. Condiciones de bloques definitivo. Fuente: Herrera, 2006.	19

	Pág.
Figura 3.1. Ingreso al caserío Congona desde el cruce del centro poblado Apan Bajo. Operaciones mineras de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L. Fuente: Google Earth, 2023.	22
Figura 3.2. Vista del río Arascorgue, ubicado a 700 m. de distancia de operaciones mineras delimitado por unidades geomorfogenéticas muy erosionables el flanco derecho del río.	27
Figura 3.3. Diagrama estadístico meteorológico de la precipitación, desde año: 2013 a 2022. Fuente: SENAMHI, 2023.	29
Figura 3.4. Histograma estadístico de la variación anual en relación a precipitación. Fuente: SENAMHI, 2013-2022.	30
Figura 3.5. Tajo de explotación del frente del tajo Este, conformado por bancos de secuencias estratigráficas de roca caliza.	32
Figura 3.6. A. Frente de explotación conformado de paquetes calcáreos de espesor: 0.50 m. a 0.65 m. B. Estilolitos formados entre secuencia de estratos de caliza, formando irregulares de simetría ondulada en su superficie.	33
Figura 3.7. A. Frente del tajo Oeste conformado de paquetes calcáreos componentes. B. Ahuellamiento de fósil de Bivalvo emplazado en la roca calcárea.	34
Figura 3.8. Depósito Antrópico, compuesto por fragmentación: Gruesa a fina, obtenida del área de explotación y beneficio, acumulando 4 m ³ /semana en la desmontera, no presentando parámetros geotécnicos de compactación y depositación.	36
Figura 3.9. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geomecánica EG-01.	40
Figura 3.10. Probabilidad de ruptura planar 4.44%, englobando al polo de las familias: D-1; a favor del talud. Estación geomecánica EG-01.	41

	Pág.
Figura 3.11. Probabilidad de ruptura en cuña con 5.57%, englobando a la intersección de las familias: E y D-2; en orientación indirecta. Estación geomecánica EG-01.	42
Figura 3.12. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 31.11%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geomecánica EG-01	43
Figura 3.13. A. Block diagrama 3D - ruptura planar (D-1) y simetría del talud, con vectores de desplazamiento. B. Dimensionamiento en 2D por ruptura planar en tensiones efectivas + sismicidad, saturado: V y U; con FS = 3.733. Estación geomecánica EG-01.	44
Figura 3.14. A. Vista frontal del block diagrama 3D - ruptura por cuña (E y D-2) y simetría del talud. B. Vista perfil del dimensionamiento de la ruptura por cuña en tensiones efectivas + sismicidad; con FS = 1.30. Estación geomecánica EG-01.	45
Figura 3.15. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geomecánica EG-02.	46
Figura 3.16. Probabilidad de ruptura planar 2.22%, englobando al polo de las familias: D-1; a favor del talud. Estación geomecánica EG-02.	47
Figura 3.17. Probabilidad de ruptura en cuña con 4.14%, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. Estación geomecánica EG-02.	48
Figura 3.18. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 40.00%, englobando al polo de la familia: D-1 y D-2; a favor del talud. Estación geomecánica EG-02	49
Figura 3.19. A. Block diagrama 3D - ruptura planar (D-1) y simetría del talud, con vectores de desplazamiento. B. Dimensionamiento en 2D por ruptura planar en tensiones efectivas + sismicidad, saturado U; con FS = 1.874. Estación geomecánica EG-02.	50

	Pág.
Figura 3.20. A. Vista frontal del block diagrama 3D – ruptura por cuña (D-1 y D-2) y simetría del talud. B. Vista perfil del dimensionamiento de la ruptura por cuña en tensiones efectivas + sismicidad; con FS = 2.135. Estación geomecánica EG-02.	51
Figura 3.21. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geomecánica EG-03.	52
Figura 3.22. Probabilidad de ruptura planar 22.22%, englobando al polo de las familias: D-1; a favor del talud. Estación geomecánica EG-03.	53
Figura 3.23. Probabilidad de ruptura en cuña con 21.31%, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. Estación geomecánica EG-03.	54
Figura 3.24. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 37.78%, englobando al polo de la familia: D-1; a favor del talud. Estación geomecánica EG-03	55
Figura 3.25. A. Block diagrama 3D - ruptura planar (D-1) y Simetría del talud, con vectores de desplazamiento. B. Dimensionamiento en 2D por ruptura planar en tensiones efectivas + sismicidad, saturado U; con FS = 1.653. Estación geomecánica EG-03.	56
Figura 3.26. A. Vista frontal del block diagrama 3D – ruptura por cuña (D-1 y D-2) y simetría del talud. B. Vista perfil del dimensionamiento de la ruptura por cuña en tensiones efectivas + sismicidad; con FS = 3.197. Estación geomecánica EG-03.	57
Figura 3.27. Diseño de explotación actual en la zona de estudio	58
Figura 3.28. Angulo del banco de Multiservicios Pirámide de Oro SRL	62
Figura 4.1. Proyección estereográfica de Wuff, mediante la concentración de densidades máximas 33.75% de 131 información procesada.	67

	Pág.
Figura 4.2. Variograma de la profundidad de la grieta de tracción, EG-01	70
Figura 4.3. Variograma de la longitud del plano de ruptura, EG-02.	71
Figura 4.4. Variograma de la profundidad de la grieta de tracción, EG-03.	72
Figura 4.5. Diseño de tajo de explotación de la cantera – empresa minera Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.	74

LISTA DE PLANOS

	Pág.
Anexo A : Autorización de la empresa.	83
Anexo B : Registros geomecánicas.	84
Anexo C : Planos.	87
Anexo D : Sección de corte de cantera.	94

RESUMEN

Las operaciones mineras no metálicas de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., se ubica al N de la ciudad de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Bambamarca, Centro Poblado de Apan Bajo, dicha empresa tiene un tajo de 11 metros cuyo problema es el desprendimiento de rocas, debido a que el estrato está a favor del buzamiento del talud generando rupturas; teniendo como objetivo general: Evaluación geomecánica para mejorar el diseño de los bancos de explotación de Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., por lo que, la presente investigación desarrolla una metodología de tipo: descriptivo, nivel: no experimental, método deductivo. El procedimiento comprende: mapeo geomecánico, levantamiento topográfico y aplicación de softwares para estimación de rupturas, factor de seguridad y diseño de bancos ,obteniendo como resultados afloramientos rocosos de buena calidad con valoraciones: RQD (EG-1 = 84.42, EG-2 = 80.65 y EG-3 = 93.84), RMR (EG-1 = 73, EG-2 = 69 y EG-3 = 75) y GSI (EG-1 = 68, EG-2 = 64 y EG-3 = 70), llegando a la conclusión de que el diseño del tajo de explotación a cielo abierto está constituido por parámetros geométricos por: $H = 55$ m, $h_b = 6.00$ m., $A = 5$ m, $b = 3.20$ m., $N_b = 9$, $ab = 60$, $\alpha = 42^\circ$, realizándose por bancos por la forma del yacimiento y el análisis geotécnico (resistencia de la roca).

Palabra clave: Geomecánica, macizo rocoso, factor de seguridad, resistencia y estabilidad.

ABSTRACT

The non-metallic mining operations of the company Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., is located to the N of the city of Cajamarca, province of Hualgayoc, district of Bambamarca, Centro Poblado de Apan Bajo, said company has an 11-meter pit whose problem is the rockfall, because the stratum is in favor of the dip of the slope, generating ruptures; having as general objective: Geomechanical evaluation to improve the design of the exploitation benches of Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., therefore, this research develops a methodology of type: descriptive, level: non-experimental, deductive method. The procedure includes: geomechanical mapping, topographic survey and application of software for estimating ruptures, safety factor and bench design, obtaining as results good quality rock outcrops with ratings: RQD (EG-1 = 84.42, EG-2 = 80.65 and EG-3 = 93.84), RMR (EG-1 = 73, EG-2 = 69 and EG-3 = 75) and GSI (EG-1 = 68, EG-2 = 64 and EG-3 = 70), reaching the conclusion that the design of the open pit exploitation is made up of geometric parameters: $H = 55$ m, $h_b = 6.00$ m., $A = 5$ m, $b = 3.20$ m., $N_b = 9$, $\alpha_b = 60$, $\alpha_r = 42^\circ$, carried out by banks along the reservoir shape and geotechnical analysis (rock strength).

Keyword: Geomechanics, rock mass, safety factor, resistance and stability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L. se ubica en el Centro Poblado de Apan Bajo, distrito y provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca; cuyas operaciones mineras se ubican en la concesión Colquirrumi N° 49-C, perteneciente al titular: Minera no metálica Unión Nueva S.A.C., conformada por área: explotación y beneficio. Litológicamente el tajo de explotación está conformado por gruesos paquetes de roca caliza color gris azulada perteneciente a la Formación Cajamarca, de grosor: 0.4 m. a 1.20 m.; por lo contrario, las geoestructuras presentan diferente orientación formando blocosidades de forma: Tabular y cúbica, sin embargo, el estrato está a favor del buzamiento el talud, generando rupturas: Planares, cuñas y vuelco, ocasionando inestabilidades de orientación NW-SE, afectando el avance de desbroce de roca caliza en el tajo de explotación, por consiguiente el tajo de explotación está emplazado en la lomada, que actualmente conforma un talud de buzamiento 80° a 90° y altura de 11.00 m., por la roca competente, por lo contrario la hidrología e hidrogeología también afecta directamente al afloramiento rocoso generando meteorización: Física y química, en la roca aumentando la redistribución tensional mediante la disminución de resistencia en las familias de discontinuidades afectando la cohesión y ángulo de fricción, del basamento rocoso.

Por lo tanto, se formuló la siguiente pregunta: ¿cómo influye el comportamiento geomecánico para el diseño de bancos en el tajo de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L?, obteniendo como hipótesis: la inestabilidad del talud está relacionada con que el estrato está a favor del buzamiento del talud generando rupturas, donde con las evaluaciones de la geología, geomorfología y geomecánica se analiza la influencia en el diseño de bancos.

La investigación justifica que el yacimiento no metálico está emplazado en la Formación Cajamarca compuesto por roca caliza, perteneciente a la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., enfocada a la extracción de roca caliza del

tajo de explotación con altura de 11.00 m., ocasionando inestabilidades progresivas en el frente del talud, formando rupturas: Planares, cuñas y vuelco, de orientación NW-SE, formadas por las geoestructuras constituyendo blocosidades: Tabulares y cúbicas. Por lo tanto, está ocasionando inseguridad en los trabajadores por la altura del tajo mayor a 11.00 m. debido a las condiciones de producción de avance de desbroce de roca y seguridad de los trabajadores, planteando realizar evaluaciones geomecánicas en el basamento rocoso del tajo de explotación.

La presente investigación mostrará las condiciones geomecánicas del tajo de explotación de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., aplicando las metodologías: exploratorias, descriptivas, correlacionales y explicativas, a la vez, dicha investigación tiene como objetivo general: Evaluación geomecánica para mejorar el diseño de los bancos de explotación de Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.; y específicos: Cartografiado geológico, geomecánico y geoestructural; análisis cinemático de las rupturas en rocas; determinar el factor de seguridad, aplicando las condiciones de estabilidad; y plantear el diseño de banqueo del tajo de explotación.

Los contenidos de los capítulos se describen a continuación: Capítulo I abarca la introducción y su desarrollo, Capítulo II se describe los antecedentes internacionales, nacionales y locales, también se describe las bases teóricas y definición de términos básicos; Capítulo III incluye la ubicación, accesibilidad, clima y vegetación, geología local, geomecánica, diseño de talud y la metodología de la investigación, Capítulo IV describe el análisis y la discusión de resultados, y Capítulo IV abarca las conclusiones con respecto a los objetivos de la presente investigación, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Meza (2018), realizó “Evaluación geomecánica y cinemática del tramo Juan Capitán – El Chihue, ciudad Victoria, Tamaulipas (Carretera TAM-126 Rumbo Nuevo)”, aplicando la clasificación geomecánica presenta rocas de calidad: excelente (RQD = 91.90 – T1), Buena (RQD = 85.30 y 75.40 – T2 y T3), media (RDQ = 53.30 – T4); Buena (RMR = 78 y 75 – T1 y T2) y regular (RMR = 59, 60 – T3 y T4). Aportando que los taludes inestables son: T1, T2, T3, T4, y T8; y estables: T5, T6 y T7.

Loor y Macias (2020), realizó “Estudio de estabilidad de taludes de la vía Garrapata – Santa María, entre las abscisas 7+900 y 63+040, provincia de Manabí, Ecuador”, donde el análisis cinemático de taludes: TG-01 no presenta ruptura planar ni cuña, con valoración geomecánicas: $\sigma_{ci} = 50$ MPa, RQD = 75 y RMR = 44, de calidad regular; TG-02 no presenta ruptura planar, pero si cuña; con valoración geomecánicas: $\sigma_{ci} = 52$ MPa, RQD = 67 y RMR = 51, de calidad regular.

Monte (2020), realizó “Análisis de estabilidad de taludes en roca mediante el método de elemento finitos”, obteniendo FS en las cinco secciones en el talud A: A1 (FS = 1.51), A2 (FS = 1.40), A3 (FS = 1.60), A4 (FS = 1.40) y A5 (FS = 1.51); y siete secciones en el talud B: B1 (FS = 1.41), B2 (FS = 1.38), B3 (FS = 1.31), B4 (FS = 1.60), B5 (FS = 1.39), B6 (FS = 1.41), B7 (FS = 1.40). Aplicando la probabilidad de ruptura muestra bajos porcentajes de inestabilidad en ruptura planar en ambos taludes, sin embargo, la ruptura por cuña en el talud: A = 33.33% y B = 00.00%, en cambio la ruptura por vuelco en el talud: A = 00.00% y B = 50.00%.

2.1.2 Nacionales

Gutiérrez, (2019). Realizó “Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicadas en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A.”, el mapeo geomecánico conformada por 28 estaciones geomecánicas, con variación: RMR = 42 a 51 y SMR = 39 a 57, obteniendo análisis cinemático por: cuña y planar, FS estático (1.10 a 3.13) y pseudo (0.94 a 6.78), conformado por tres sistemas geoestructuras DD/D = $319^{\circ}/52^{\circ}$, $127^{\circ}/54^{\circ}$ y $226^{\circ}/57^{\circ}$.

Carhuatanta y Tantajulca (2020), Realizó “Análisis estructural de macizo rocoso para determinar el facto de seguridad en taludes de la carretera Cochabamba – Cutervo – Puerto Chiple”, las clasificaciones geomecánicas reportan cinco estaciones de calidad buena (EG-01 = 67, EG-02 = 66, EG-04 = 62 y EG-05 = 69) y regular (EG-03 = 60). El análisis cinemático por ruptura planar se origina por la junta J2 (D/DD) = $28^{\circ}/226^{\circ}$, obteniendo el FS en condiciones: Totales = 2.073, efectivas = 1.742 y efectivas +sismicidad = 1.098.

2.1.3 Local

Rojas (2018), realizó “Comportamiento geotécnico de los taludes críticos de la carretera Lajas – El Tayal provincia de Chota”, donde el análisis cinemático muestra altos valores en rupturas por cuña: 37.50% a 54.21% y planares entre: 15% a 50%, definidas de los ocho taludes críticos. Aplicando los criterios empíricos: σ_{ci} = 85 MPa a 100 MPa, GSI = 43.90 a 49.99 (Media), RMR = 43 a 53 (Media), RQD = 53.79 a 72.84 (Calidad media)

Novoa (2019), realizó la “Evaluación geotécnica para determinar la inestabilidad de los taludes en la carretera del tramo Chilete – Puente Muyuna”, obteniendo como probabilidad de ruptura está delimitada por las características geoestructurales, obteniendo 5 inestabilidades por ruptura planar (E-2, E-3, E-7, E-8 y E-10, con fluctuaciones de probabilidad: 26.67% a 39.53%), 1 por ruptura en cuña (E-1, con probabilidad de 30.56%) y 2 por ambos tipos de ruptura cuña y planar (E- 5 y E-9 con probabilidades de: 40.00% a 61.36%).

Terán (2022), realizó: “Evaluación geotécnica y diseño del tajo Esmael de la Empresa Cal plus, concesión Colquirrumi 49-C. Distrito, provincia de Hualgayoc – Cajamarca”, donde el campo aceleraciones espectrales: Horizontales (0.141 a 0.281) y verticales (0.375 a 0.750), definiendo el método de explotación a cielo abierto y diseño del tajo: altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco = 80° y ángulo final de banco = 33°, acompañado de la profundidad de perforación y voladura.

Wilson (1984), Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos: Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d) y Chepén (14-e). Enfoca el contexto geológico regional escala 1/100,000 en los aspectos: Estratigráficos, estructurales, tectónicos y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región de Cajamarca; para interpretaciones, análisis y ubicación de las formaciones geológicas, siendo de gran apoyo para geología local.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Macizo Rocoso

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneas. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula (González de Vallejo, 2004).

2.2.2 Propiedades Físicas de las Rocas

Son propiedades estudiadas y analizadas que nos permitirán la caracterización de estructuras rocosas en campo tales como la deformación de estructuras producto de esfuerzos, siendo una de las más importantes la resistencia uniaxial. González de Vallejo (2002).

- **Resistencia Uniaxial**

Es el resultado de la relación que existe entre las fuerzas aplicadas a la roca y el área de la roca, la resistencia en campo se calcula contando el número de golpes propinados con picota de geólogo. (Ramírez, 2004).

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

Grado	Descripción	Identificación de campo	Valor aproximado de la resistencia a la compresión simple en MPA
R0	Extremadamente débil	Se puede penetrar con el dedo pulgar	0.25 – 1.0
R1	Muy débil	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo del geólogo: puede cortarse con una navaja.	1.0 – 5.0
R2	Débil	Puede cortarse con dificultad con una navaja; se puede hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la cuchilla.	5.0 - 25
R3	Media	No se puede cortar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25 - 50
R4	Resistente	Se necesita más de un golpe con el martillo del geólogo para romper la muestra	50 - 100
R5	Muy resistente	Se necesita muchos golpes con el martillo para romper la muestra	100-250
R6	Extremadamente resistente	Solo se puede desprender esquirlas de la muestra con el martillo del geólogo	>250

Fuente: Ramírez (2004)

2.2.3 Criterio de Resistencia en Macizos Rocosos

Permiten analizar la resistencia del macizo rocoso partiendo de las fuerzas actuantes y de las propiedades estructurales de los macizos rocosos, esta resistencia puede evaluarse aplicando máximos esfuerzos y relacionándose con propiedades de la roca (cohesión y ángulo de fricción), siendo de gran importancia en el ámbito de la ingeniería (González de Vallejo, 2004).

Los dos factores más importantes para el análisis de resistencia del macizo rocoso son:

Cohesión (C): Es la propiedad que tienen los macizos rocosos a generar adhesión de sus partículas mediante esfuerzos que permite la reagrupación de las mismas.

Fricción (Φ): Concerniente a la propiedad que tienen los macizos rocosos a generar rozamiento en su interior e imposibilitar el desplazamiento de sus estructuras.

La evaluación de la resistencia del macizo rocoso se hace mediante métodos lineales aplicando el criterio de Mohr- Coulomb y métodos no lineales aplicando el criterio de Hoek y Brown. (González de Vallejo, 2004).

- **Criterio de resistencia Hoek - Brown**

Propuesta en el año de 1980 por Hoek y Brown para hallar la resistencia de la roca intacta, posteriormente en el año 2002 fue modificada por los mismos autores reemplazando al RMR por el GSI con el fin de ser aplicada también a roca de calidad mala ya que el RMR no se aplicaba para este tipo de roca. Es el criterio más apropiado para analizar la resistencia de la roca intacta, debido a que tiene un funcionamiento no lineal representado en forma triaxial y bajo una curva cóncava, este criterio es práctico y permite la valoración de la rotura de la roca intacta evaluando las principales propiedades geológicas (González de Vallejo, 2002).

La última modificación plantea el siguiente modelo matemático:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha$$

Donde:

σ'_1 y σ'_3 son las fuerzas que actúan sobre la roca.

σ_{ci} es la resistencia a la compresión de la roca.

s y α son constantes que varían de acuerdo a las características de la roca
 m_b es el valor reducido de la constante de material m_i para roca intacta y está dado por:

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

Los valores de s y α se calculan mediante las ecuaciones:

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

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

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; las pautas para la selección de valores apropiados para D .

Cuadro 2.2. Valoración de la constante m_i para tipo de rocas

Tipo de roca y valor de la constante " m_i "				
Sedimentarias clásticas	Conglomerado	(22)	Lutita	4
	Arenisca	19	Grauvaca	(18)
	Limolita	9		
Sedimentarias no clásticas	Caliza margosa	7	Caliza micrítica	8
	Brecha caliza	(20)	Yeso	16
	Caliza esparítica	(10)	Anhidrita	13
Metamórficas	Mármol	9	Gneiss (*)	33
	Cuarsita	24	Esquisto (*)	4-8
	Migmatita	(30)	Filita (*)	(10)
	Anfibolita	25-31	Pizarra (*)	9
	Milonita	(6)		
Ígneas	Granito	33	Diorita	(28)
	Riolita	(16)	Andesita	19
	Granodiorita	(30)	Gabro	27
	Dacita	(17)	Basalto	(17)
Ígneas extrusivas piroclásticas	Aglomerado	(20)	Toba	(15)
	Brecha	(18)		

Fuente: González de Vallejo, (2002)

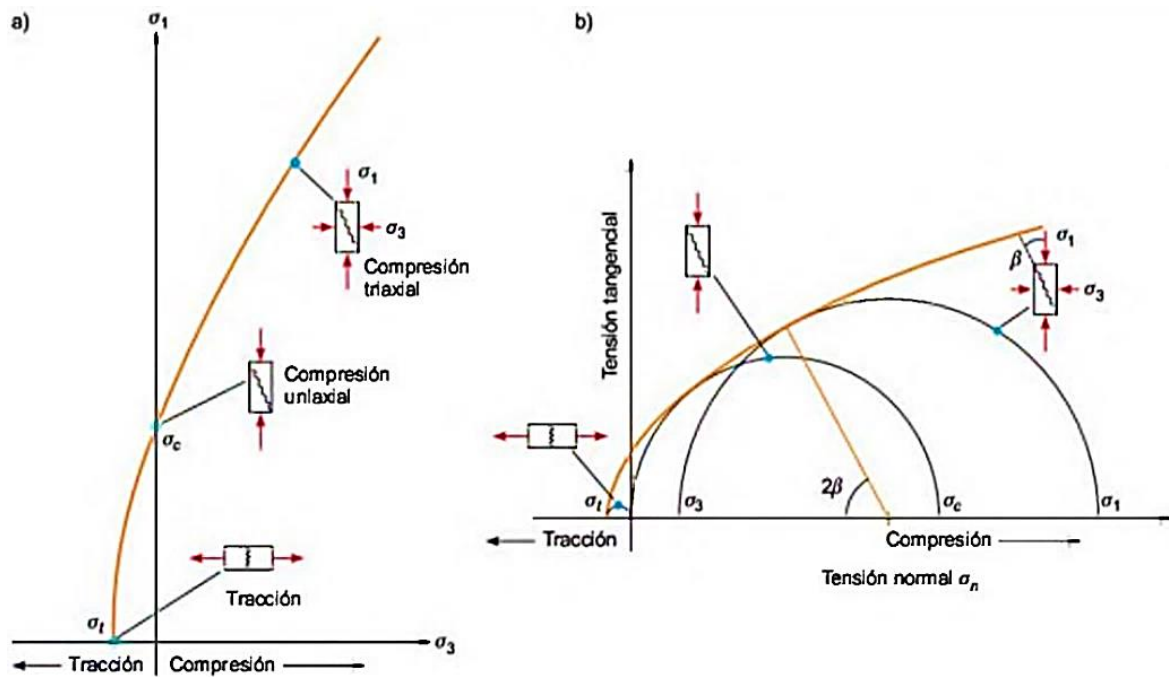


Figura 2.1. Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangente Fuente: González de Vallejo, (2004).

- **Criterio de Mohr-Coulomb**

De acuerdo con (González de Vallejo, 2004) este criterio analiza la resistencia de rotura de la roca y lo representa a través de un plano en un estado triaxial de tensiones, consiguiéndose la relación entre los esfuerzos (normal y tangencial) actuantes en el momento de la rotura y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$T = c + \sigma_n * tg\phi$$

En donde:

T = es el esfuerzo tangencial sobre el plano de falla.

σ_n = es el esfuerzo normal sobre el plano de falla.

c = es la fuerza cohesiva.

ϕ = es el ángulo de fricción interna.

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb se interpreta en función de los esfuerzos mayor σ_1 y menor σ_3 .

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \frac{2c * \cos \phi}{1 - \sin \phi}$$

Estas incógnitas también son útiles para representar gráficamente el proceso de resistencia a la rotura de la roca.

$$\sigma_t = \frac{2c * \cos \phi}{1 + \sin \phi}$$

A su vez el criterio de Mohr - Coulomb sufre algunos inconvenientes, ya que el comportamiento de la roca al momento de aplicarle la fuerza de compresión uniaxial no es lineal, esto podría ocasionar errores de cálculo en zonas de bajos esfuerzos confinantes (González de Vallejo, 2004).

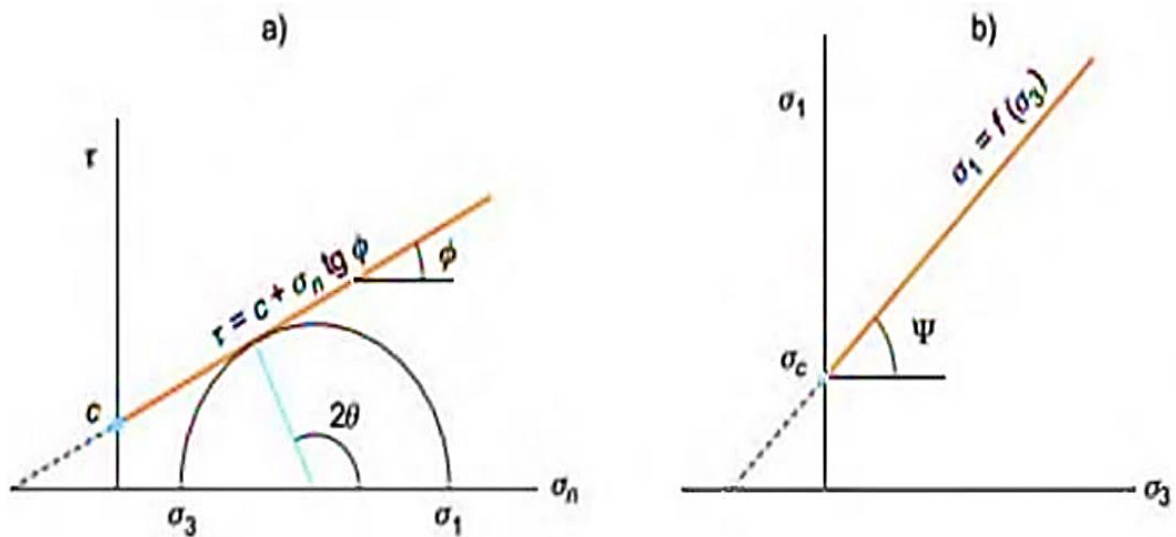


Figura 2.2. Envolventes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b)
Fuente: González de Vallejo, (2004).

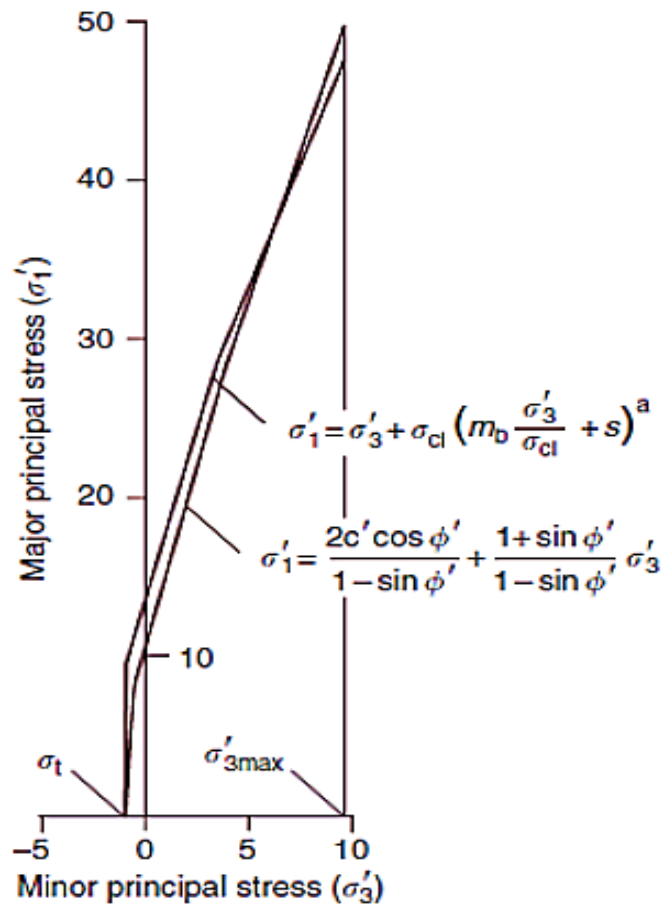


Figura 2.3. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente Mohr-Coulomb.
Fuente: Carranza, (2002).

2.2.4 Clasificaciones geomecánicas

Los criterios geomecánicos que se adopten para el desarrollo de una explotación del tajo de explotación cumplirán un papel importante, y sus necesidades deben reflejarse en la política corporativa. Es decir, antes de la aceptación de un diseño de explotación, estas deben estar alineadas con los criterios geomecánicos específicos de diseño, operación y cierre (Osinergmin, 2017).

- **Índice de calidad de roca (RQD)**

El índice de calidad de roca (RQD), su aplicación en taludes lo estimaremos aplicando la modificación de Priest y Hundson (1976), realizando la medición de las discontinuidades en una superficie con la consideración que exista una longitud

mínima de 10 cm. Donde λ es el número promedio de discontinuidades por metro lineal.

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

λ = Número de discontinuidades /longitud

Cuadro 2.3. 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: Deere et al., 1967.

- **Valoración de la Masa Rocosa (RMR)**

La clasificación geomecánica por Sistema Rock Mass Rating (RMR), postulado en 1976 con actualizaciones hasta 1989, en el cual propone valores para los parámetros en función de calidad del macizo rocoso el cual permite estimar los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo, constituyendo un sistema de clasificación de los macizos rocosos que permiten a su vez relacionar el índice de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo (González, 2004).

Cuadro 2.4. Calidad de macizos rocosos con relación al índice RMR₈₉.

Clase	Calidad de roca	Valoración RMR	Cohesión (Kg/cm ² .)	Ángulo de fricción
I	Muy Buena	100 – 81	> 4	> 45°
II	Buena	80 – 61	3 - 4	35° – 45°
III	Media	60 – 41	2 -3	25° – 35°
IV	Mala	40 – 21	1 - 2	15° – 25°
V	Muy mla	< 20	< 1	< 15°

Fuente: González, 2002.

- 1 Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- 2 Grado de fracturamiento en términos del RQD.
- 3 Espaciado de discontinuidades.
- 4 Condiciones de discontinuidades.
- 5 Condiciones hidrogeológicas.

$$\text{RMR} = (1 + 2 + 3 + 4 + 5)$$

- **Índice geológico de resistencia (GSI)**

El índice de Resistencia Geológica fue desarrollado por Hoek y Brown (1997) basada en estimaciones de modelos simples, que coinciden con las condiciones reales. La cuantificación de la tabla GSI se basa en dos parámetros bien establecidos: las condiciones de las discontinuidades y el RQD (Osinergmin, 2017).

Cuadro 2.5. Índice geológico de resistencia (GSI).

Calidad del macizo	Tipo	GSI
Muy mala	V	0 - 20
Mala	IV	21 - 40
Regular	III	41 - 60
Buena	II	61 - 80
Muy buena	I	81 - 100

Fuente: Hoek, Carranza y Corkum, 2002.





ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>) A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice GSI.		CONDICIÓN DEL FRENTE					
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos contenido fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos	
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70				
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50			
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30		
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10	

Figura 2.4. Estimación del Índice GSI en base a descripciones geológicas
Fuente: Hoek y Brown, (1997)

2.2.5 Rupturas en rocas

- **Rupturas planares**

La rotura planar es una visión relativamente de los taludes compuestos de roca porque sólo ocasionalmente todas las condiciones geométricas necesarias para tal fallo ocurren en una pendiente real. Sin embargo, no sería correcto ignorar el enfoque bidimensional porque hay muchas lecciones aprendidas de la consideración de la mecánica de este modo de falla simple. La rotura planar es particularmente útil para demostrar la sensibilidad de la pendiente a los cambios en la resistencia al corte y las condiciones del agua subterránea - cambios que son

menos obvio cuando se trata de los más complejos de roturas de la mecánica de pendiente tridimensional (Wyllie y Mah, 2004).

Las geometrías del talud y las condiciones del agua subterránea consideradas en este análisis se definen en la Figura 2.4, que muestra dos geometrías siguientes:

- (a) Talud presenta grieta de tracción en la parte superior de la superficie;
- (b) Talud que tiene grieta de tracción en la cresta (pendiente) del talud.

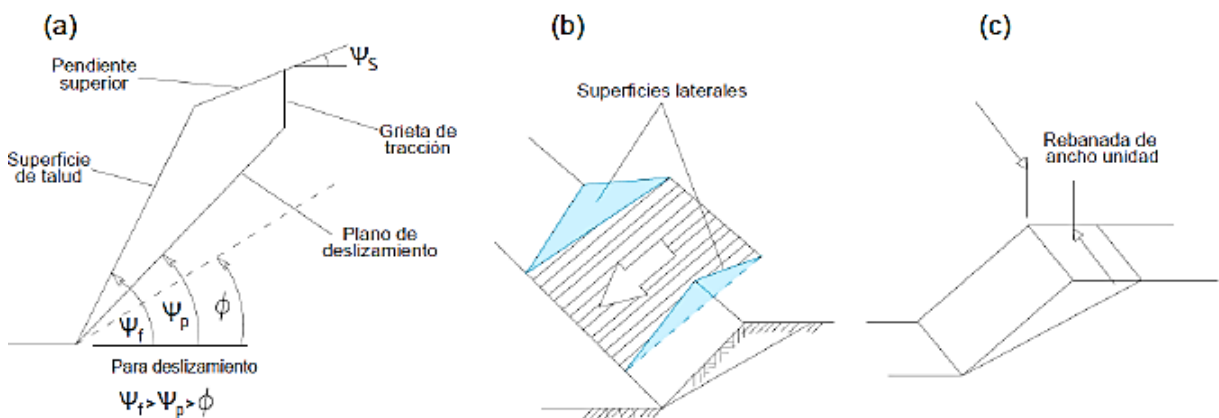


Figura 2.5. Muestra la geometría del talud - rotura planar: (a) Sección transversal que muestra planos que forman rotura planar; (b) Superficies laterales en los extremos del plano de rotura; (c) Ancho unitario utilizado en el análisis de estabilidad. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

- ***Rupturas en cuña***

La rotura de taludes por cuña de discontinuidades que inciden oblicuamente en la pendiente del talud produciendo el deslizamiento de la cuña de roca a lo largo de la línea de intersección de dos planos (Figura 2.5). La rotura en cuña puede ocurrir sobre una gama mucho más amplia de condiciones geológicas y geométricas que las roturas planares, por lo que el estudio de la estabilidad de los deslizamientos en cuña es una componente importante del talud rocoso para la ingeniería (Wyllie y Mah, 2004).

Es decir, el rumbo de la línea de intersección y el dip direction de la pendiente del talud son aproximadamente iguales. Además, el rumbo de la línea de intersección es de aproximadamente $50 - 55^\circ$, mientras que el ángulo de fricción de estas juntas está en el rango de $35 - 40^\circ$. Es decir, la línea de intersección del dip más el ángulo de fricción. Estas condiciones cumplen con la cinemática requisitos para la rotura por cuña. La Figura 2.5 ilustra cómo hay un ligero cambio de las condiciones del sitio del talud estable de la pendiente. Por ejemplo, si las líneas de intersección hubieran sido ligeramente detrás de la cresta, o sólo una de las juntas había sido discontinua, entonces ninguna rotura hubiera ocurrido.

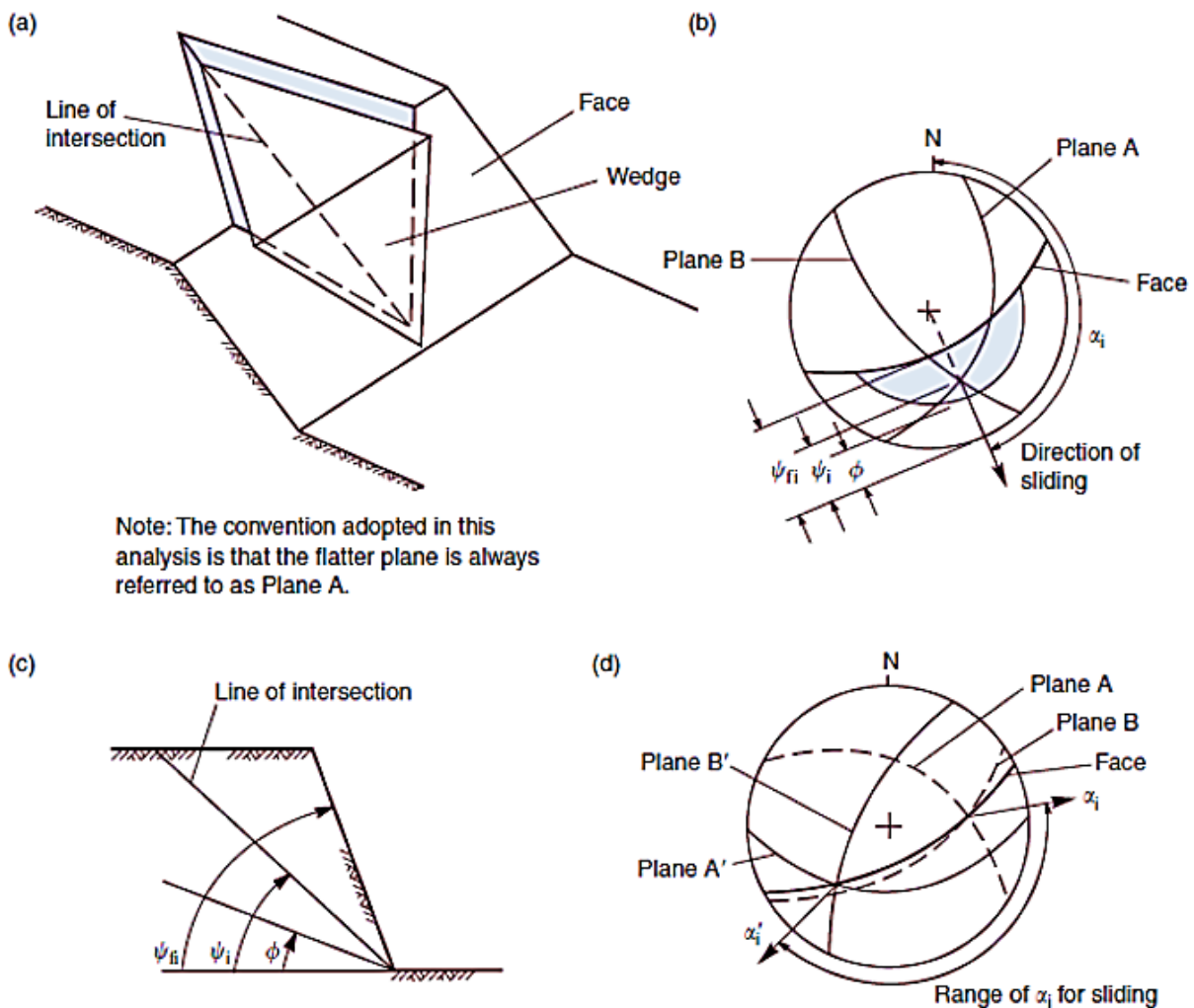


Figura 2.6. Condiciones geométricas de rotura por cuña: (a) vista representativa de rotura por cuña, (b) diagrama estereográfico que muestra la orientación de la línea de intersección y la orientación del buzamiento de la línea de intersección Ψ_i donde es posible la rotura; (c) vista de perfil del talud observándose la línea de intersección; (d) la proyección estereográfica muestra la orientación de buzamiento de la línea de intersección α_i donde la falla de cuña es inestable. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

- **Rupturas por vuelco**

El volteo de bloques ocurre cuando, en una roca fuerte, las columnas individuales están formadas por un conjunto de discontinuidades que surgen y un segundo conjunto son espaciadas ortogonalmente que definen la altura de la columna. Las columnas cortas que se forman en el pie del talud que son empujadas hacia adelante por las cargas de atrás, y este deslizamiento del vuelco hacia el pie permite desarrollarse más arriba de la pendiente. La base de la rotura generalmente consiste en una superficie escalonada generados por las juntas siguientes. Las condiciones geológicas típicas que puede ocurrir este tipo de roturas son en arenisca y columnas de basalto en los que la unión ortogonal está bien desarrollada.

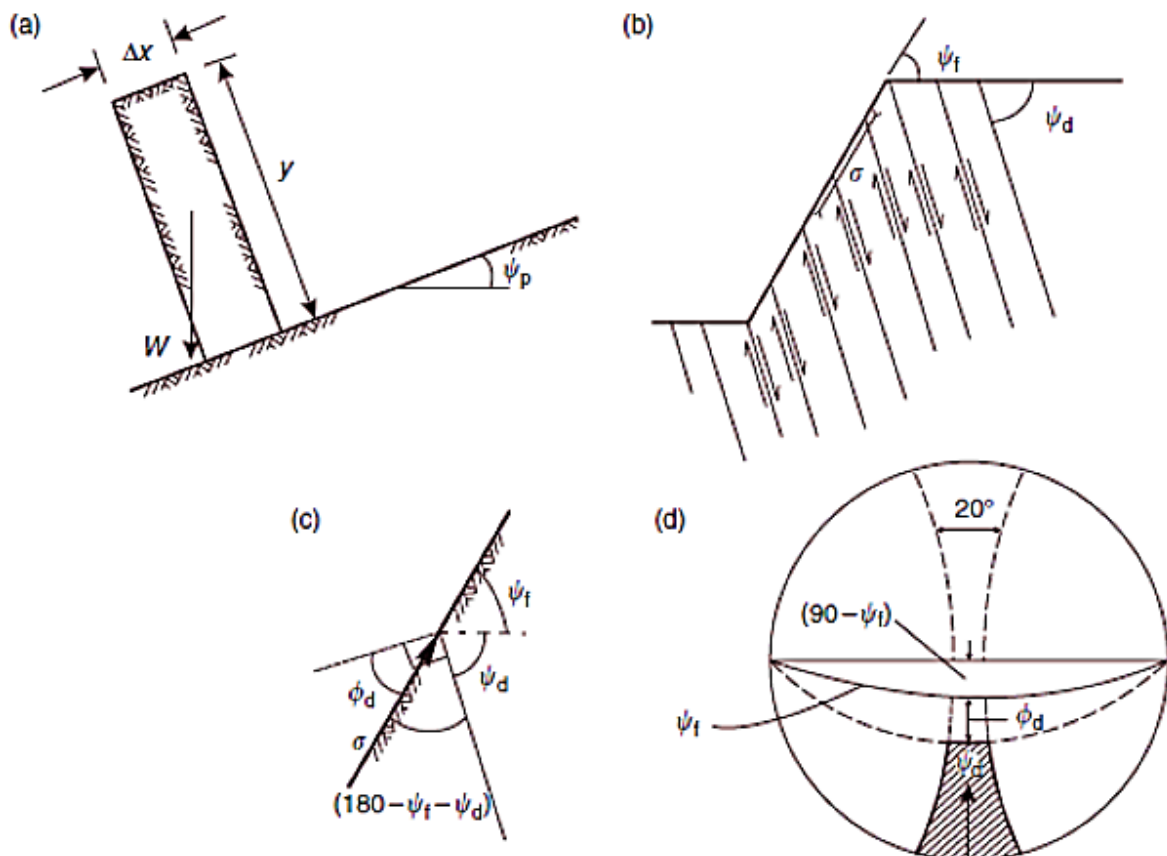


Figura 2.7. Condiciones de cinemática de ruptura por vuelco: (a) reconocimiento de altura/ancho de bloque para el vuelco; (b) direcciones de las tensiones y dirección de deslizamiento de talud rocoso; (c) condición para deslizamiento entre capas; (d) prueba cinemática definida en la proyección estereográfica del hemisferio inferior.

Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

2.2.6 Diseño de explotación de canteras

- ***Seleccionamiento del método y sistema de explotación***

Investigado el yacimiento de roca ornamental y constatada su viabilidad con la apertura de algún frente piloto y diversos estudios previos, se procede a realizar el proyecto de explotación minera, conformado por: Evaluación de reservas mineras, Definición de la geología del yacimiento y sus condiciones, seleccionamiento del método y sistema de explotación, selección del emplazamiento, diseño de cantera, reservas explotables con el método de diseño aplicado, selección y dimensionamiento del parque de maquinaria a emplear, definición de las necesidades de personal, planificación de las labores, definición de las estructuras mineras necesarias, condicionantes de finalización del proyecto y restauración ambiental (Herrera, 2018).

- ***Diseño de tajo de explotación***

El correcto diseño de una mina a cielo abierto se tiene que haber cubierto en la etapa de investigación geológica, fruto del cual se obtendrá el modelo de yacimiento con todas sus características litológicas y estructurales, que permitan optimizar la geometría del tajo final y establecer la planificación de: labores, control y precisión de la calidad de minerales y la suma de la rentabilidad del negocio. Teniendo en cuenta cuatro grupos de parámetros: geométricos, geotécnicos, operativos y medioambientales. Conformando los parámetros geométricos que configuran el diseño de una mina de explotación a cielo abierto, son: altura de banco, ancho de berma, ancho de rampa, quebradura, ángulo de cara de banco, ángulo de interrampa, ángulo global, altura total de tajo (Hustrulid et al., 2013).

Los tres componentes principales de un diseño de taludes a tajo abierto son los siguientes (Figura 2.8). Primero, el ángulo total del talud del tajo desde la cresta hasta el pie del talud incorpora 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. En segundo lugar, el ángulo entre rampas del talud, o taludes, situadas entre cada rampa dependerá del número de rampas y sus anchuras. En tercer lugar, el ángulo de la cara libre de los bancos individuales depende de la separación vertical entre los bancos, o los bancos múltiples combinados, y el ancho de los bancos necesarios para contener caídas de rocas menores.

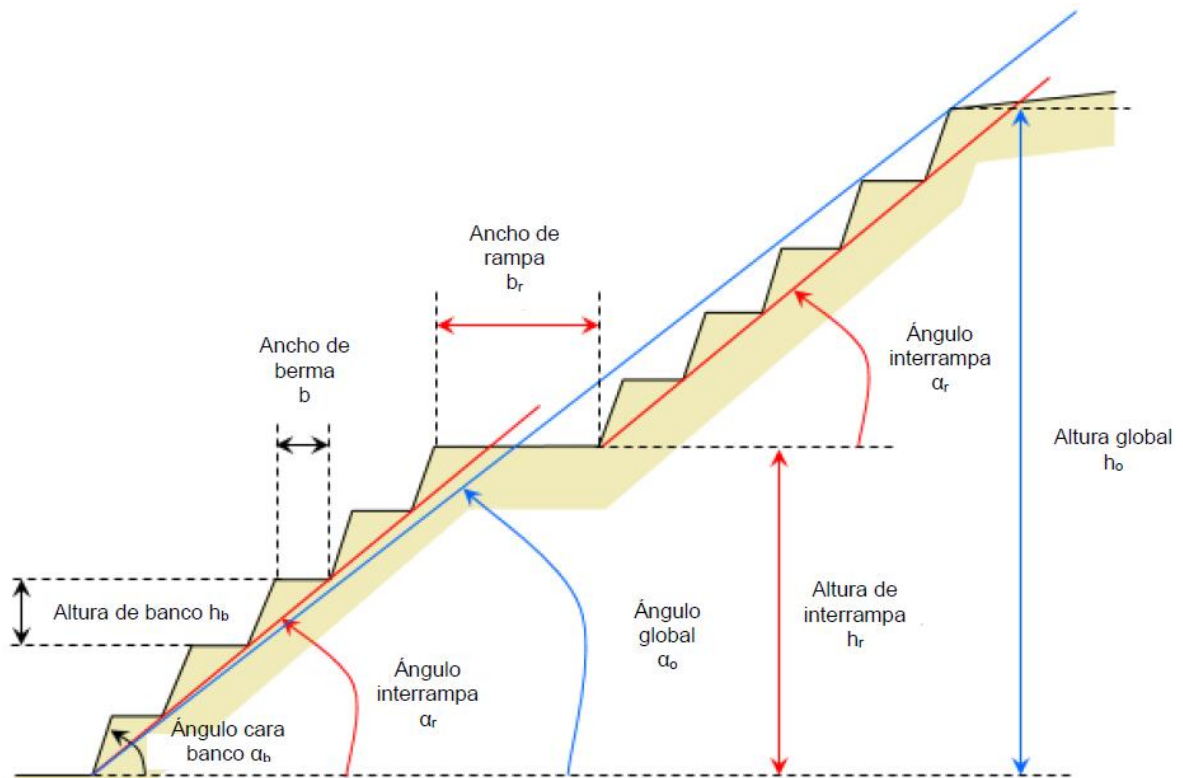


Figura 2.8. Parámetros geométricos de diseño de tajos.
Fuente: Hustrulid et al., 2023.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Fracturación del macizo:** Relación con el número y características de las fracturas: Espaciado, tipo y estado, etc (Rodríguez, 2007).
- **Métodos de equilibrio límite:** Se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de un amasa de terreno potencialmente inestable, clasificándolo en métodos: Exactos (Roturas: Planares, cuñas y vuelcos) y no exactos (método de dovelas y Estabilidad global de la masa del terreno) (Herrera, 2000).

- **Análisis cinemático:** Estudio de taludes excavados en macizo rocosos mediante proyección estereográfica de la orientación del talud y discontinuidades existentes para definir ruptura: Planar, cuña y vuelco (Tomas et al., 2002).
- **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 (Gavilanes y Andrade, 2004).
- **Litología:** Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología (Dávila, 2011).
- **Talud:** Cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería (Batista et al., 2012).
- **Factor de seguridad:** Es un concepto que se origina del método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad. Este factor es un índice que expresa la relación entre: la resistencia la corte media del material del macizo a lo largo de una potencial superficie de ruptura vs. la resistencia de corte estrictamente necesaria para mantener el terreno en equilibrio (Suárez, 2016).
- **Macizo Rocoso:** Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos (González, 2004).

- **Secciones geomecánicas:** Se desarrollan a partir de cortes o secciones sobre una zona determinada, detallándose información geológica (Litología, contactos, estructuras mayores y menores, etc.) y la calidad del macizo rocoso en base a la clasificación geomecánica (Osinergmin, 2017).
- **Orientación:** Disposición de un plano o línea estructural en el espacio, por lo general relacionado con una dirección geográfica horizontal, por ejemplo: Norte geográfico o norte magnético (Delgado, Padilla y Barrientos, 2010).
- **Modelo matemático:** Simula el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y de los elementos estructurales presentes en el entorno de la excavación (Ramírez et al., 2008).
- **Factores geomorfológicos:** Promueve las modificaciones múltiples que se observan sobre las partes más extremas de materiales geológicos aflorantes (Martínez, 1981).
- **Criterio de rotura:** La estabilidad de macizos rocosos es la práctica habitual linealizar la envolvente del criterio de rotura: Hoek y Brown, para reducir la resistencia a tracción especialmente en macizos rocosos malos y la resistencia no crece tanto como en el estado de confinamiento como en la envolvente Mohr-Coulomb (Puell, De la Puente y Arenillas, 2004).
- **Método minero:** Proceso iterativo tanto del punto de vista temporal espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de conjunto de sistemas, procesos y maquinarias que operan de forma ordenada, repetitiva y rutinaria (Herrera, 2006).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

Las operaciones mineras no metálicas de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., se ubica al N de la ciudad de Cajamarca, provincia: Hualgayoc, distrito: Bambamarca, centro poblado: Apan Bajo, lugar: Congona, a una altitud entre los: 2,990 msnm a 3,055 msnm.



Figura 3.1. Ingreso al caserío Congona desde el cruce del centro poblado Apan Bajo. Operaciones mineras de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.
Fuente: Google Earth, 2024

3.2 ACCESIBILIDAD

El punto de partida se llevó a cabo desde la ciudad de Cajamarca, llegando al distrito Hualgayoc, continuando la ruta se llega al centro poblado Apan Bajo, luego cambiando a trocha carrozable en orientación ESE llegando al caserío Congona donde se encuentran las operaciones de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.

Cuadro 3.1. Cronograma de ruta del recorrido a la zona de investigación.

Tramo		Carretera	Transporte	Movilidad	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Paradero a Bambamarca	Hualgayoc	Asfaltada	Terrestre	Camioneta	85+600	02:10
Hualgayoc	Apan Bajo	Asfaltada	Terrestre	Camioneta	12+600	00:25
Apan Bajo	Congona	Afirmada	Terrestre	Camioneta	03+700	00:10
Total					100+900	02:45

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Descriptiva: Está basada en definir el comportamiento de las variables planteadas a través de información: Campo, gabinete y procesamiento por modelos numéricos, presentando información: Cualitativa o cuantitativa, plasmada en: Cuadros, gráficos y figuras; mostrando información de calidad por medio: Criterios geomecánicos y diseño geométrico del tajo. Obteniendo características: Datos en el objetivo general y específicos, empleo de técnicas observatorios, no manipular información, uso de técnicas de recolección de información, etapas preliminares del estudio.

No experimental: La investigación correlacional, está fundamentada por las variables: Litología, geoestructuras, geomorfología y diseño de bancos; delimitando el comportamiento del afloramiento rocoso, frente a la manipulación de dos variables, obtenido datos: Cuantitativos y cualitativos. La investigación explicativa:

Se baso en la búsqueda de las razones del diseño del tajo de explotación mediante la vinculación con las variables, tenido comportamientos: Precisos, dimensionales y numéricos, logrando tener respuestas para el mejoramiento del diseño de explotación del tajo.

Cuantitativo: Está fundamentada por el comportamiento del basamento rocoso frente al diseño del tajo de explotación, afectado por agentes externos (geodinámicos) y antrópicos, frente al comportamiento natural de la estabilidad. Sin embargo, los cartografiados geológico-geotécnico, muestra el comportamiento del afloramiento rocoso, por medio del análisis, interpretación y discusión de resultados.

Correlacional: Se basó en principios geológicos – mineros, enfocados a conceptos geomecánicos y diseño de explotación, definiendo así la afirmación de la hipótesis por medio de conocimientos en base a: Teorías, conceptos e investigaciones. Partiendo del objetivo general a particular; fundamentada en la metodología de investigación, mediante ciencias formales como: Matemática y lógica, observando el comportamiento del tajo de explotación.

3.3.2 Población

Instalaciones de la Empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L, comprendida en un área de 16 413.31 m²

3.3.3 Muestra

Tajo de la Empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L

3.3.4 Unidades de análisis

Estaciones geomecánicas definidas por las variables: RQD, RMR y GSI.

3.3.5 Etapas de recolección de información

Etapa - recopilación de información: Se basó en información física o virtual como: Papers, artículos científicos, ponencias, seminarios, libros, tesis, etc. De igual manera se utilizaron programas numéricos: SASPlanet, AutoCad, ArcGis, Global Mapper, etc., para realizar planos temáticos en función de la base numérica y digital.

Etapa – campo: Estuvo conformada por 10 salidas a campo, debidamente planificadas, obteniendo información para el desarrollo de las variables, registrando información: Cuantitativa y cualitativa, apoyada por cinco asistentes para lograr todo el cartografiado del área de investigación fundamentadas por: Equipos y materiales y equipo técnico debidamente capacitado.

Etapa – gabinete: Se enmarco en transcribir en base: Excel y Word, toda la información obtenida de campo, debidamente seleccionada y agrupada, para posteriormente ser procesada progresivamente por etapas hasta lograr el objetivo de la investigación geomecánico del diseño del tajo de investigación.

Etapa - procesamiento: Estuvo conformado por la agrupación de información de acuerdo con las etapas: Geológico y geomecánico, obteniendo información de veras, mostrando el comportamiento del afloramiento rocoso, frente a cambios por eventos geodinámicos externos, para lo cual se tuvo relevancia obtener: Calidad de roca, probabilidad de ruptura y factor de seguridad.

Etapa - interpretación de información: Las interpretaciones que se lograron obtener fueron basadas a partir del procesamiento de información logrando obtener interpretaciones: Positivas o negativas mediante: Software matemáticos o cálculos numéricos; para si obtener como resultados finales valores: Cuantitativos y cualitativos, del tajo de explotación.

Etapa - informe final: Estuvo conformado por redacciones progresivas, siendo la parte sustancial de la tesis el capítulo: III y IV, plasmando información real de la zona de investigación, en algunos casos mediante: Cuadros, planos temáticos y figuras, por el procesamiento de información, mostrando la realidad de la zona de estudio.

3.3.6 Equipos, materiales y softwares

Equipos: Los equipos utilizados para a la obtención de información fueron: Numéricas y gráficas, partiendo de la planificación en función: Cantidad, tipo, marca y calidad, utilizando: GPS Garmin, cámara fotográfica, brújula geotécnica, protactor, rayador, lupa y picota.

Materiales: Son el complemento de los equipos para poder: Escribir, dibujar, delimitar, colorear, codificar, etc. que serán plasmados en los planos temáticos. Los materiales fueron conformados por: Registro geológico-geotécnico, imágenes satelitales, carta geológica (14-f), colores, plumones, lápices, borrador, corrector, tajador, regla, lapiceros, libreta de campo, ácido clorhídrico, wincha, marcador indeleble, portapapeles y flexómetro.

Software: Fuente importantísima de primera mano para: Redactar, diseñar, delimitar, modificar, etc. conformado por los modelos numéricos: Word, Excel, Adobe AcrobatDC, SASPlanet, Google Earth Pro, Google Maps, Global Mapper, ArcGis, AutoCAD, Slide, RocData, Dips, RocPlane y Swedge.

3.4 HIDROLOGÍA

Localmente las operaciones mineras están delimitadas por la subcuenca del río Arascorgue en la cuenca del río Llaucano, al Ámbito de la Autoridad Administrativa del agua (AAA) Marañón y Autoridad Local de Agua (ALA) Chotano – Llaucano. El río Arascorgue se encuentre ubicado al sur de la cantera de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., a 700 m. de distancia. Por consiguiente, la escorrentía superficial tiene orientación S, evacuando las aguas pluviales por unidades morfogénicas: Planicies, lomada, laderas y escarpas, arrastrando consigo sedimentos generados por: Desbroce de rocas caliza y procesamiento de óxido de calcio.



Figura 3.2. Vista del río Arascorgue, ubicado a 700 m. de distancia de operaciones mineras delimitado por unidades geomorfológicas muy erosionables el flanco derecho del río.

Hidrológicamente el río Arascorgue, se ubica en la zona montañosa de la Cordillera Occidental del centro poblado de Hualgayoc (naciente), en la microcuenca del río Arascorgue, con orientación SWW. Específicamente en el centro poblado La Tauna, a altitud de 3,200 msnm., con distancia 1.73 Km. hacia el SWW-NNE (distrito de Hualgayoc como naciente) y 3,700 msnm. con distancia 1.52 Km. (hacia el NEE, el centro poblado de Chulipampa), confluyendo estos dos efluentes; así formando el río del mismo nombre siguiendo la orientación SW-NE, en el centro poblado de Arascorgue confluyendo con la quebrada El Tragadero (Naciente en el centro poblado de Apan bajo 3,038 msnm. con orientación SWW-NEE en el centro poblado de Chilcapampa) en la cota 2,700 msnm. formando el río del mismo nombre con orientación W-E, a su vez formando aguas abajo el río Llaucan en la cota 2,600 msnm. con orientación NNE a Bambamarca; para formar aguas abajo el río Crisnejas, siendo este último uno de los afluentes del río Marañón que nace en el SW del departamento de Huánuco en la Provincia de Lauricocha recorriendo aproximadamente 1,600 Km., donde dicho río es un afluente principal del río Amazonas que tiene una longitud de recorrido de 7,062 km. desembocando en el Océano Atlántico.

Cuadro 3.2. Altitud media de la microcuenca – Precipitación máxima 24 horas.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
2013	27.20	64.20	68.30	20.10	35.70	2.50	2.20	2.20	7.50	42.10	9.50	44.20	68.30
2014	38.00	48.10	54.30	20.60	34.70	0.80	0.60	1.70	18.20	18.90	43.00	47.50	54.30
2015	49.90	12.40	83.10	24.90	38.20	16.00	1.10	3.80	0.90	41.10	30.10	17.50	83.10
2016	25.80	18.10	30.50	55.50	3.70	9.60	3.10	4.30	25.40	26.90	15.90	63.80	63.80
2017	126.70	61.00	198.10	83.60	70.10	15.00	0.00	19.10	44.30	132.70	60.40	54.60	198.10
2018	73.10	92.10	44.50	83.80	104.00	15.50	8.40	1.40	4.50	1.30	144.30	41.20	144.20
2019	31.60	80.40	16.39	75.90	55.20	9.60	12.80	0.60	8.60	101.40	111.50	102.20	111.50
2020	34.40	19.50	56.60	90.50	29.40	8.00	65.00	10.20	103.50	28.50	93.80	139.40	139.40
2021	61.20	73.20	15.10	31.20	49.50	15.30	2.90	41.10	30.60	182.10	137.30	117.80	182.10
2022	58.20	146.40	189.10	71.90	21.20	57.00	5.50	25.20	32.90	121.50	12.40	76.90	189.10

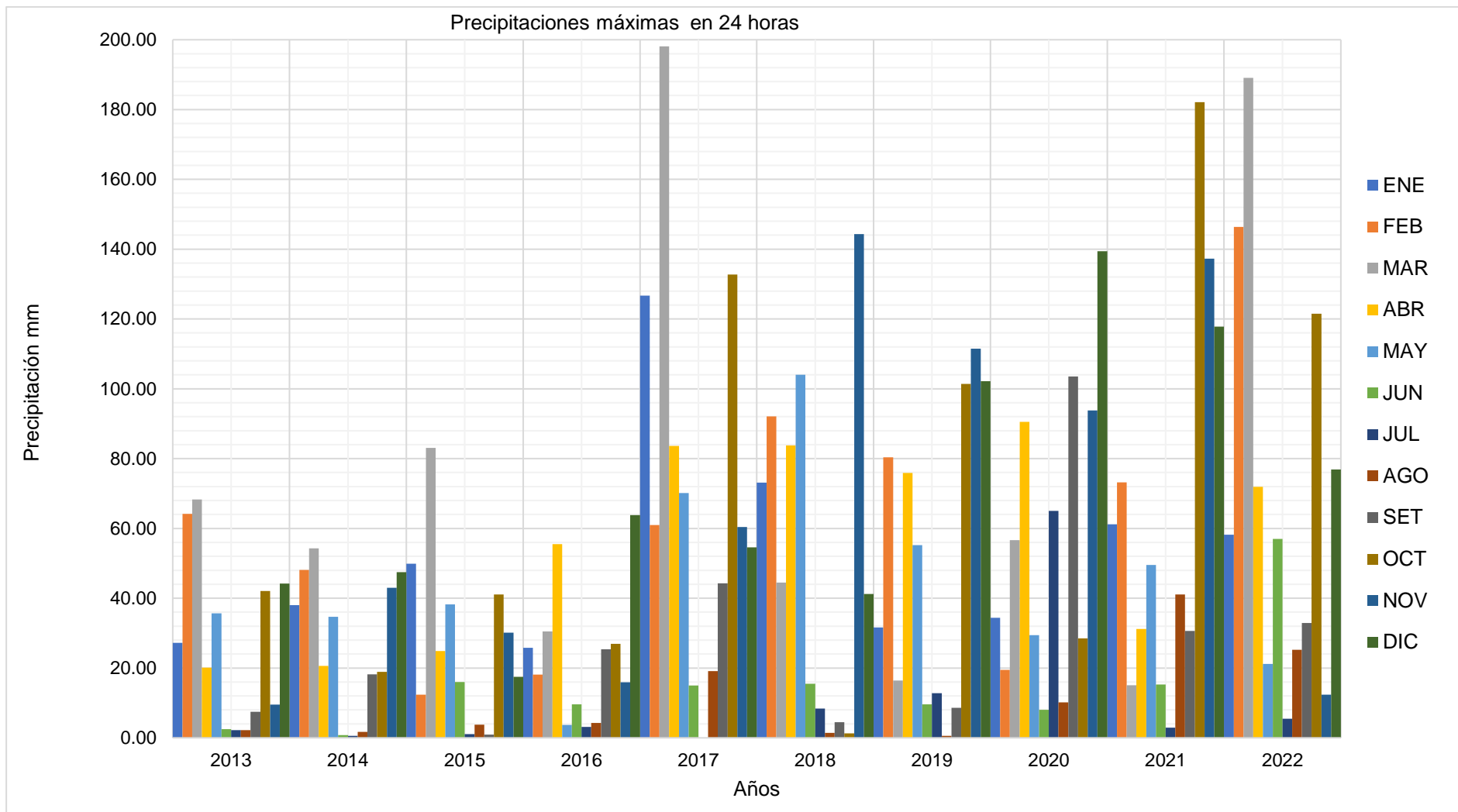


Figura 3.3. Diagrama estadístico meteorológico de la precipitación, desde año: 2013 a 2022.

Fuente: SENAMHI, 2023.

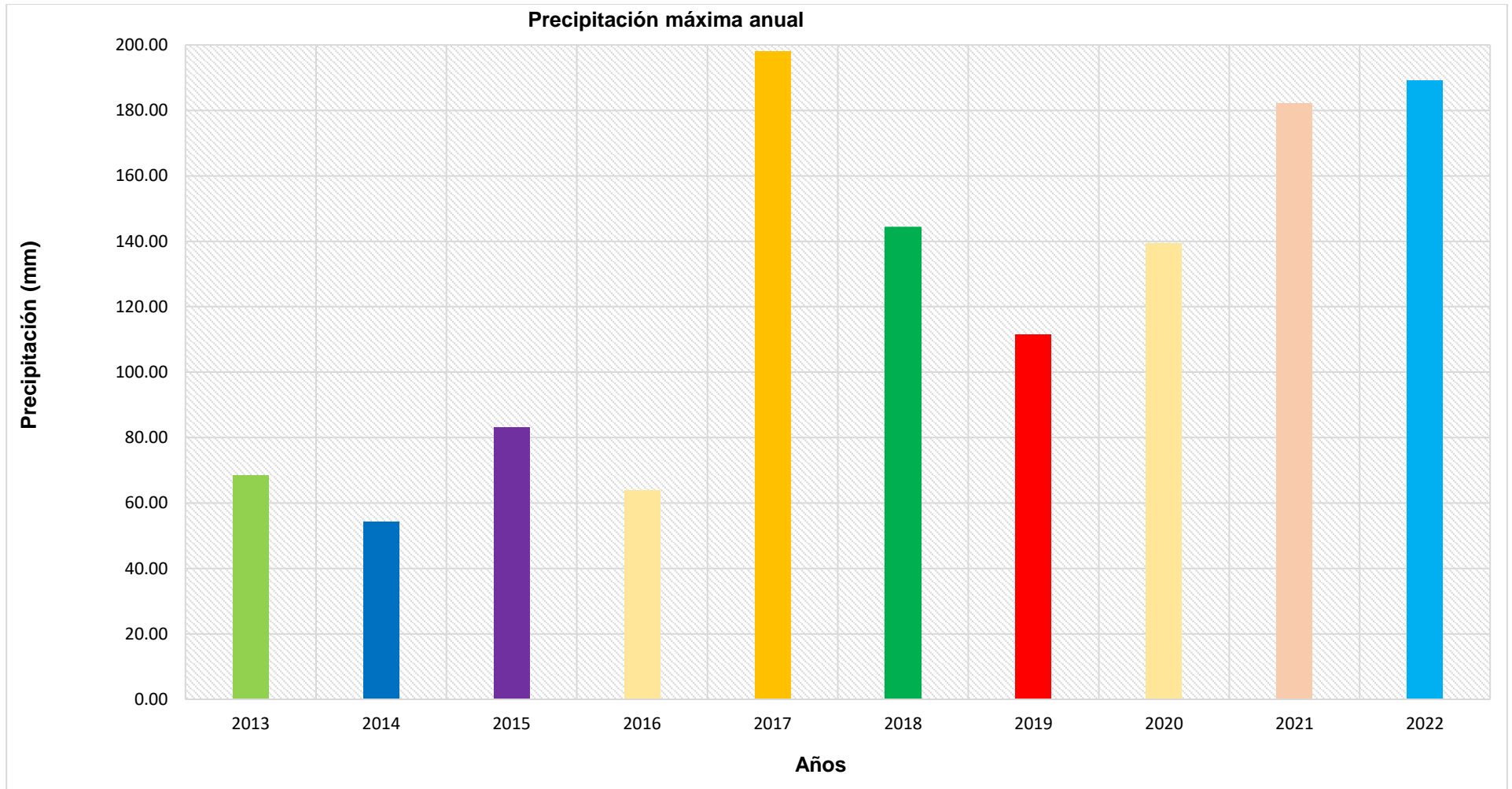


Figura 3.4. Histograma estadístico de la variación anual en relación a precipitación.

Fuente: SENAMHI, 2013-2022

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

Localmente está conformada por rocas: Mesozoicas - Cretáceo Superior al Cenozoicas - Cuaternario Reciente. Siendo emplazadas las operaciones mineras en basamentos rocosos de la Formación Cajamarca, originándose la formación hace 89.80 Ma., presentando orientación estratigráfica (Az/Bz) N62°/25°SE, ubicada en el flanco izquierdo del sinclinal con orientación SW-NE, conformado por secuencias estratigráficas de gruesos paquetes calcáreos de grano fino de color gris azulado, con patinas de oxidaciones en la superficie afectando la roca en algunos casos desde: 1 mm. a 3 mm., conformando el espesor: 0.40 m. a 1.20 m. formando bloques: Tabulares a cúbicos, a favor del tajo de explotación, conformada por rocas de buena calidad. La roca caliza presentando fracturamiento: Concoidal a ganchuda, en diferentes bancos calcáreos rocosos por la composición de la pureza calcárea del afloramiento. Sin embargo, también se evidencian huellas de bivalvos de longitud 2.50 cm. de vista dorsal, plasmados en la roca caliza. Por otra parte, se observan estilolitos, en el flanco oeste del tajo formado por contactos irregulares de simetría ondulada entre planos estratigráficos, producidos por la disolución de rocas calcáreas; cuando están sometidas a presiones elevadas presentando entre ambos planos de juntas materiales: Arcillosos y óxidos. Sin embargo, los Depósitos: Deluviales y Antrópicos, se encuentran distribuidos en el área de operaciones mineras, delimitando un área apropiada para la acumulación de depósitos residuales. Siendo estos depósitos formados, por la meteorización: Física, química y orgánica; del basamento rocoso como del mismo depósito residual, acumulándose progresivamente en las partes bajas y altas, de la zona de explotación de roca, sin embargo, los Depósitos Deluviales, se ubican en la parte superior del tajo de explotación siendo material de relleno de las zonas kársticas.



Figura 3.5. Tajo de explotación del frente del tajo este, conformado por bancos de secuencias estratigráficas de roca caliza.

3.5.1 Cretáceo Superior

- **Formación Cajamarca**

El basamento rocoso está conformado por rocas gris de orientación (Az/Bz) $N62^{\circ}/25^{\circ}SE$, ubicada en el Cretáceo Superior, conformada por rocas carbonatadas de pureza del 89% a 95% de carbonato de calcio, mejorando su porcentaje de pureza conforme van profundizando su extracción de la roca calcárea, presentando una densidad $2,6 \text{ g/cm}^3$. Así mismo está influenciada por estructuras sedimentarias como: Estratificación horizontal, estilolitos y fósiles. Sin embargo, el afloramiento presenta familias de discontinuidades Az/Bz: $N67^{\circ}/22SE$, $N318^{\circ}/84^{\circ}SW$, $N205^{\circ}/76^{\circ}SW$ y $N142^{\circ}/73^{\circ}SW$; que mejoran su extracción de roca, en el tajo de explotación, para la perforación y voladura y también para generar el porcentaje de ruptura de roca (Planar, cuña y vuelco), siendo muy variante el porcentaje de fragmentación por voladura.

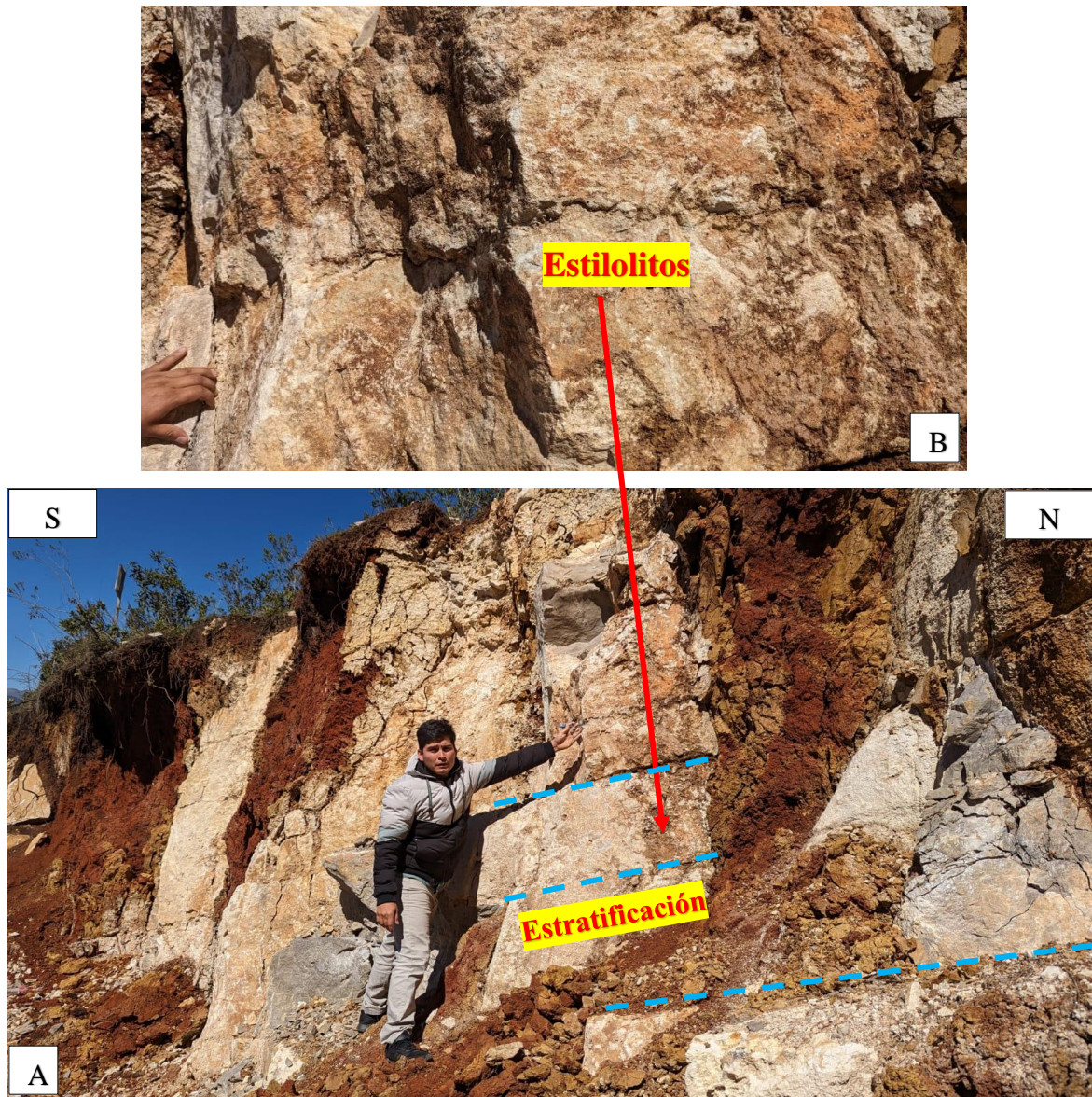


Figura 3.6. A. Frente de explotación conformado de paquetes calcáreos de espesor: 0.50 m. a 0.65 m. B. Estilolitos formados entre secuencia de estratos de caliza, formando irregulares de simetría ondulada en su superficie.

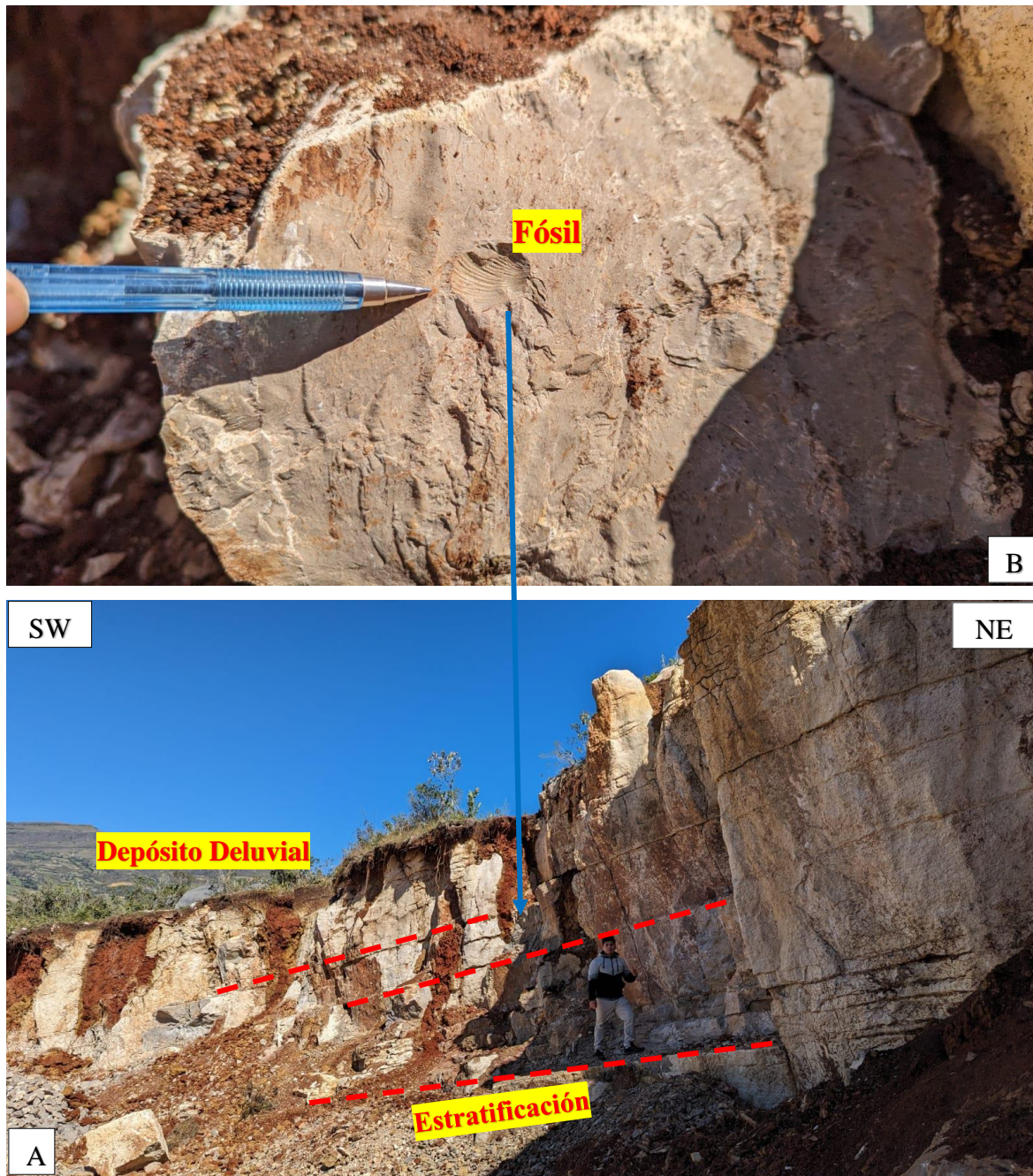


Figura 3.7. A. Frente del tajo Oeste conformado de paquetes calcáreos componentes. B. Ahuellamiento de fósil de Bivalvo emplazado en la roca calcárea.

3.5.2 Cuaternario – Holoceno

- **Depósito Deluvial**

Está conformado de material limo arcilloso de color: Anaranjado, rojizo a amarillento, acumulado por acción gravitatoria el Depósito Deluvial por su muy baja resistencia, con textura frágil y matriz englobante moderada de material fino,

constituyendo suelos de baja a alta plasticidad, siendo muy susceptible a cambios texturales por la escorrentía superficial, no presentando estratificación aparente, con espesor: 1.00 m. a 3.00 m. emplazados en las unidades geomorfológicas kársticas: Lápicos, dolinas, uvalas y simas; cubriendo las rocas de la Formación Cajamarca, conformando la zona vadosa. Sin embargo, la geomorfología a nivel regional se encuentra emplazado en: Planicies, lomadas, laderas y terrazas, constituidos por materiales altamente orgánicos de color negruzco, en su cobertura de 0.25 m. a 0.35 m.

- **Depósito Antrópico**

Está generado por la misma empresa minera por el desbroce de roca, distribuidos en la superficie del área: Explotación y beneficio, constituido por fragmentación gruesa y fina, caracterizada por contener: Bolones, bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, de esferoides: Angulosa a subangulosa; distribuidas de forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, englobando matriz arenosa que se distribuyen irregularmente, constituyendo conos de escombros. Generado por la sobre extracción de mineral no metálico del tajo de explotación, siendo acumulados en la parte baja del área de beneficio – desmontera, siendo muy susceptibles al transporte de sedimentos por escorrentía superficial o fuertes precipitaciones pluviales, logrando afectar la parte baja del área de estudio, por no tener controles adecuados de compactación en la desmontera compuesto por Depósitos Antrópicos.



Figura 3.8. Depósito Antrópico, compuesto por fragmentación: Gruesa a fina, obtenida del área de explotación y beneficio, acumulando 4 m³/semana en la desmontera, no presentando parámetros geotécnicos de compactación y depositación.

3.6 UNIDADES MORFOGENÉTICAS

Regionalmente los alineamientos de erosión superficial fueron realizados por agentes: Climáticos, químicos y biológicos, definiendo el modelamiento superficial actualmente por medio de geoformas: Planicies, lomadas, laderas, escarpas, montañas. Constituyendo solo dos unidades geomorfológicas el área de las operaciones mineras como: **Lomadas**, según Rodríguez (2016) las lomadas presentan pendientes que oscilan: 8° - 20°, ubicándose al N de las instalaciones mineras conformando el tajo de explotación, constituyendo un área de 5,514.37 m². (33.60%), presentando superficies onduladas a subredondeadas, siendo emplazada en el basamento rocoso de la Formación Cajamarca de la geomorfología Kárstica: Dolinas, uvalas, lenares y simas, presentando acumulaciones de Depósitos Deluviales las simas de las geoformas Kársticas, presentado profundidades de conductos verticales con profundidad: 2.50 m. a 3.50 m., y ancho 0.80 m. a 1.50 m.; y **Laderas** se ubican al S conformando la parte mayoritaria constituida por 10,898.94 m². (66.40%) de área, comprendiendo el área: Explotación y beneficio, conformada por: Cantera, oficina, playa de estacionamiento, acopio de carbón, horno de calcinación, servicios higiénicos,

caseta de guardianía, comedor, hospedaje, acopio de carbón, residuos sólidos, almacén de sustancias peligrosas, almacén de herramientas, almacén de cal hidratada, descarga de cal, molienda, almacén de cal granulada, trinchera y desmontera; litológicamente se encuentra emplazada en roca calcárea y depósitos cuaternarios, variando por su composición estratigráfica.

Cuadro 3.3. Unidades morfogénicas del área de explotación de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.

Unidad Morfogénica	Área (m ²)	Área (%)
Planicies	-----	-----
Lomadas	5 514.37	33.60
Laderas	10898.94	66.40
Escarpas	-----	-----
Total	16 413.31	100

Fuente: Rodríguez, (2016).

Cuadro 3.4. Eventos de litológicos relacionados con las unidades morfogénicas del área de explotación de la empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.

Tipo de relieve	Geometría	Litología	Origen	Edad de la litología			
Unidad morfogénica	Pendiente	Asociada a su composición	Asociado al evento	Periodo	Época	Edad	%
Planicies	0° - 7°	-	-	-	-	-	00.00
Lomadas	7° - 14°	Dep. Deluvial y Fm. Cajamarca	Acumulación y meteorización	Cuaternario - Cretáceo	Holoceno - Superior	Versilia no - Turonia no	33.60
Laderas	14° - 25°	Dep.: Deluvial y Antrópico, y Fm. Cajamarca	Meteorización y erosión	Cuaternario - Cretáceo	Holoceno - Superior	Versilia no - Turonia no	66.40
Escarpas	25° - 50°	-	-	-	-	-	00.00
Montaña	50° - 90°	-	-	-	-	-	00.00
Total							100

3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

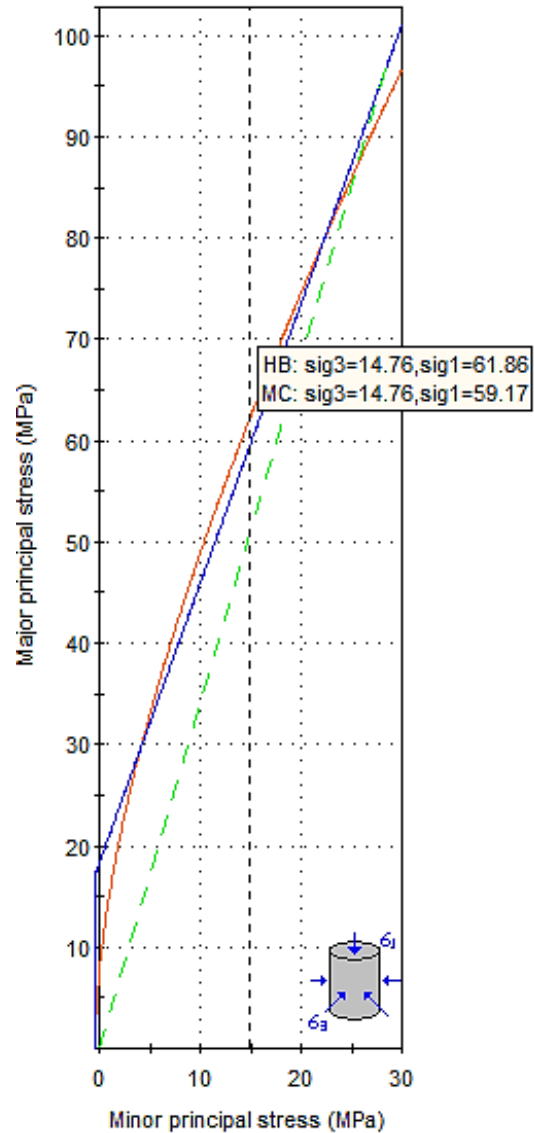
Las geoestructuras del área de investigación lo dividen: Mayores y menores. Las estructuras mayores están relacionadas con la tectónica de cordillera andina, ubicándose las instalaciones mineras en el flanco izquierdo del sinclinal - Apan Bajo de orientación WNW-ESE, del eje originando plegamiento del Cretáceo: Superior e Inferior, variando su $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE; presentando plegamientos apretados, hallando estructuras anchas que tienen la geometría de domos y cuencas, relacionándose con la cuenca de Chota limitada por la orientación SW y NE. Por lo contrario, las fallas inversas y pliegues son concéntricos son debido a las secuencias gruesas: Calcáreas y areniscosas del basamento. Sin embargo, las estructuras menores fueron definidas por cuatro discontinuidades definidas por (Az/Bz): $N67^\circ/22^\circ$ SE, $N318^\circ/84^\circ$ SW, $N205^\circ/76^\circ$ SW y $N142^\circ/73^\circ$ SW; formando eventos geodinámicos como caídas de rocas de forma: Tabular, cúbica y prismática, de tamaño: 0.50 m. a 0.80 m. por diaclasamientos: Verticales, inclinados a horizontales por la sobre excavación del frente de explotación por: Intersección de juntas y polos, constituyendo rupturas: Planar, cuña y vuelco; siendo la discontinuidad principal la estratificación de orientación (Az/Bz) $N62^\circ/25^\circ$ SE.

3.8 ANALISIS GEOMECANICO Y DE PARAMETROS DE RESISTENCIA.

El cartografiado geomecánico del tajo se basó en estaciones geomecánicas, donde se consideraron las aplicaciones de la ingeniería de rocas basadas en clasificaciones geomecánicas: Índice de calidad de roca (RQD), valoración de la masa rocosa (RMR) y índice geológico de resistencia (GSI). Siendo reforzado con softwares numéricos como: RocData, Dips, Swedge y RocPlane; obteniendo información cuantitativa relacionada con: Probabilidad de ruptura y factor de seguridad, por geoestructuras que forma el afloramiento rocoso tipo: Tabular y cúbico. Fundamentadas por la combinación de criterios de rotura: Hoek-Brown (H-B) y Morh-Coulomb (M-C); para ingresar información procesada a los métodos de equilibrio limite; así definiendo el grado: Inestabilidad o estabilidad del tajo de explotación o también el método de explotación y diseño geométrico de tajo.

3.8.1 Estación Geomecánica EG-01

Está ubicada en el tajo E, constituido por rocas calizas gris azuladas de grano fino con superficies inalteradas formando bloques competentes tabulares de espesor: 0.50 m. a 0.80 m., con persistencia 10.00 m. a 15.50 m., constituido por tres familias de discontinuidades Az/Bz: $N60^{\circ}/22^{\circ}SE$, $N35^{\circ}/85^{\circ}SE$ y $N322^{\circ}/51NE^{\circ}$; presentando superficies frescas en la cara libre. Sin embargo, la secuencia estratigráfica presenta materiales como rellenos arcillosos de color plomizo a amarillento de espesor: 2 mm. a 5 mm. Sin embargo, para obtener la calidad de roca se utilizó las clasificaciones empíricas: $RQD = 84.42$, $RMR = 73$ y $GSI = 68$; siendo el afloramiento rocoso de calidad buena, utilizando el mapeo por línea de detalle – método lineal. Geométricamente el talud presenta pendiente moderadas desde: 55° a 65° y altura 8.00 m. emplazado en la unidad geomorfológica lomadas, cinemáticamente aplicando el modelo matemático Dips se obtuvo probabilidades de rupturas: Planares (4.44%, relacionado con D-1, definiendo solo 2 juntas críticas de 45 familias como total), cuña (5.57%, relacionado con D-1 y D-2, formando 55 intersecciones críticas del total de 988) y vuelco (31.11%, relacionado con D-2, planos en la base formando 14 intersecciones críticas del total de 45); con valores muy bajos relacionados con la estabilidad, salvo la ruptura por vuelco generando valores intermedios de inestabilidad.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 120 MPa

GSI = 68 m_i = 12 Factor de disturbancia = 1.00

Módulo intacto (E_i) = 96,000 MPa

Modulus ratio (MR) = 800

Criterio Hoek - Brown

m_b = 1.22 s = 0.0048 a = 0.501

Morh - Coulomb

Cohesión = 5.58 MPa Ángulo de fricción = 27.85°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.47 MPa

Resistencia compresión uniaxial = 8.27 MPa

Resistencia global = 18.53 MPa

Módulo de deformación = 18,531.31 MPa

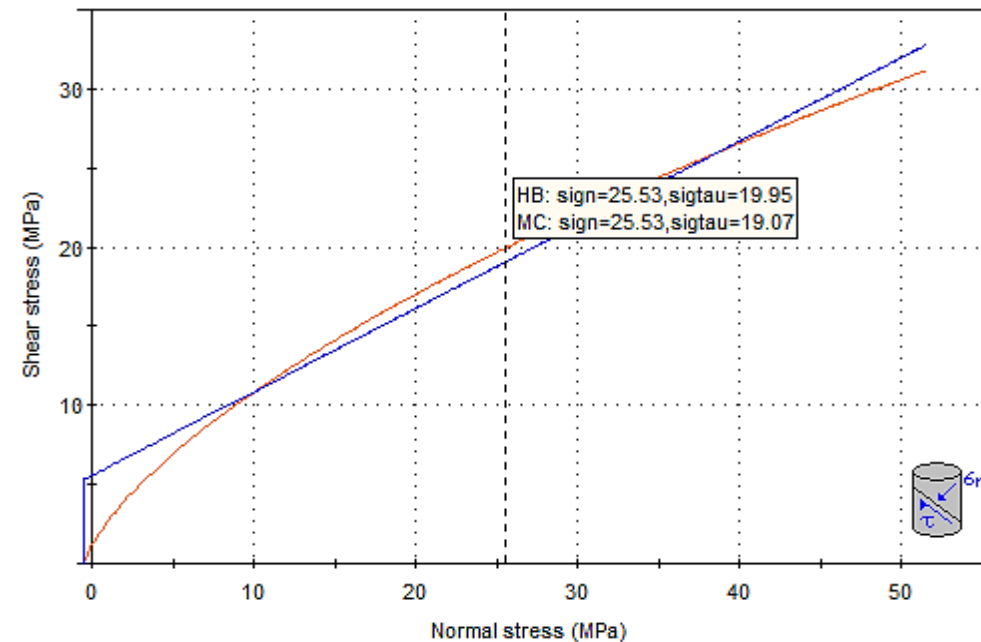
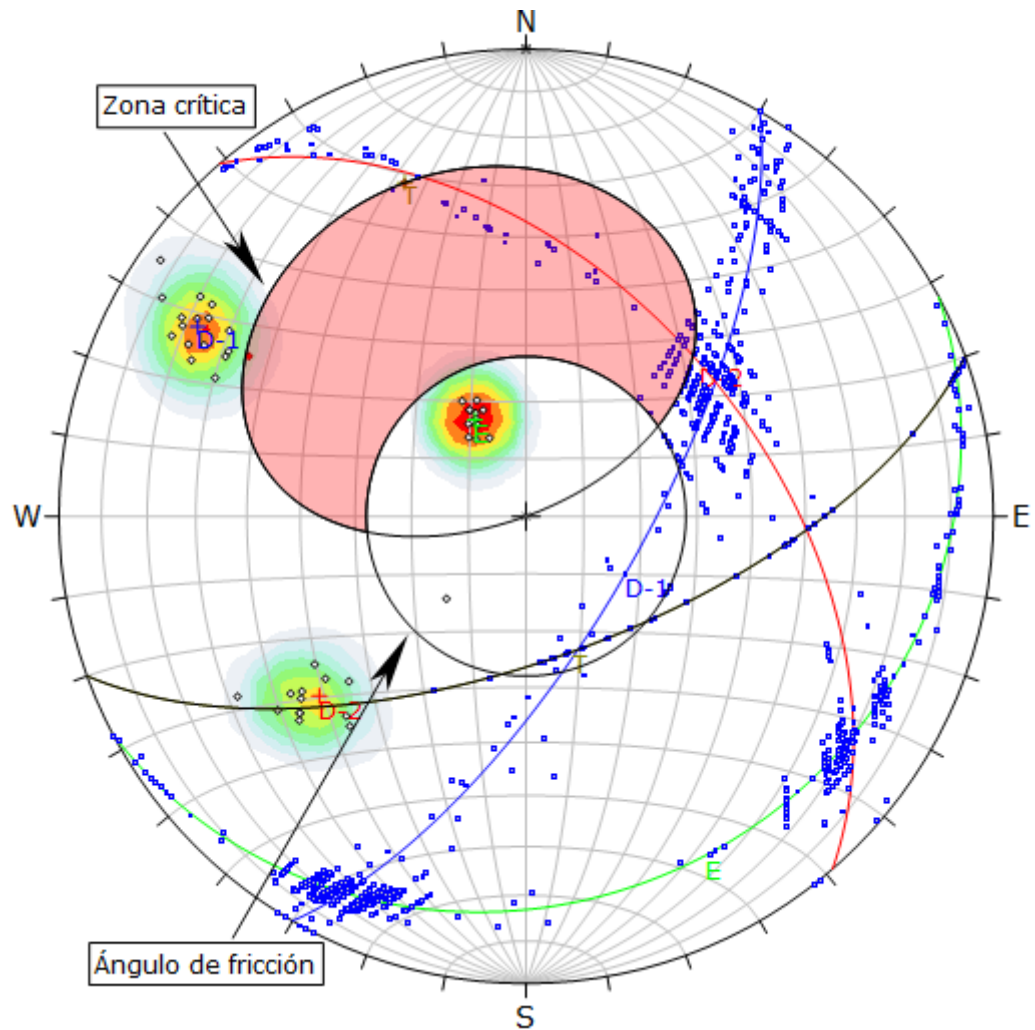
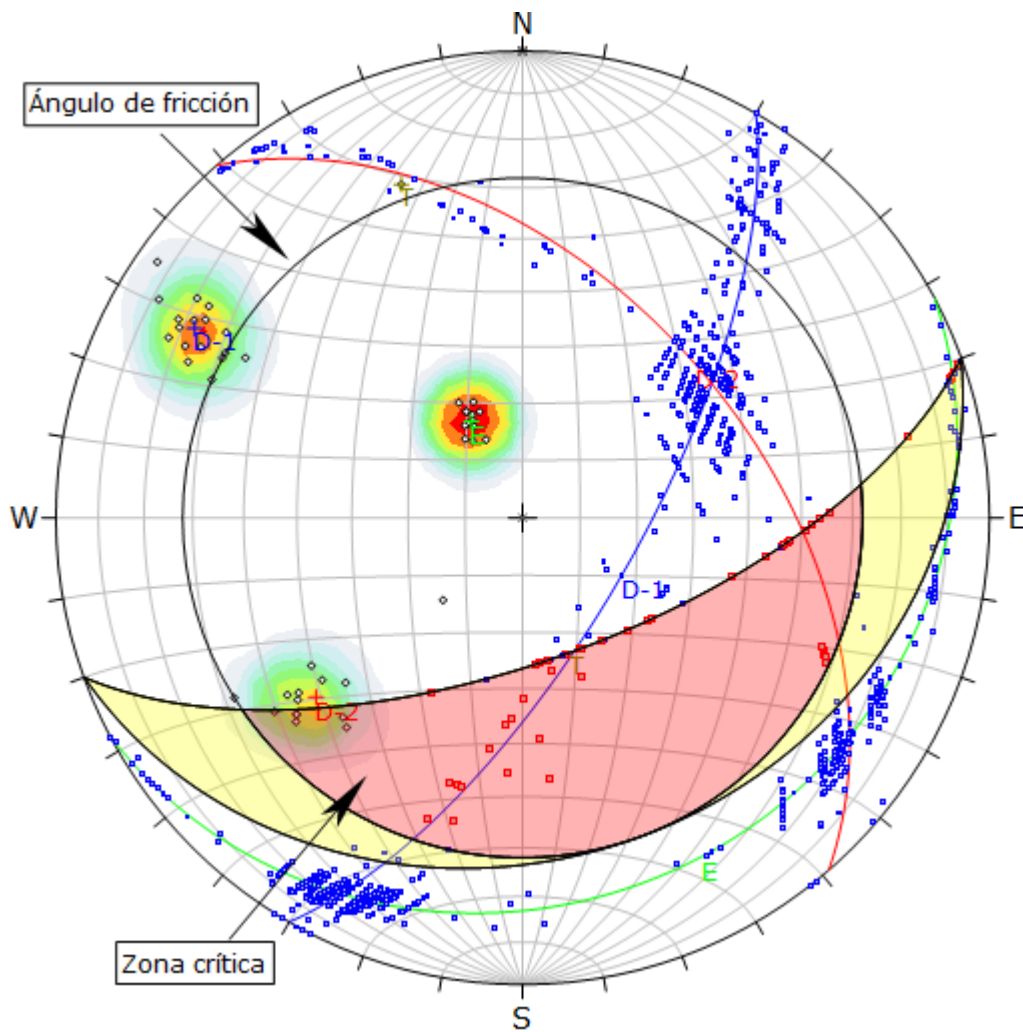


Figura 3.9. Estación geomecánica EG-01 muestra la Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb).



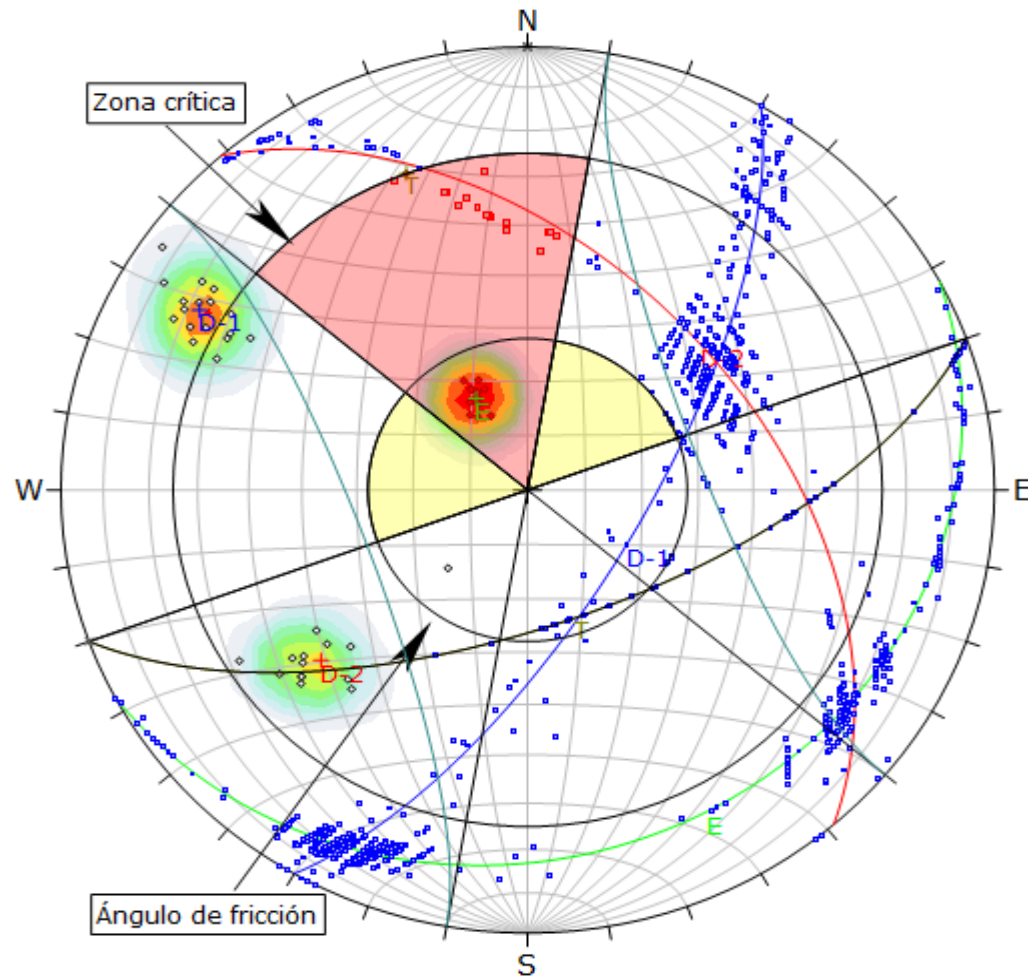
Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.90		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density	28.03%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	65°		
Slope Dip direction	160°		
Friction angle	28°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	2	45	4.44%
	Color	Dip	Dip direction
	User planes		
1	19°	152°	E
2	70°	120°	D-1
3	49°	49°	D-2
4	65°	160°	T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	988		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.10. Estación geomecánica EG-01. según D-1 tenemos una probabilidad de ruptura planar de 4.44%.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.90		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximum density		28.03%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		65°	
Slope Dip direction		160°	
Friction angle		28°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	55	988	5.57%
	Color	Dip	Dip direction
			Label
User planes			
1	■	19°	152° E
2	■	70°	120° D-1
3	■	49°	49° D-2
4	■	65°	160° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		988	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

Figura 3.11. Estación geomecánica EG-01 segun E y D-2; nos da una probabilidad de ruptura por cuña de 5.57%.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.90		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density	28.03%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Direct toppling		
Slope dip	65°		
Slope Dip direction	160°		
Friction angle	28°		
Lateral milits	30°		
	Critical	Total	%
Direct toppling (Intersection)	21	988	2.13%
Oblique toppling (Intersection)	0	988	0.00%
Base plane (All)	14	45	31.11%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	19°	152° E
2	■	70°	120° D-1
3	■	49°	49° D-2
4	■	65°	160° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	988		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.12. Estación geomecánica EG-01 según D-2 tenemos Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 31.11%.

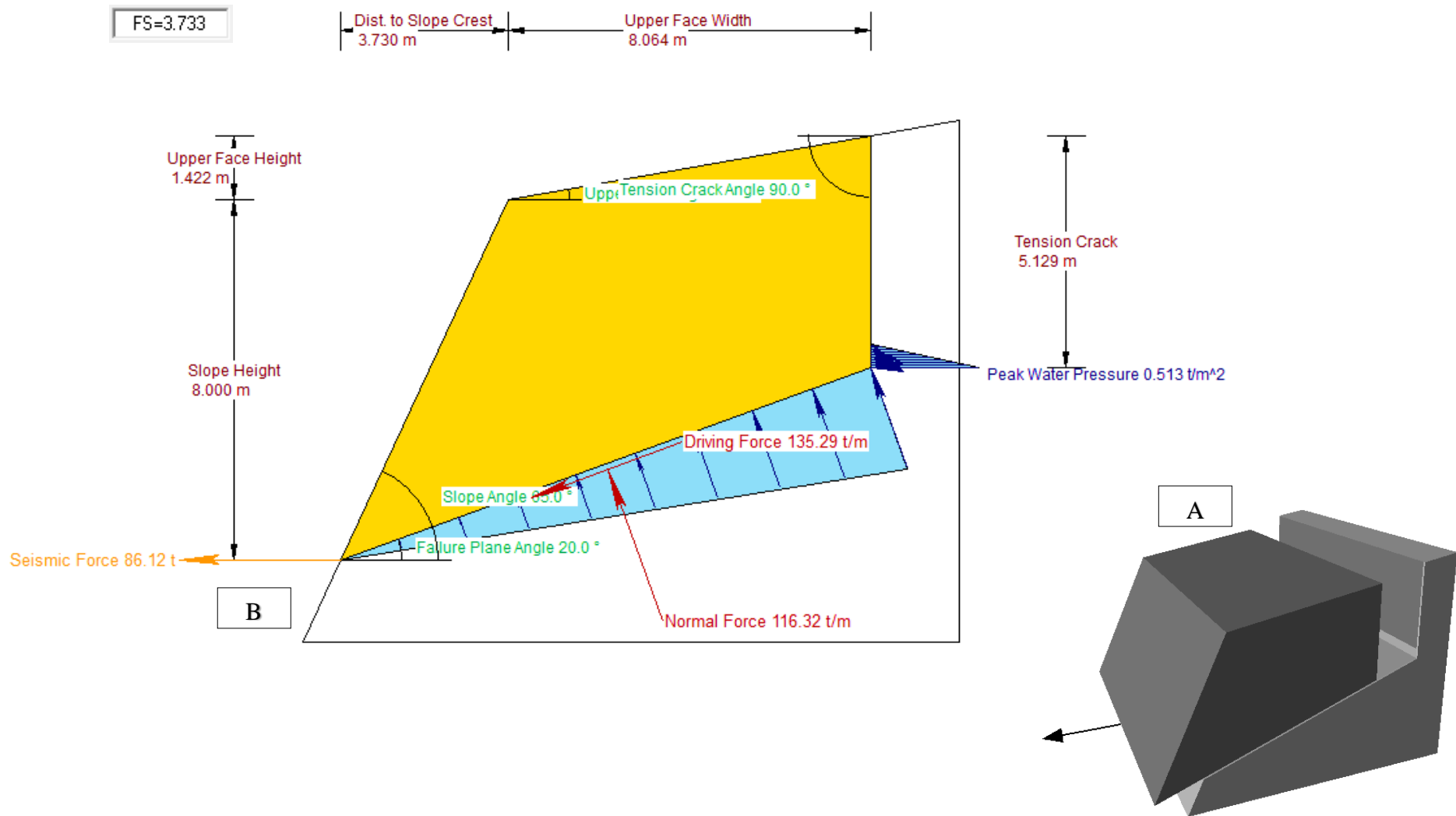


Figura 3.13. Estación geomecánica EG-01. Encontramos que A. Block diagrama 3D - ruptura planar (D-1) y simetría del talud, con vectores de desplazamiento. B. Dimensionamiento en 2D por ruptura planar en tensiones efectivas + sismicidad, saturado: V y U; con FS = 3.733.

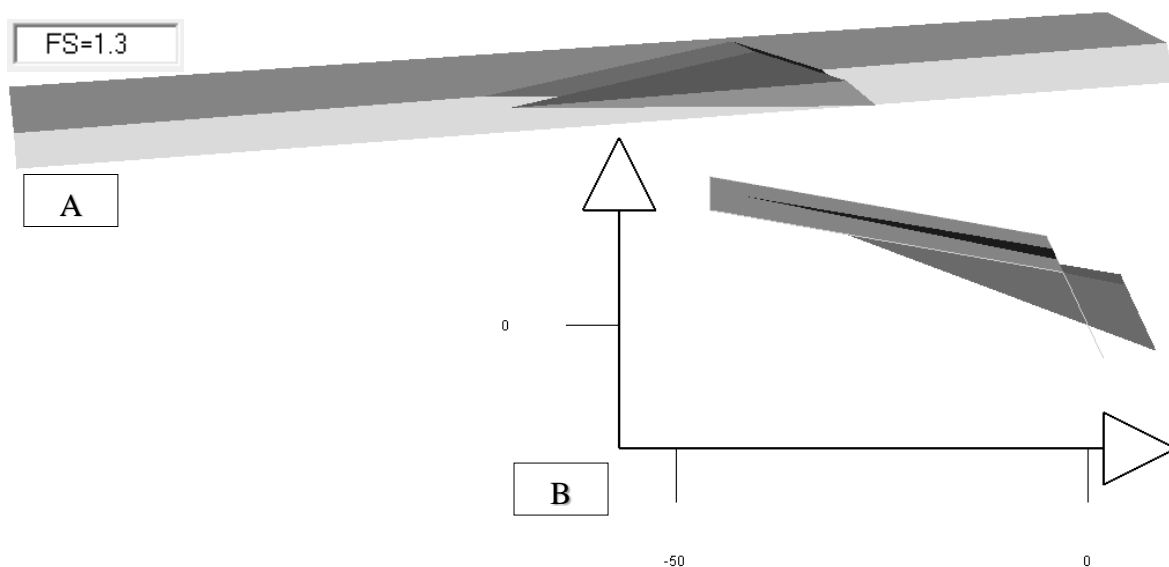
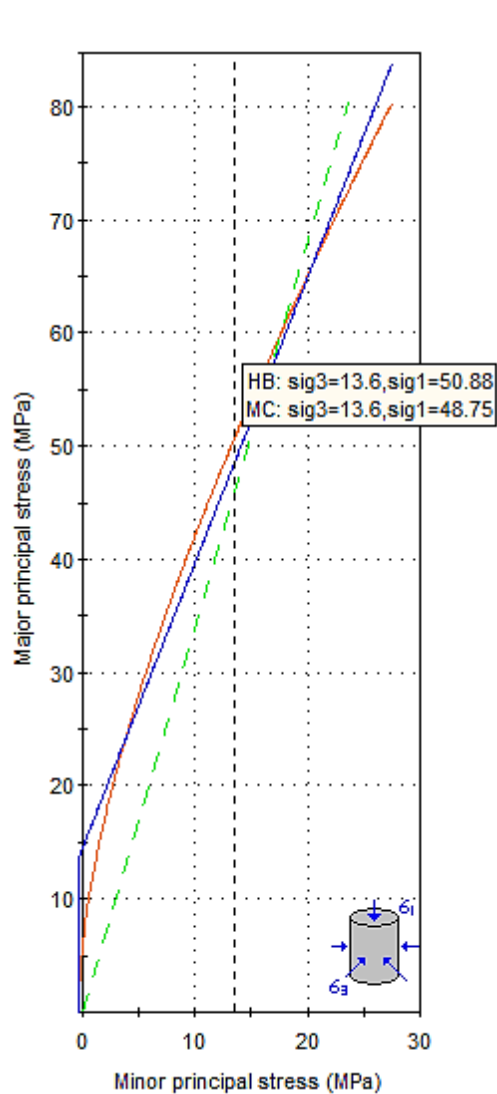


Figura 3.14. Estación geomecánica EG-01. se visualiza A. Vista frontal del block diagrama 3D - ruptura por cuña (E y D-2) y simetría del talud. B. Vista perfil del dimensionamiento de la ruptura por cuña en tensiones efectivas + sismicidad; con FS = 1.30.

3.8.2 Estación Geomecánica EG-02

El tajo N, está conformado por rocas competentes, con blocosidad tabulares de espesor: 0.30 m. a 0.60 m. y persistencia 8.00 m. a 12.50 m., constituido por tres familias de discontinuidades presentando superficies frescas en la cara libre. Sin embargo, la secuencia estratigráfica presenta materiales arcillosos como rellenos de color plomizo. Cinemáticamente el modelo matemático Dips se obtuvo probabilidades de rupturas: Planares (2.22%, relacionado con D-1), cuña (4.14%, relacionado con D-1 y D-2) y vuelco (40.00%, relacionado con D-1 y D-2); presentando valores geométricos del tajo: $\Psi_T = 78^\circ$ y $H_T = 10.50$ m.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 110 MPa

GSI = 64 m_i = 12 Factor de disturbancia = 1.00

Módulo intacto (E_i) = 82,500 MPa

Modulus ratio (MR) = 750

Criterio Hoek - Brown

m_b = 0.92 s = 0.0025 a = 0.503

Morh - Coulomb

Cohesión = 4.55 MPa Ángulo de fricción = 25.61°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.30 MPa

Resistencia compresión uniaxial = 5.41 MPa

Resistencia global = 14.44 MPa

Módulo de deformación = 12,743.83 MPa

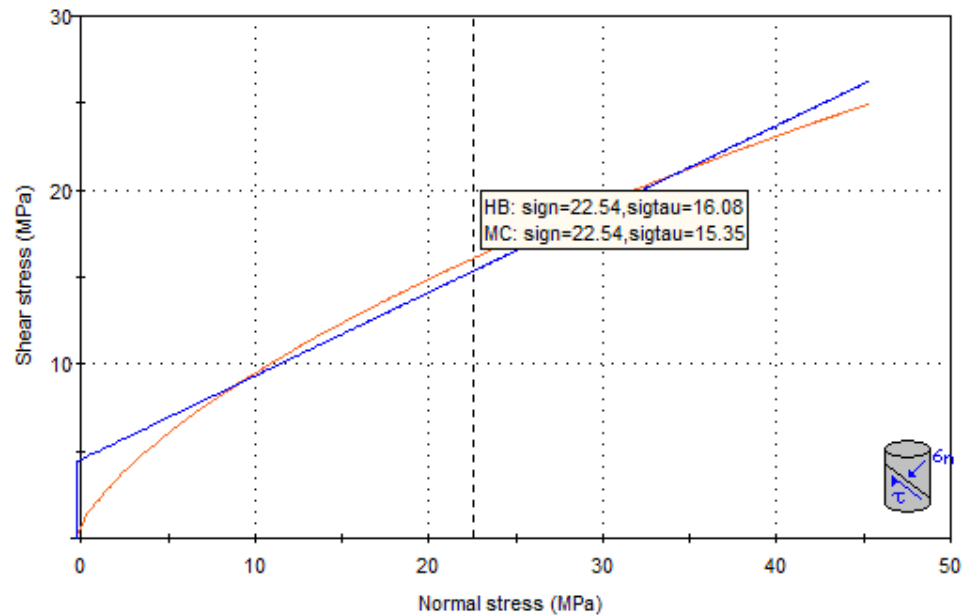
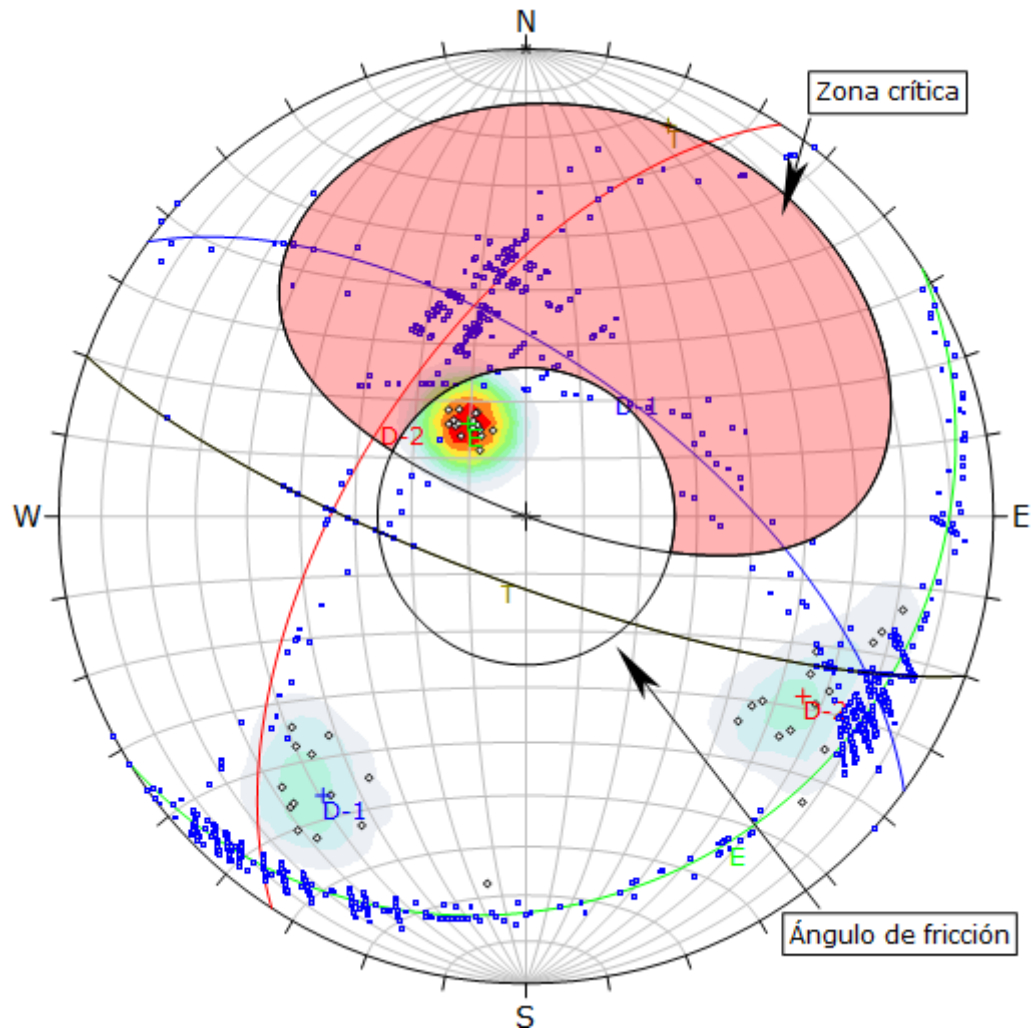


Figura 3.15. Estación geomecánica EG-02. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.70		
	3.70 - 7.40		
	7.40 - 11.10		
	11.10 - 14.80		
	14.80 - 18.50		
	18.50 - 22.20		
	22.20 - 25.90		
	25.90 - 29.60		
	29.60 - 33.30		
	33.30 - 37.00		
Maximun density	36.5%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	78°		
Slope Dip direction	200°		
Friction angle	26°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	1	45	2.22%
	Color	Dip	Dip direction
	User planes		
1	■	19°	148° E
2	■	63°	36° D-1
3	■	60°	303° D-2
4	■	78°	200° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	990		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.16. Estación geomecánica EG-02.sehun D-1 tenemos una Probabilidad de ruptura planar 2.22%.

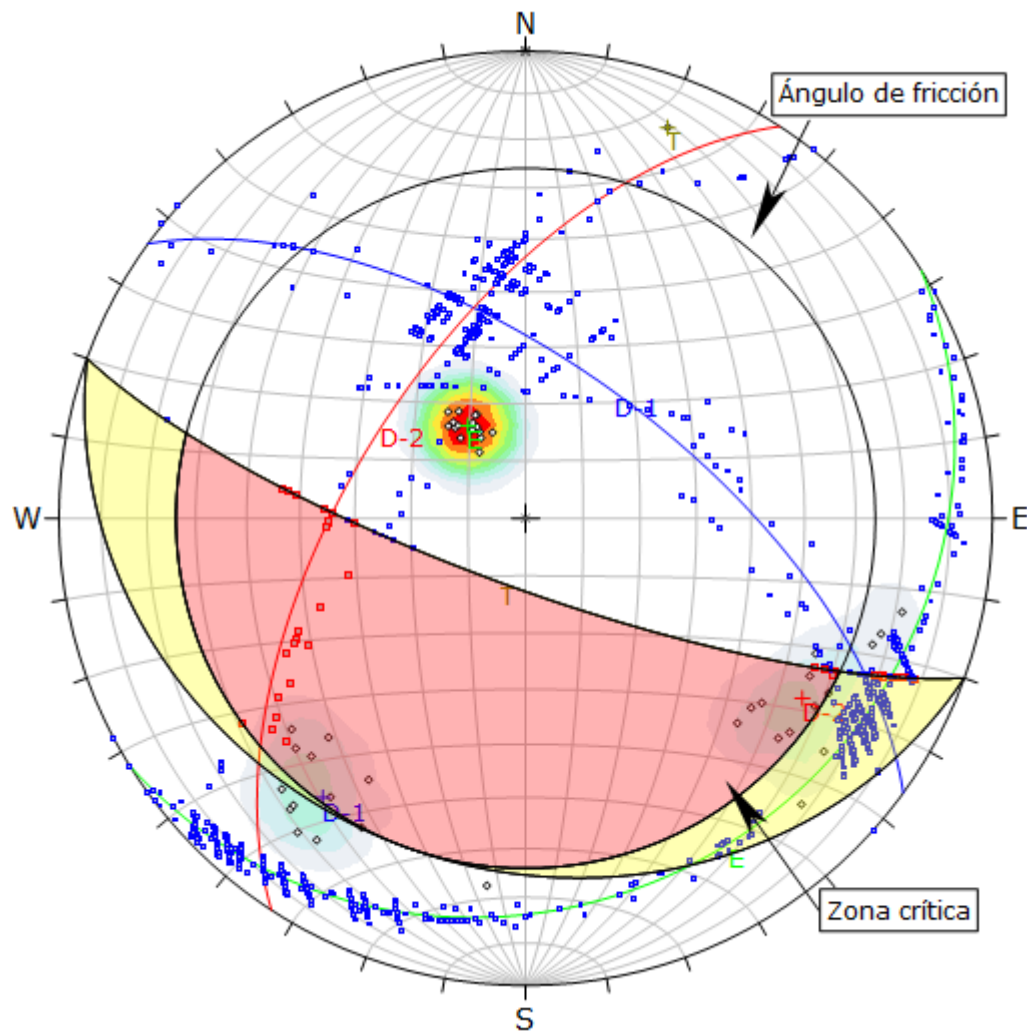
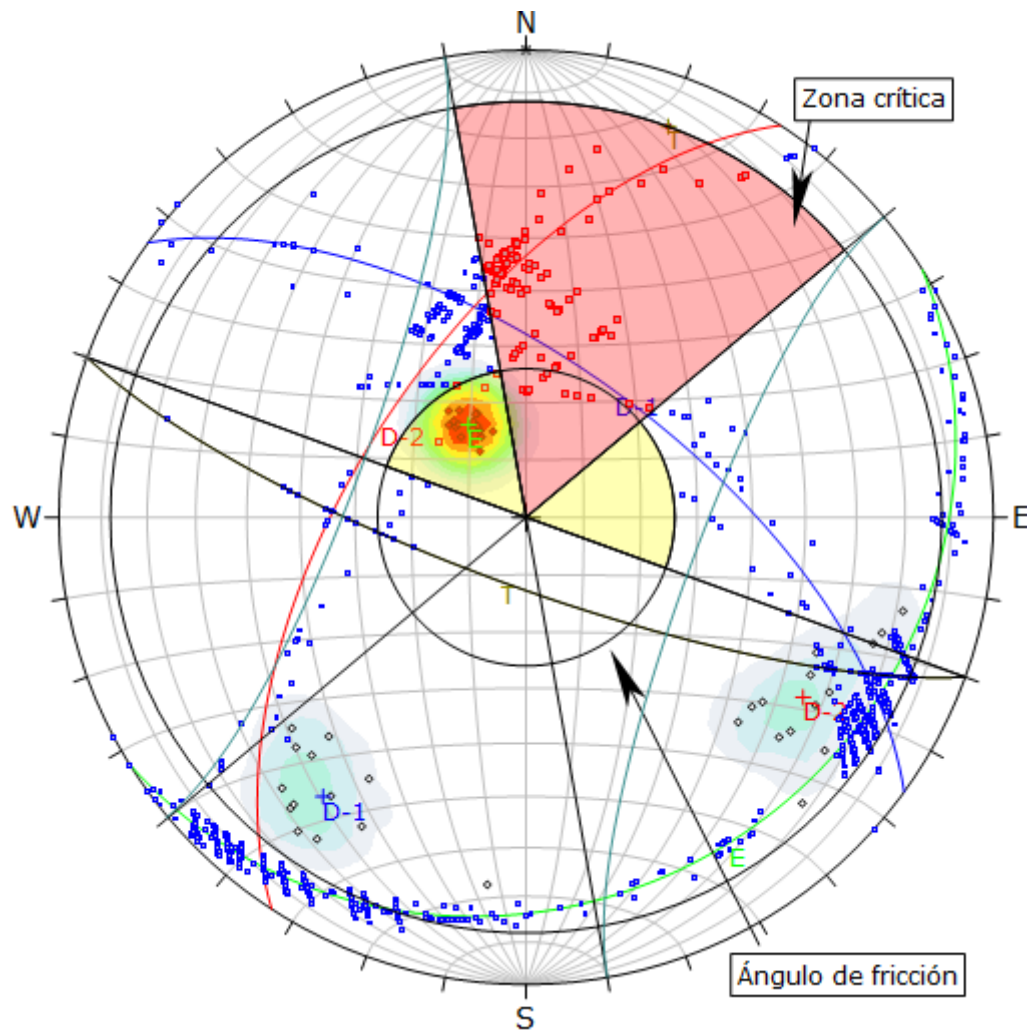


Figura 3.17. Estación geomecánica EG-02 según D-1 y D-2, tenemos una probabilidad de ruptura en cuña con 4.14%.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
■	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.70			
	3.70 - 7.40			
	7.40 - 11.10			
	11.10 - 14.80			
	14.80 - 18.50			
	18.50 - 22.20			
	22.20 - 25.90			
	25.90 - 29.60			
	29.60 - 33.30			
	33.30 - 37.00			
Maximum density		36.50%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		78°		
Slope Dip direction		200°		
Friction angle		26°		
		Critical	Total	%
Wedge sliding		41	990	4.14%
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	19°	148°	E
2	■	63°	36°	D-1
3	■	60°	303°	D-2
4	■	78°	200°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		990		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.70		
	3.70 - 7.40		
	7.40 - 11.10		
	11.10 - 14.80		
	14.80 - 18.50		
	18.50 - 22.20		
	22.20 - 25.90		
	25.90 - 29.60		
	29.60 - 33.30		
	33.30 - 37.00		
Maximun density	36.50%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Direct toppling		
Slope dip	78°		
Slope Dip direction	200°		
Friction angle	26°		
Lateral milits	30°		
	Critical	Total	%
Direct toppling (Intersection)	123	990	12.42%
Oblique toppling (Intersection)	5	990	0.51%
Base plane (All)	18	45	40.00%
	Color	Dip	Dip direction
	User planes		
1	■	19°	148°
2	■	63°	36°
3	■	60°	303°
4	■	78°	200°
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	990		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.18. Estación geomecánica EG-02 según D-1 y D-2; tenemos una probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 40.00%.

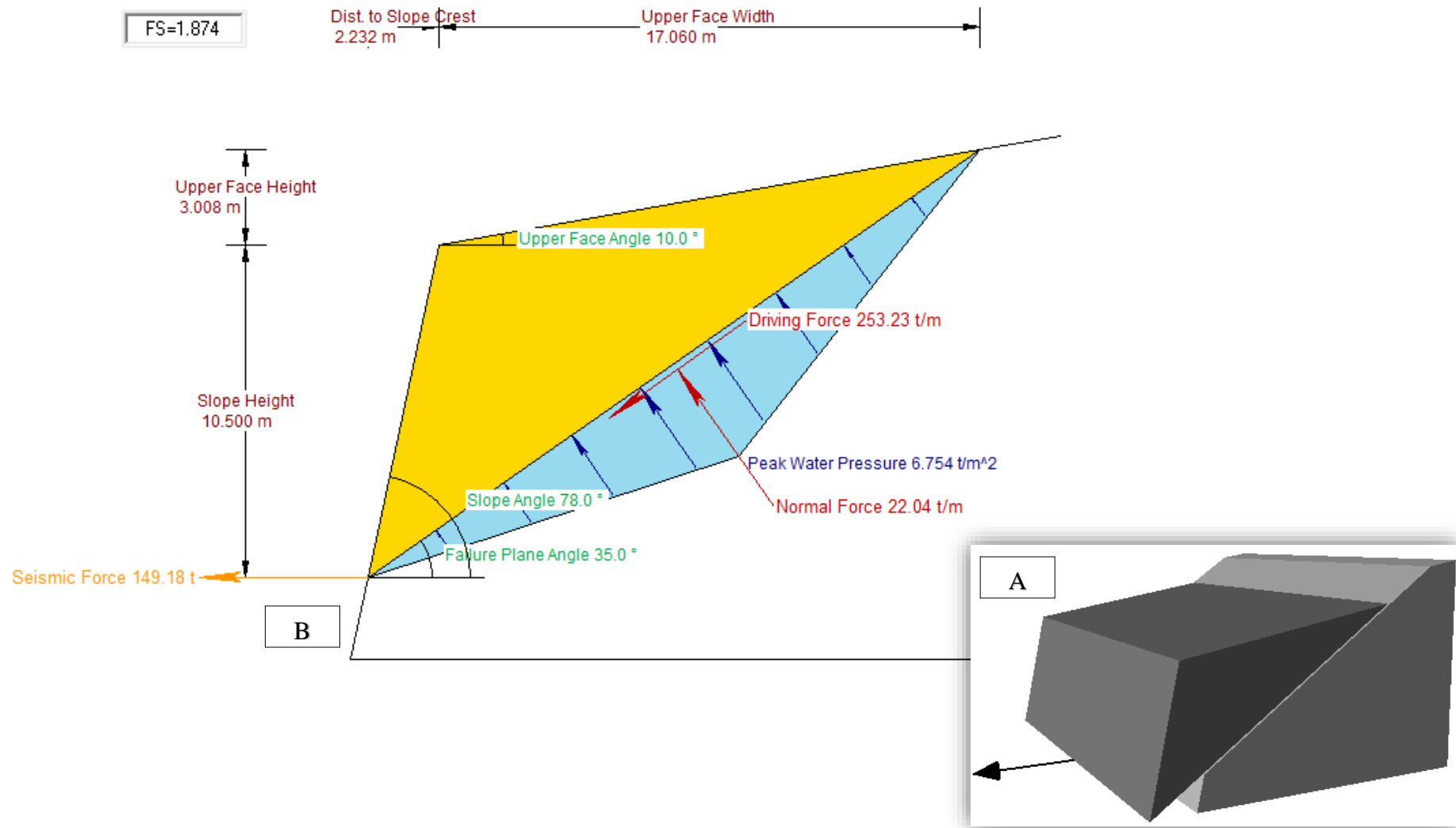


Figura 3.19. Estación geomecánica EG-02. Se visualiza A. Block diagrama 3D - ruptura planar (D-1) y simetría del talud, con vectores de desplazamiento. B. Dimensionamiento en 2D por ruptura planar en tensiones efectivas + sismicidad, saturado U; con FS = 1.874.

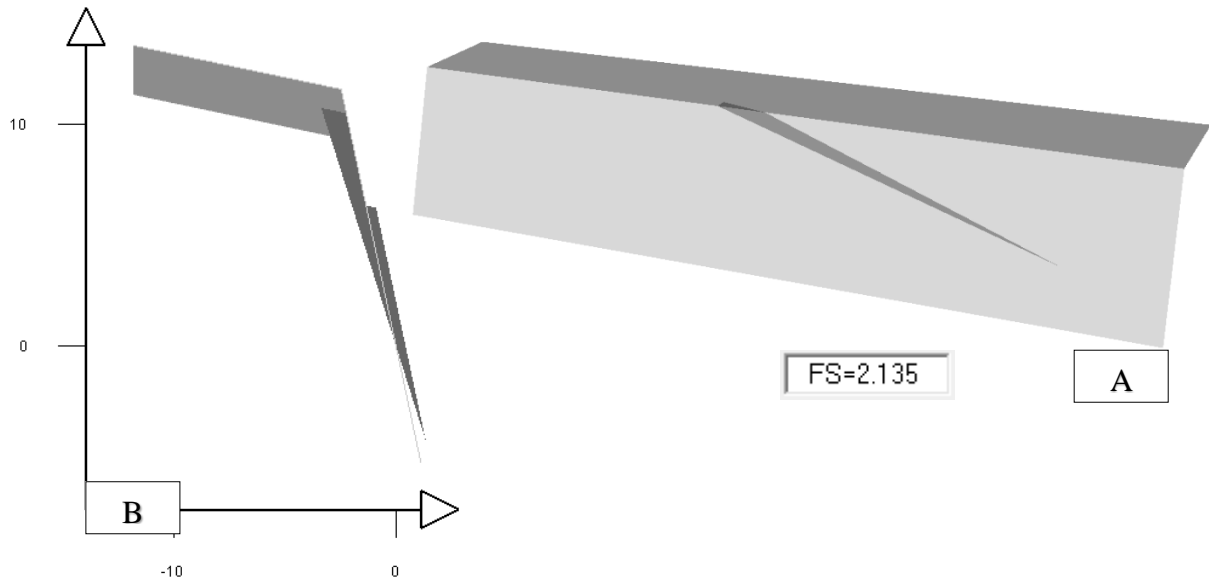


Figura 3.20. Estación geomecánica EG-02. se tiene que A. Vista frontal del block diagrama 3D - ruptura por cuña (D-1 y D-2) y simetría del talud. B. Vista perfil del dimensionamiento de la ruptura por cuña en tensiones efectivas + sismicidad; con FS = 2.135.

3.8.3 Estación Geomecánica EG-03

El tajo W, está conformado por rocas competentes, con blocosidad tabulares de espesor: 1.00 m. a 1.10 m. y persistencia 4.00 m. a 10.50 m., constituido por tres familias de discontinuidades presentando superficies medianamente alteradas. Sin embargo, la secuencia estratigráfica presenta materiales arcillosos como rellenos de color amarillento. Cinemáticamente el modelo matemático Dips se obtuvo probabilidades de rupturas: Planares (22.22%, relacionado con D-1), cuña (21.31%, relacionado con D-1 y D-2) y vuelco (37.78%, relacionado con D-1); con valores geométricos de tajo: $\Psi_T = 65^\circ$ y $H_T = 13.00$ m.

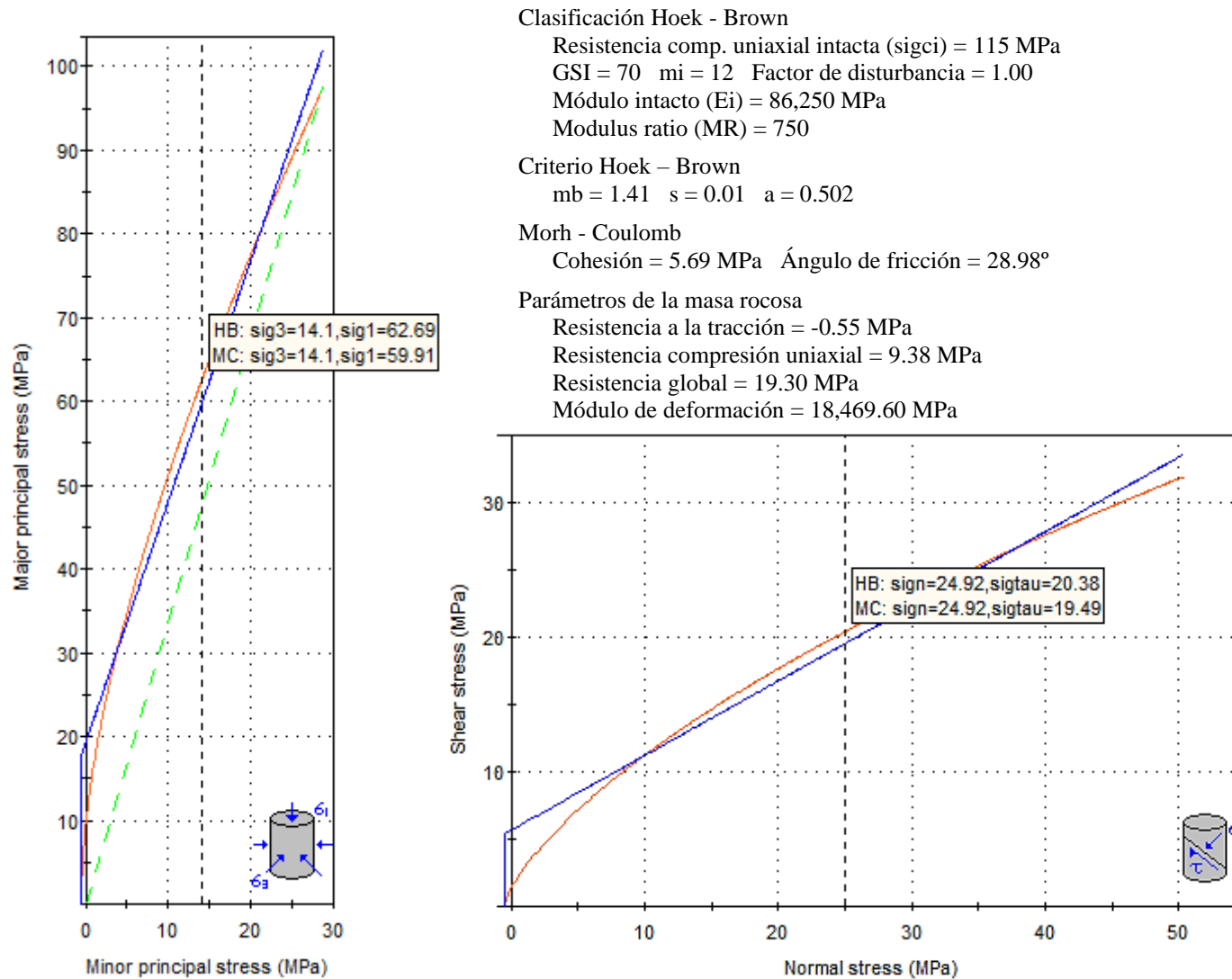
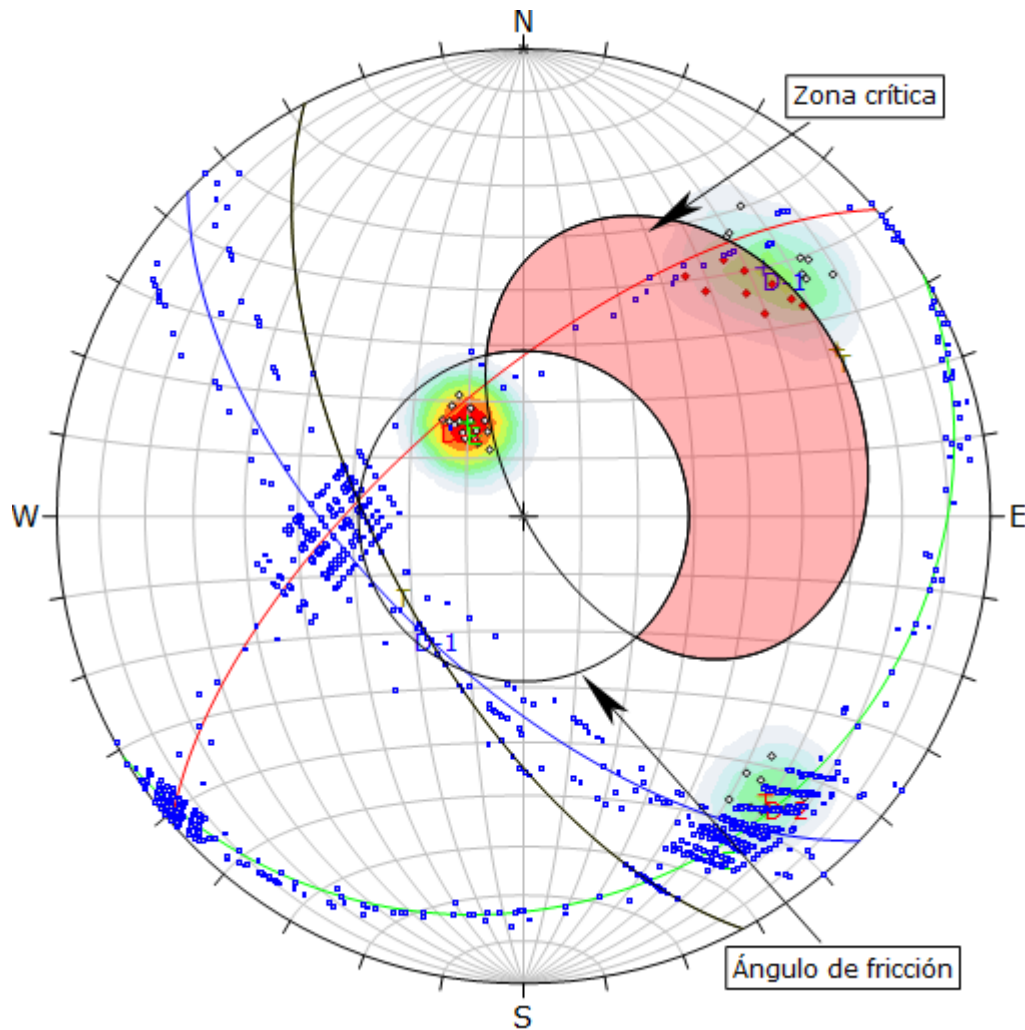


Figura 3.21. Estación geomecánica EG-03. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.60		
	3.60 - 7.20		
	7.20 - 10.80		
	10.80 - 14.40		
	14.40 - 18.00		
	18.00 - 21.60		
	21.60 - 25.20		
	25.20 - 28.80		
	28.80 - 32.40		
	32.40 - 36.00		
Maximun density	35.97%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	65°		
Slope Dip direction	242°		
Friction angle	29°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	10	45	22.22%
	Color	Dip	Dip direction
			Label
User planes			
1	■	19°	149° E
2	■	63°	224° D-1
3	■	68°	319° D-2
4	■	65°	242° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	990		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.22. Estación geomecánica EG-03 según D-1, se obtiene una probabilidad de ruptura planar 22.22%.

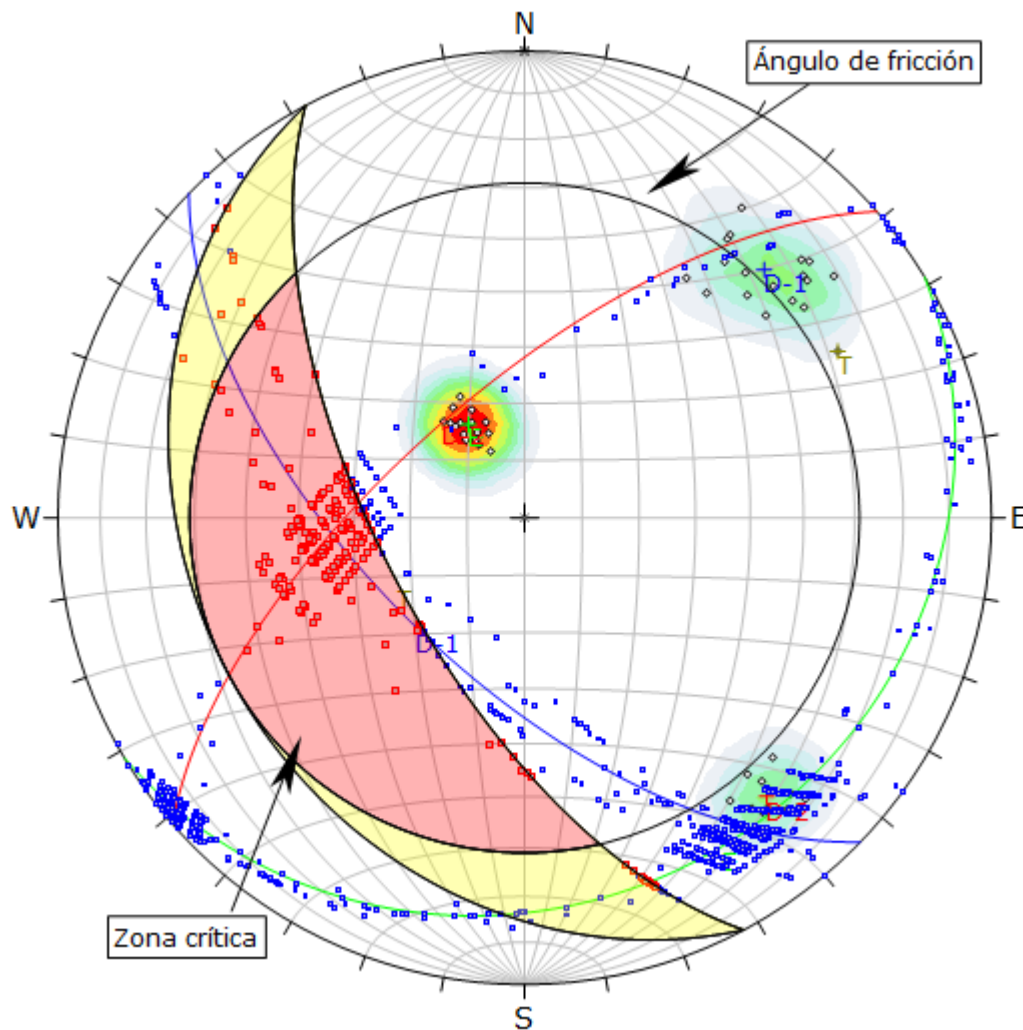


Figura 3.23. Estación geomecánica EG-03 según el englobado de la intersección de las familias: D-1 y D-2; se obtiene una probabilidad de ruptura en cuña con 21.31%.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
■	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.60			
	3.60 - 7.20			
	7.20 - 10.80			
	10.80 - 14.40			
	14.40 - 18.00			
	18.00 - 21.60			
	21.60 - 25.20			
	25.20 - 28.80			
	28.80 - 32.40			
	32.40 - 36.00			
Maximun density		35.97%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		65°		
Slope Dip direction		242°		
Friction angle		29°		
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	211	990	21.31%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	19°	149°	E
2	■	63°	224°	D-1
3	■	68°	319°	D-2
4	■	65°	242°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		990		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

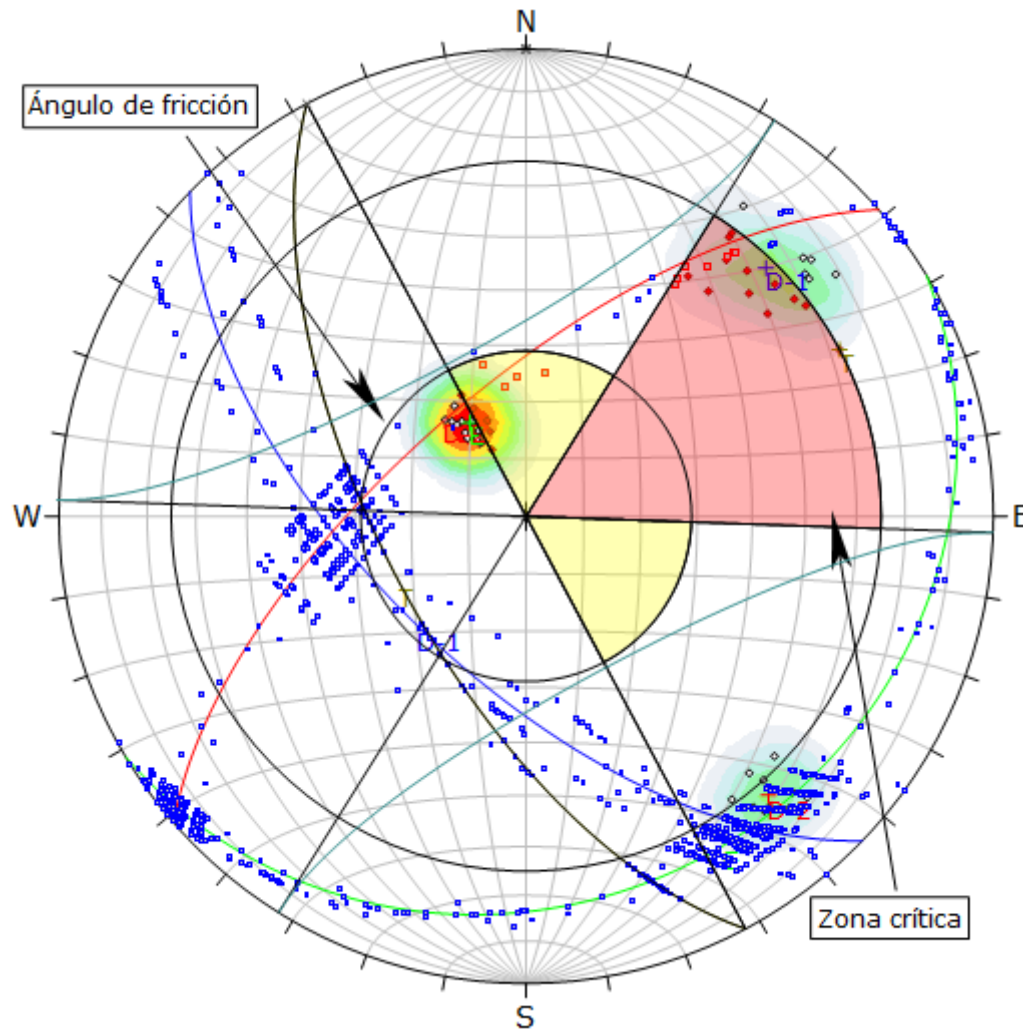


Figura 3.24. Estación geomecánica EG-03 según el englobado del polo de la familia: D-1 se obtiene probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 37.78%.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.60		
	3.60 - 7.20		
	7.20 - 10.80		
	10.80 - 14.40		
	14.40 - 18.00		
	18.00 - 21.60		
	21.60 - 25.20		
	25.20 - 28.80		
	28.80 - 32.40		
	32.40 - 36.00		
Maximun density		35.97%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Direct toppling	
Slope dip		65°	
Slope Dip direction		242°	
Friction angle		29°	
Lateral milits		30°	
	Critical	Total	%
Direct toppling (Intersection)	7	990	0.71%
Oblique toppling (Intersection)	4	990	0.40%
Base plane (All)	17	45	37.78%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	19°	149° E
2	■	63°	224° D-1
3	■	68°	319° D-2
4	■	65°	242° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

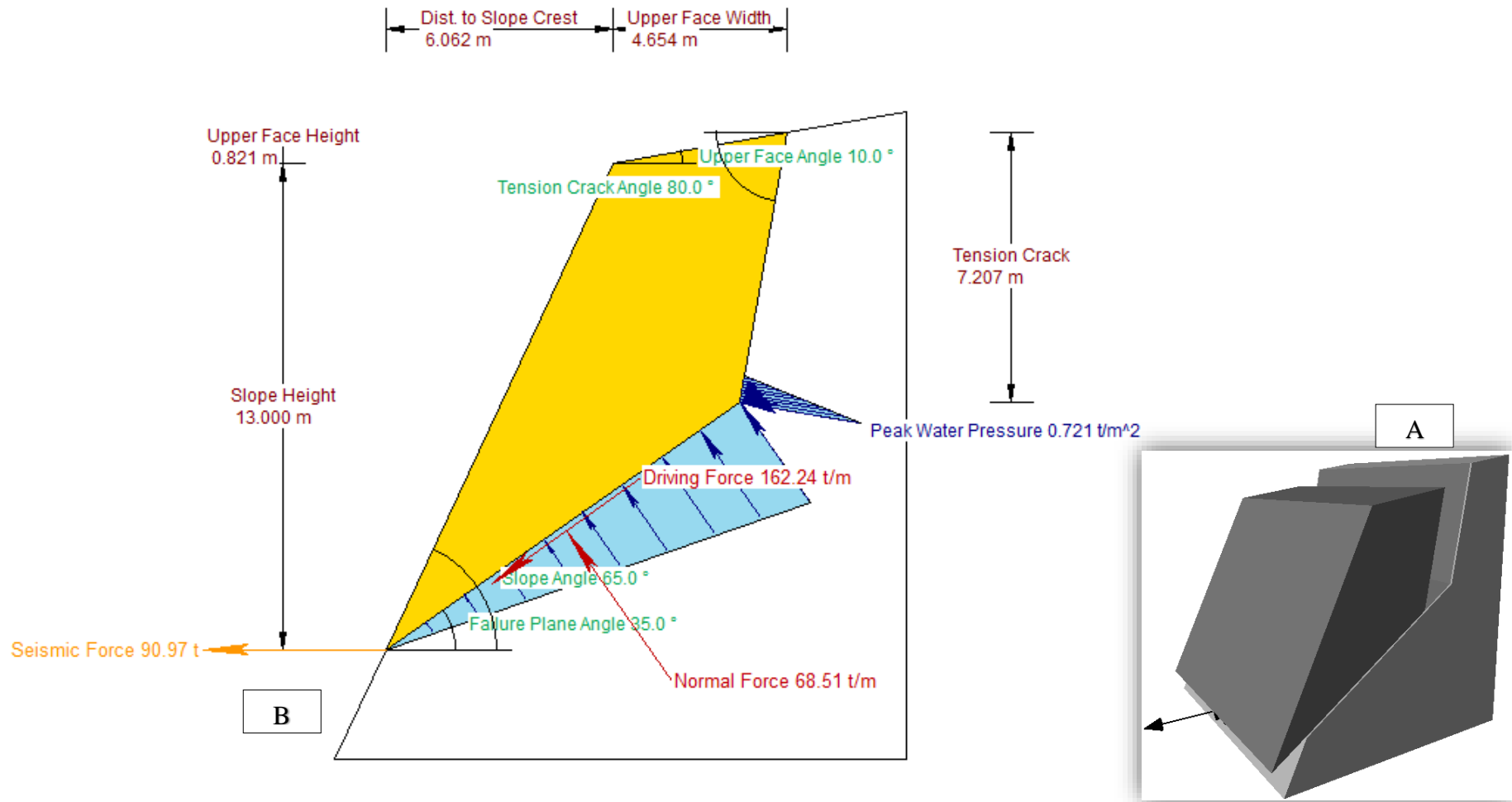


Figura 3.25. Estación geomecánica EG-03. Se visualiza que A. Block diagrama 3D - ruptura planar (D-1) y simetría del talud, con vectores de desplazamiento. B. Dimensionamiento en 2D por ruptura planar en tensiones efectivas + sismicidad, saturado U; con FS = 1.653.

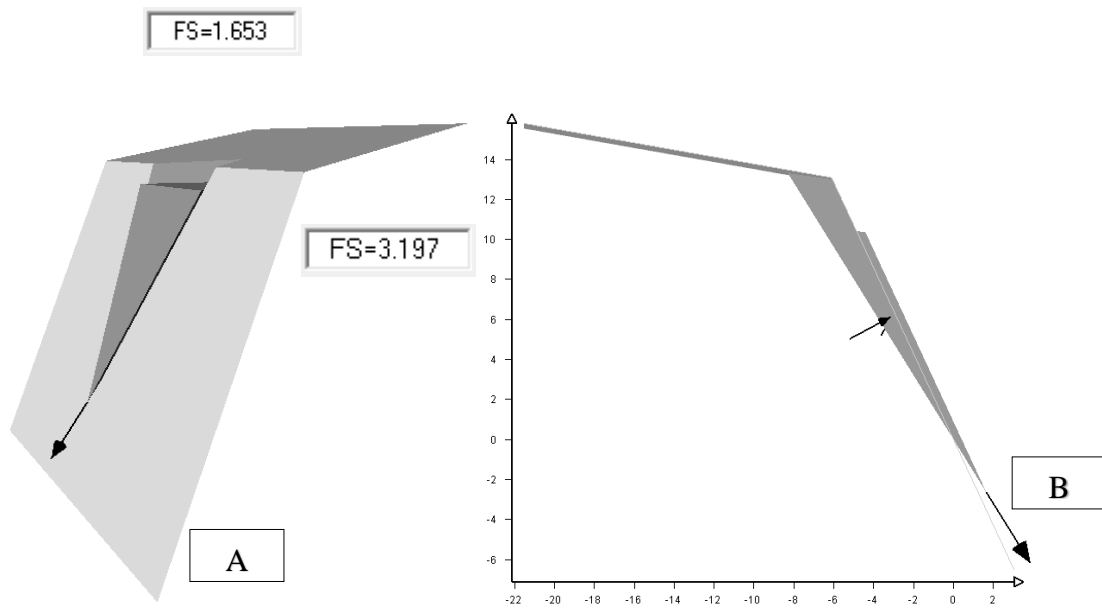


Figura 3.26. Estación geomecánica EG-03. Se denota que A. Vista frontal del block diagrama 3D - ruptura por cuña (D-1 y D-2) y simetría del talud. B. Vista perfil del dimensionamiento de la ruptura por cuña en tensiones efectivas + sismicidad; con FS = 3.197.

3.9 DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

3.9.1 Diseño de explotación actual en la zona de estudio

La empresa Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L. constituye un tajo de explotación que está conformada por gruesos paquetes de roca caliza color gris azulada perteneciente a la Formación Cajamarca de roca competente, cuyo diseño de talud inicial cuenta con los siguientes parámetros: buzamiento 80° y altura de 11.00 m.

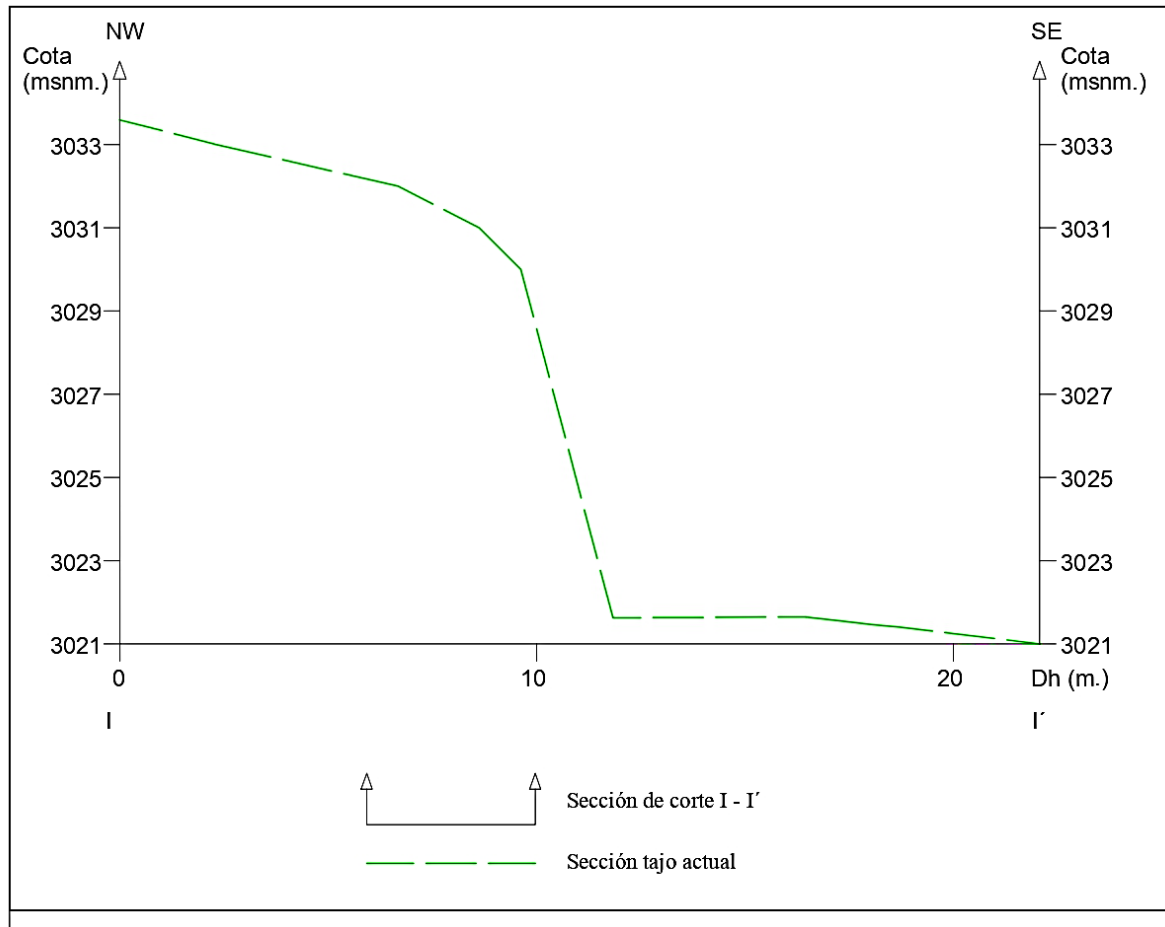


Figura 3.27. Diseño de explotación actual en la zona de estudio.

3.9.2 Propuesta de diseño de explotación en la zona de estudio

Para el diseño de explotación tendremos en cuenta la topografía del yacimiento, los parámetros geomecánicos - geométricos ya evaluados y los equipos de carga y transporte a utilizar en la explotación.

Para comenzar con la explotación se determinará la profundidad del yacimiento, por lo que, la altura total de explotación del yacimiento (H) se calcula según la siguiente formula:

$$H = H_{ma} - H_{me}$$

Donde:

H: Profundidad del yacimiento (m)

H_{ma} : Cota mayor (m)

H_{me} : Cota menor (m)

Reemplazando datos se obtiene:

$$H = 3055 - 3000$$

$$H = 55 \text{ metros}$$

- **Pendiente de vías o rampas de acceso**

Con el objetivo de tener una eficiencia optima, durabilidad y mejores tiempos, se plantea considerar para las vías de acceso en línea recta un ángulo de inclinación de 10° y para las curvas de 12°.

- **Ancho de vías o rampas de acceso.**

Para determinar la anchura de la vía se considerará las dimensiones de los equipos de acarreo, en este caso se utilizará volquetes SINOTRUK HOWO.

$$A = a_v(0.5 + 1.5N)$$

Donde:

A = Ancho de la vía o rampa (m)

a_v = Ancho del vehículo (m)

N = Número de carriles deseados

Según los siguientes datos se tiene:

- Ancho del vehículo= 2.00 m

- Número de carriles= 1

Reemplazando:

$$A = 2.00 (0.5 + (1.5 \times 1))$$

$$A = 4.00 \text{ m}$$

Haciendo los cálculos correspondientes se obtiene que el ancho la vía será de 4 metros, pero a este se le agregada el ancho de la cuneta, en este caso será de 1.00 metros lo que haría un total de 5.00 metros.

- **Diseño de Bancos**

- a) **Ancho banco (b)**

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).

$$b = 0.20 \cdot h_b + 2.0; \text{ para } h_b < 9.00 \text{ m.}$$

$$b = 0.20 \cdot h_b + 4.5; \text{ para } h_b > 9.00 \text{ m.}$$

Donde:

b: Ancho de berma (m.)

hb: Altura de banco (m.)

Entonces:

$$b = (0.20) (6) + 2.00$$

$$b = 3.20 \text{ metros}$$

- b) **Altura de banco (hb)**

Según Nichols (1976) define como la distancia vertical entre dos niveles consecutivos de extracción

$$H_b = (H/n) + (B/\tan(a))$$

Donde:

H: Profundidad total de la excavación (m.)

n: Número de bancos o niveles de excavación.

B: Ancho de la berma (m.)

a: Ángulo del talud (")

Para establecer la altura del banco de la explotación, se realiza teniendo en cuenta las dimensiones de la Excavadora Hidráulica CAT 313, se toma en cuenta la naturaleza del yacimiento, el tamaño del equipo de barrenación y cargado, la selectividad, la legislación y la seguridad., teniendo en cuenta todas estas especificaciones se considera una altura de 6 metros.

c) Número de bancos (N_b):

Para poder determinar el número de bancos se aplica la siguiente formula:

$$N_b = \frac{H}{h_b}$$

Donde:

H: Altura del yacimiento (m)

h_b : Altura del banco (m)

Reemplazando datos se obtiene:

$$N_b = \frac{55}{6}$$

$$N_b = 9.16$$

$$N_b = \mathbf{9}$$

d) Angulo del banco (α_b)

Se refiere al ángulo que compone la superficie del banco y la horizontal. El propósito del ángulo de banco es disminuir la capacidad de deslizamiento.

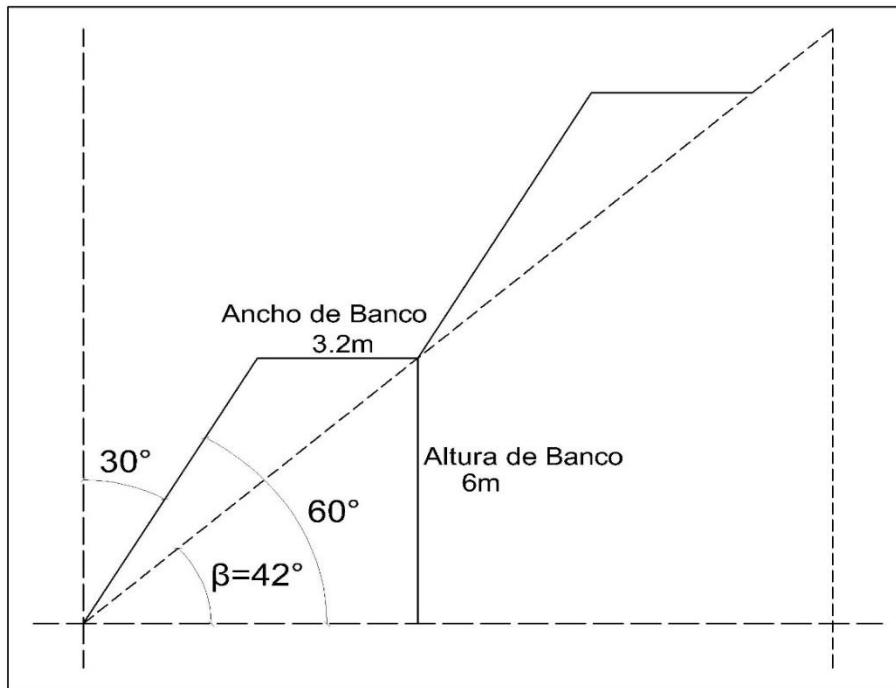


Figura 3.28. *Angulo del banco (α_b)* de Multiservicios Pirámide de Oro.

$$\alpha_b = 60^\circ$$

e) Ángulo Interrampa

Es la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une los pies de los bancos (Morales, 2009).

Primero encontramos la longitud que genera el ángulo en la cara del banco:

$$Q' = \frac{h_b}{\text{Tag}(\alpha_b)}$$

Reemplazando tenemos:

$$Q' = \frac{6}{\text{Tag}(60)}$$

$$Q' = 3.46 \text{ metros}$$

Para determinar el ángulo interrampa se aplica la siguiente formula:

$$\alpha_r = \arctg \left(\frac{h_b}{Q' + b} \right)$$

Reemplazando:

$$\alpha_r = \arctg \left(\frac{6}{3.46 + 3.20} \right)$$

$$\alpha_r = 42^\circ$$

Tabla 3.5. Cuadro resumen de los Parámetros de diseño.

Profundidad de explotación	55 metros
Altura de banco	6 metros
Numero de bancos	9
Angulo de banco	60°
Ancho de vías de acceso o rampas	5 metros
Angulo de Inclinación de Rampas	10°
Ancho de la berma	3.2 metros
Angulo de talud final	42°

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO, GEOMECÁNICO Y GEOESTRUCTURAL

El cartografiado geológico local está conformada por rocas: Mesozoicas - Cretáceo Superior al Cenozoicas - Cuaternario Reciente, compuestos de basamentos rocosos de la Formación Cajamarca de 89.80 Ma., con orientación estratigráfica Az/Bz N62°/25°SE, ubicada en el flanco izquierdo del sinclinal con orientación SW-NE, conformado por secuencias estratigráficas de gruesos paquetes calcáreos de grano fino de color gris azulado, con patinas de oxidaciones en la superficie afectando la roca en algunos casos desde: 1 mm. a 3 mm., conformando el espesor: 0.40 m. a 1.20 m. formando bloques: Tabulares a cúbicos, a favor del tajo de explotación, conformada por rocas de buena calidad. La roca caliza presentando fracturamiento: Concoidal a ganchuda, en diferentes bancos calcáreos rocosos por la composición de la pureza calcárea del afloramiento.

Sin embargo, se evidenció huellas de bivalvos de longitud 2.50 cm. de vista dorsal, plasmados en la roca caliza. Por otra parte, se observan estilolitos, en el flanco oeste del tajo formado por contactos irregulares de simetría ondulada entre planos estratigráficos, producidos por la disolución de rocas calcáreas; cuando están sometidas a presiones elevadas presentando entre ambos planos de juntas materiales: Arcillosos y óxidos. Sin embargo, los Depósitos: Deluviales y Antrópicos, se encuentran distribuidos en el área de operaciones mineras, delimitando un área apropiada para la acumulación de depósitos residuales. Siendo estos depósitos formados, por la meteorización: Física, química y orgánica; del basamento rocoso como del mismo depósito residual, acumulándose progresivamente en las partes bajas y altas, de la zona de explotación de roca, sin embargo, los Depósitos Deluviales, se ubican en la parte superior del tajo de explotación siendo material de relleno de las zonas kársticas.

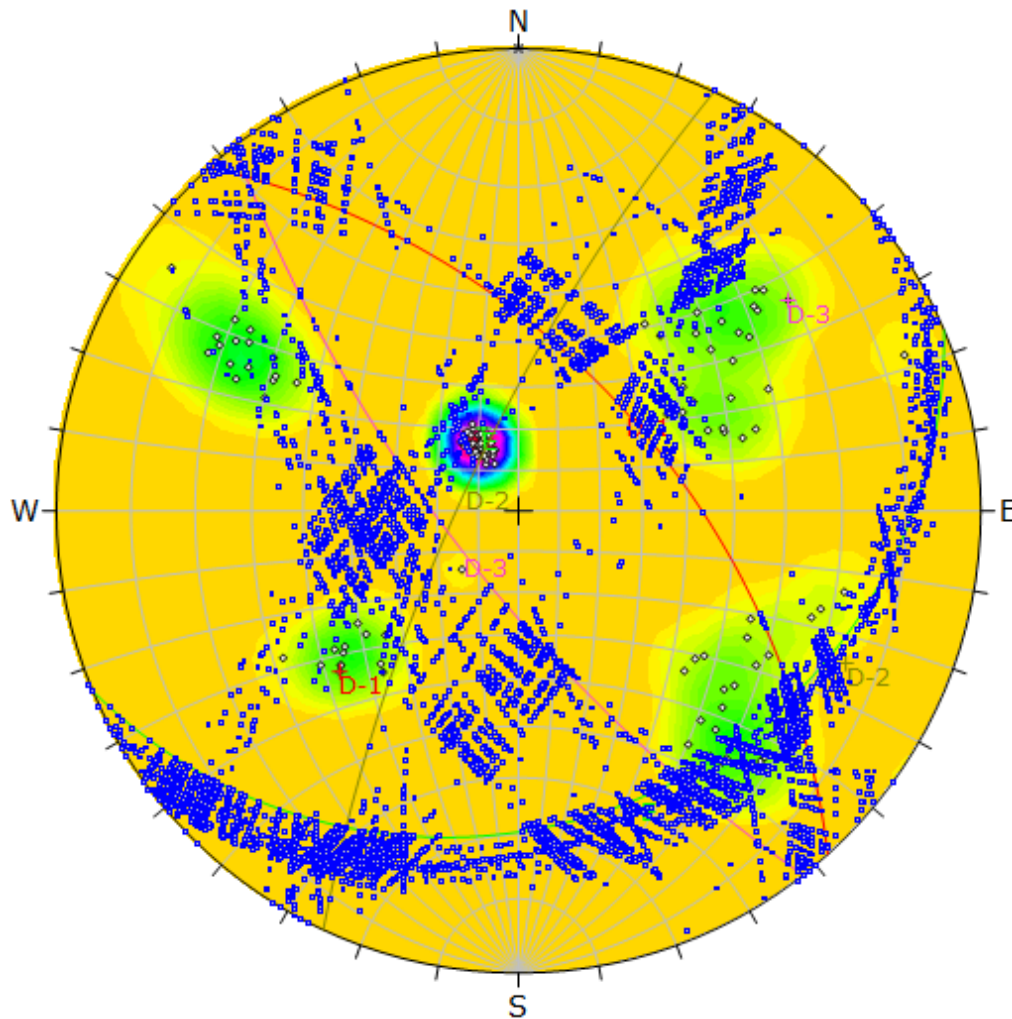
Se ubica en este ambiente sedimentario por la composición calcárea conteniendo abundante carbonato de calcio, siendo las calizas más limpias formándose en un ambiente profundo de la cuenca sedimentaria.

La información geomecánica se basó en información: Cuantitativa y cualitativa, de campo aplicando los criterios empíricos de clasificación en base: Índice de calidad de roca (RQD), valoración de la masa rocosa (RMR) y índice geológico de resistencia (GSI); estimar las propiedades del macizo rocoso anisotrópico.

Aplicando los softwares numéricos: RocData, Dips, Swedge y RocPlane; obteniendo información cuantitativa como: Probabilidad de ruptura y factor de seguridad, por geoestructuras que forma el afloramiento rocoso tipo: Tabular y cúbico. Fundamentadas por la combinación de criterios de rotura: Hoek-Brown (H-B) y Mohr-Coulomb (M-C); para ingresar información procesada a los métodos de equilibrio límite; así definiendo el grado: Estabilidad e inestabilidad, del tajo o también el método y diseño geométrico de explotación, mediante las constantes elásticas en función de las características geomecánicas de la roca, utilizando el criterio no lineal Hoek-Brown, obteniendo el valor de las constantes elásticas como: El factor de disturbancia (D) varía desde 0 (no alterados) y 1 (alterado); asignándose 1 por generar bajas alteraciones en el tajo de explotación, presentando alineamientos de corte del afloramiento rocosos; por otro lado el mb es el valor reducido del mi (considera el tipo de roca, textura, composición, tamaño de grano, diaclasamiento, alteración, meteorización, blocosidad, color, relleno, estado tensional) y $s < 1$ definiéndolo como afloramiento rocoso alterado y $a > 0.50$ es un afloramiento afectado por diaclasamiento; en combinación con el criterio lineal Mohr-Coulomb con valores de c y φ^o , correspondientes en relación al macizo rocoso, como: RQD, RMR y GSI.

Cuadro 4.1. Criterios empíricos y constantes elásticas, representadas por cada estación geomecánica.

Criterios empíricos			EG-1	EG-2	EG-3
σ_{ci} (MPa)			120	110	115
RQD (%)	Puntaje	Cuantitativo	84.42	80.65	93.84
		Cualitativo	Buena	Buena	Buena
RMR	Puntaje	Cuantitativo	73	69	75
		Cualitativo	Buena	Buena	Buena
GSI	Puntaje	Cuantitativo	68	64	70
		Cualitativo	Buena	Buena	Buena
Constantes elásticas	m_i		12	12	12
	D		1.00	1.00	1.00
	MR		800	750	750
	E_i (MPa)		96,000	82,500	86,250
	mb		1.22	0.92	1.41
	s		0.0048	0.0025	0.01
	a		0.501	0.503	0.502
	c (MPa)		5.58	4.55	5.69
	ϕ°		27.85	25.61	28.98
	σ_t (MPa)		-0.47	-0.30	-0.55
	σ_{cu} (MPa)		8.27	5.41	9.38
	σ_{cg} (MPa)		18.53	14.44	19.30
	E_m (MPa)		18,531.31	12,743.83	18,469.60



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.10
	3.10 - 6.80
	6.80 - 10.20
	10.20 - 13.60
	13.60 - 17.00
	17.00 - 20.40
	20.40 - 23.80
	23.80 - 27.20
	27.20 - 30.60
	30.60 - 34.00

Maximum Density	33.75%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		22	157	E
2		55	18	D-1
3		76	295	D-2
4		73	232	D-3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	131 (131 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	8510
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 4.1. Proyección estereográfica de Wulff, mediante la concentración de densidades máximas 33.75% de 131 información procesada.

Las geoestructuras se dividieron en estructuras: Mayores y menores. Las estructuras mayores relacionadas con la tectónica de cordillera andina, ubicándose las instalaciones mineras en el flanco izquierdo del sinclinal - Apan Bajo de orientación WNW-ESE, del eje originando plegamiento del Cretáceo: Superior e Inferior, variando su $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE; presentando plegamientos apretados, hallando estructuras anchas que tienen la geometría de domos y cuencas, relacionándose con la cuenca de Chota limitada por la orientación SW y NE. Por lo contrario, las fallas inversas y pliegues son concéntricos son debido a las secuencias gruesas: Calcáreas y areniscosas del basamento. Las disipaciones están dadas por esfuerzos tectónicos reflejados por fallas: Inversas, normales y rumbo (Dextrales y sinestrales), que afectaron al afloramiento rocoso de la Formación Cajamarca. Sin embargo, las estructuras menores fueron definidas por cuatro discontinuidades definidas por (Az/Bz): $N67^\circ/22^\circ$ SE, $N318^\circ/84^\circ$ SW, $N205^\circ/76^\circ$ SW y $N142^\circ/73^\circ$ SW; formando eventos geodinámicos como caídas de rocas de forma: Tabular, cúbica y prismática, de tamaño: 0.50 m. a 0.80 m. por diaclasamientos: Verticales, inclinados a horizontales por la sobre excavación del frente de explotación por: Intersección de juntas y polos, constituyendo rupturas: Planar, cuña y vuelco; siendo la discontinuidad principal la estratificación de orientación (Az/Bz) $N62^\circ/25^\circ$ SE.

4.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LAS RUPTURAS EN ROCAS

El análisis cinemático fue realizado para obtener la probabilidad de ruptura mediante la falsilla de Schmidt proyectando la ruptura planar con 45 valores en función de las discontinuidades constituyendo la dispersión de información crítica desde: 1, 2 a 10; definiendo el 4.44% EG-1 (D-1), 2.22% EG-2 (D-1) y 10% EG-3 (D-1); mostrando densidades máximas: 28.03%, 36.50% y 35.97%, siendo analizadas por zonas críticas (Rojo), formando envolventes exteriores por la superposición de la envolvente de luz y ángulo de fricción, ubicándose el polo de discontinuidad dentro de la área delimitada, constituyendo condiciones de inestabilidad: Moderada la estación geomecánica EG-3 y baja la estación geomecánica EG-2, siendo relacionada con D-1 variando la orientación de está diaclasa (D/DD): $70^\circ/120^\circ$, $63^\circ/36^\circ$ y $63^\circ/224^\circ$; y talud (D/DD): $65^\circ/160^\circ$, $78^\circ/200^\circ$ y $65^\circ/242^\circ$. Por lo contrario, la ruptura por cuña presenta desde: 988 a 990 valores

de intersecciones de juntas, formadas por la intersección del ángulo de fricción y la envolvente de luz, delimitando dos zonas: Crítica (Rojo) y levemente crítica (Anaranjado), sin embargo, la EG-1 muestra 55 intersecciones críticas de 988 intersecciones; la EG-2 muestra 41 intersecciones críticas de 990 intersecciones y la E-3 muestra 211 intersecciones críticas de 990 intersecciones; mostrando 5.57% la EG-1 (E y D-2) y 4.14% la EG-2 (D-1 y D-2) y 21.31% la EG-3 (D-1 y D-2), mostrando condiciones de inestabilidad baja a moderada.

La ruptura por vuelco muestra la superposición de dos ángulos de fricción aplicando criterios de ruptura planar y cuña, siendo delimitados por el cono de fricción y límites laterales, en la proyección estereográfica generando la zona crítica de acuerdo a la teoría de Goodman y Bray, de acuerdo al ángulo 30° formando dos zonas: Crítica (Rojo) y levemente crítica (Anaranjado), constituyendo por intersección y polos de juntas por la ruptura por vuelco siendo analizada por: Dirección, Oblicuo y base deslizante, mostrando variaciones de ruptura de **dirección**: 2.13% (EG-1), 12.42% (EG-2) y 0.71% (EG-3), desde condiciones baja a moderadas; **oblicua**: 0.00% (EG-1), 0.51% (EG-2) y 0.40% (EG-3), condiciones bajas y **base deslizante**: 31.11% (EG-1), 40% (EG-2) y 37.78% (EG-3), mostrando condiciones altas de inestabilidad, obteniendo vectores de polos, vectores críticos, intersecciones críticas e intersecciones.

Cuadro 4.2. Probabilidad de ruptura - software Dips, representadas por las estaciones geomecánicas del tajo de la empresa minera Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.

Estación	Probabilidad de ruptura								Condición inestabilidad
	Planar		Cuña		Vuelco				
	%	Junta	%	Junta	Dirección (%)	Oblicuo (%)	Base deslizante (%)	Junta	
EG-1	4.44	D-1	5.57	E y D-2	2.13	00.00	31.11	D-2	Baja
EG-2	2.22	D-1	4.14	D-1 y D-2	12.42	00.51	40.00	D-1 y D-2	Moderada
EG-3	22.22	D-1	21.31	D-1 y D-2	00.71	00.40	37.78	D-1	Alta

4.3 FACTOR DE SEGURIDAD

Aplicando del modelo matemático o numérico se obtuvo valores del factor de seguridad en las rupturas en rocas por softwares: RocPlane y swedge, mediante el análisis: Determinístico y probabilístico, en las cuatro vistas isométricas: Planta, perspectiva, frontal y deslizamiento; mostrando los blocks diagramas: 2D y 3D, de cada estación geomecánica; previamente analizada por Dips para proyectar las juntas o discontinuidades que forma el tipo de ruptura en el tajo de la cantera, ya sea por: Intersección de planos o polos, acompañado de la geometría cuantitativa del talud.

El RocPlane, corroboró el factor de seguridad que presenta los taludes de la cantera de extracción geomecánica con FS desde: 1.653 a 4.102, analizados en tensiones: Totales, efectivas y efectivas + sismicidad, obteniendo disminución progresiva total del factor de seguridad superando 1.50, como se muestra con la estación EG-1 y EG-3, delimitada por las fuerzas resultantes: Grieta de tracción y plano deslizante, interactuando perpendicularmente al plano y ubicándose el esfuerzo total a $H/3$, siendo el saturándose el plano 20%; por lo contrario, la estación EG-2 se relacionada con el plano deslizante, formando por la discontinuidades: D-1, saturándose desde el plano de deslizamiento a NF.

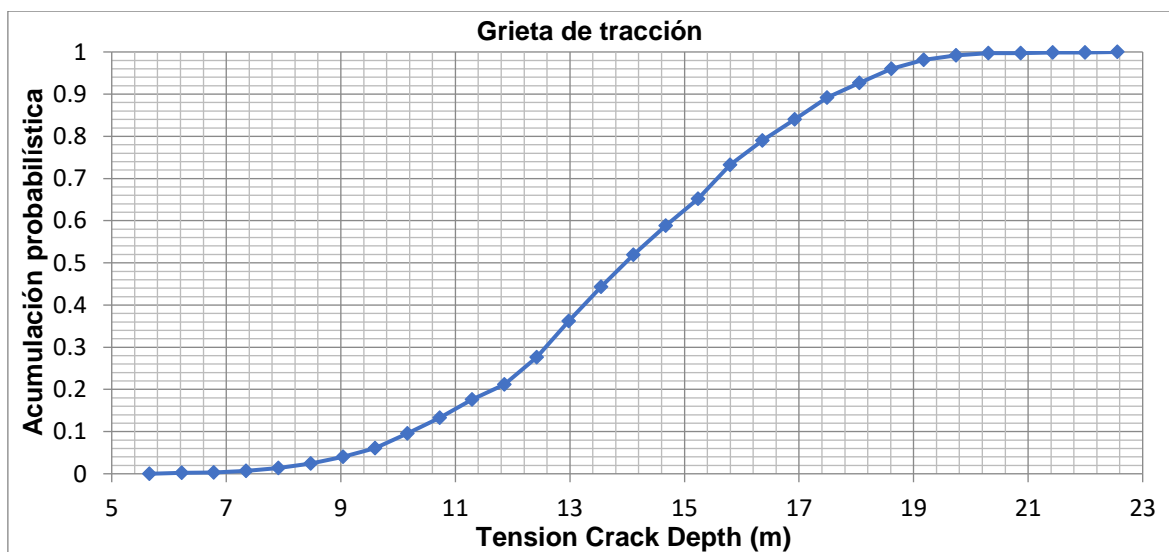


Figura 4.2. Variograma de la profundidad de la grieta de tracción, EG-01

Por lo contrario, el swedge en las estaciones geomecánicas: EG-1, EG-2 y EG-3, muestra factores de seguridad desde: 1.300 a 4.126, por la intersección de discontinuidades: E y D-2 (EG-1), y D-1 y D-2 (EG-2 y EG-3); mostrados en los blocks diagrams: 2D y 3D, ingresando información del diseño geométrico del talud por cada estación geomecánica, obtenido vectores de deslizamiento o ruptura de cada plano de discontinuidad interactuando perpendicularmente a los dos planos principales y el vector de caída principal hacía de ruptura directa e indirecta de la roca.

Por lo contrario, los Variogramas de las Figuras 4.3, 4.4 y 4.5, muestras la amplitud de ruptura relacionadas con la grieta de tracción y plano de rupturas proyectándose en la estación geomecánica: EG-01 y EG-02, desde 5.65 a 27.78 m.; en cambio la EG-03 desde 6.58 a 8.40. siendo muy variante la persistencia de los planos de ruptura, afectando a la sección de corte del talud y avance del tajo de explotación.

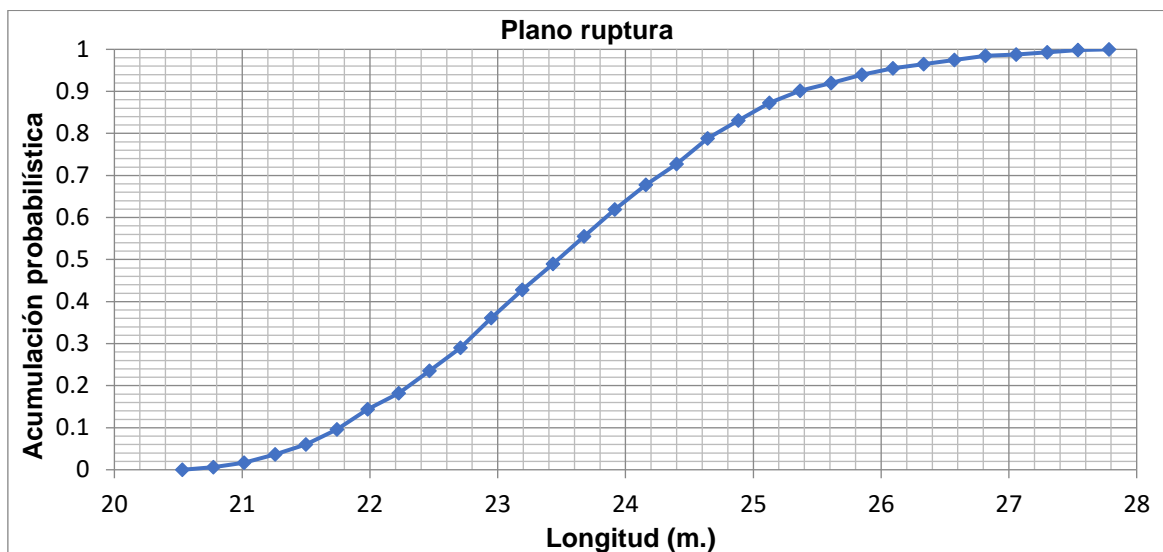


Figura 4.3. Variograma de la longitud del plano de ruptura, EG-02.

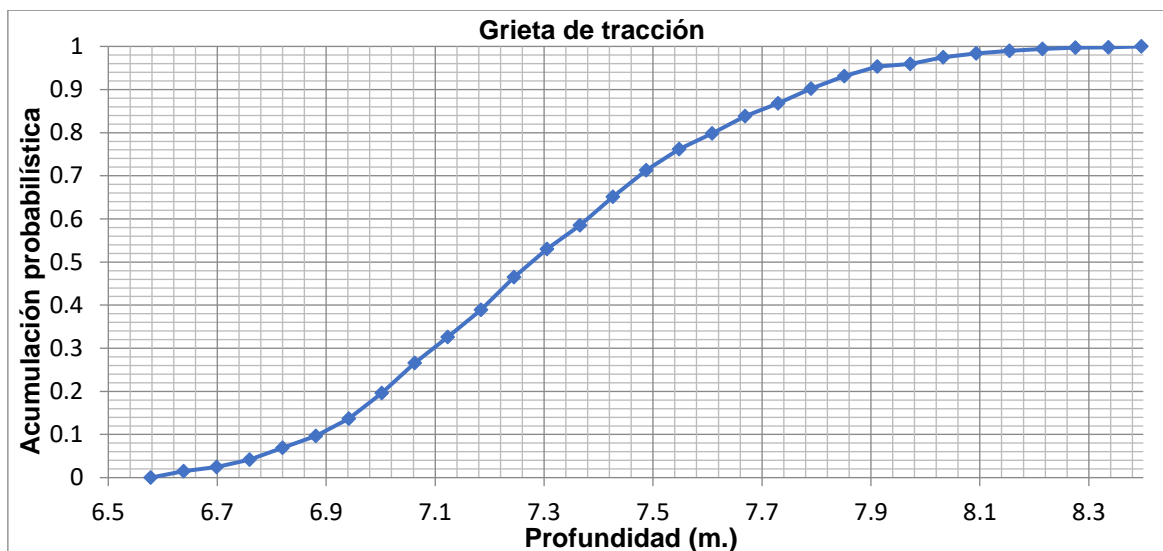


Figura 4.4. Variograma de la profundidad de la grieta de tracción, EG-03.

Cuadro 4.3. Análisis cinemático por software: Dips, RocPlane y Swedge - tajo de la empresa minera Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.

Estación	Ruptura	Factor de seguridad			Probabilidad de falla (%)	Numero de juntas		Inestabilidad de junta
		T	TE	TE+S		Críticas	Total	
EG-1	Planar	4.102	3.950	3.733	4.44	2	45	D-1
	Cuña	1.895	1.647	1.300	5.57	55	988	E y D-2
	Vuelco	-	-	-	31.11	41	45	D-2
EG-2	Planar	2.346	2.146	1.874	2.22	1	45	D-1
	Cuña	2.973	2.458	2.135	4.14	41	990	D-1 y D-2
	Vuelco	-	-	-	40.00	18	45	D-1 y D-2
EG-3	Planar	2.863	1.784	1.653	22.22	10	45	D-1
	Cuña	4.126	3.583	3.197	21.31	211	990	D-1 y D-2
	Vuelco	-	-	-	37.78	17	45	D-1

4.4 DISEÑO DE TAJO EXPLOTACIÓN

El diseño del tajo de explotación de la empresa minera Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L., se obtuvo mediante el levantamiento topográfico mediante GPS diferencial del terreno poligonal y puntos de relleno, obtenido las curvas de nivel del área de estudio ayudados de programas numéricos como: ArcGis y AutoCad, previamente generando un TIN de elevaciones y posteriormente curvas de nivel cada 1 msnm., luego exportando al AutoCad para realizar la sección de corte del tajo y proyectar el diseño geométrico del tajo de explotación y reservas

probadas y probables de la cantera. Mediante la diferencia de cota: Máxima y mínima, proyectado posteriormente las reservas; y también tenido en consideración la extracción actual que se está realizando mediante perforación con compresora para mejores avances para el fracturamiento de la roca, minimizando la utilización agua para maquinarias de producción, complementado con insumos de voladura como: Anfo, dinamita, detonante, mecha de seguridad y arcilla como sellador, para la formación de la pila de escombros (desbroce y seleccionamiento de la roca). Siendo posteriormente fracturada y seleccionada la roca por obreros que se dedican a cuartear la roca: 6'' a 7'', para transportarlas manualmente por carretillas a los hornos de calcinación.

Mediante esta información: Técnica profesional y campo, se plasmó el diseño del tajo de explotación a cielo abierto constituido por parámetros geométricos como: $H = 55$ m, $h_b = 6.00$ m., $A = 5$ m, $b = 3.20$ m., $N_b = 9$, $\alpha_b = 60$, $\alpha_r = 42^\circ$, realizándose por bancos escalonados por la forma del yacimiento masivo y análisis geomecánico de campo (resistencia de la roca y parámetros de las discontinuidades); por ser emplazado en las unidades geomorfológicas como: Lomada y laderas, definido desde la cota: 3,285 msnm. a 3,308 msnm., ubicado en la parte superior e inferior del afloramiento rocoso, siendo en algunos casos cubierto por depósitos cuaternarios.

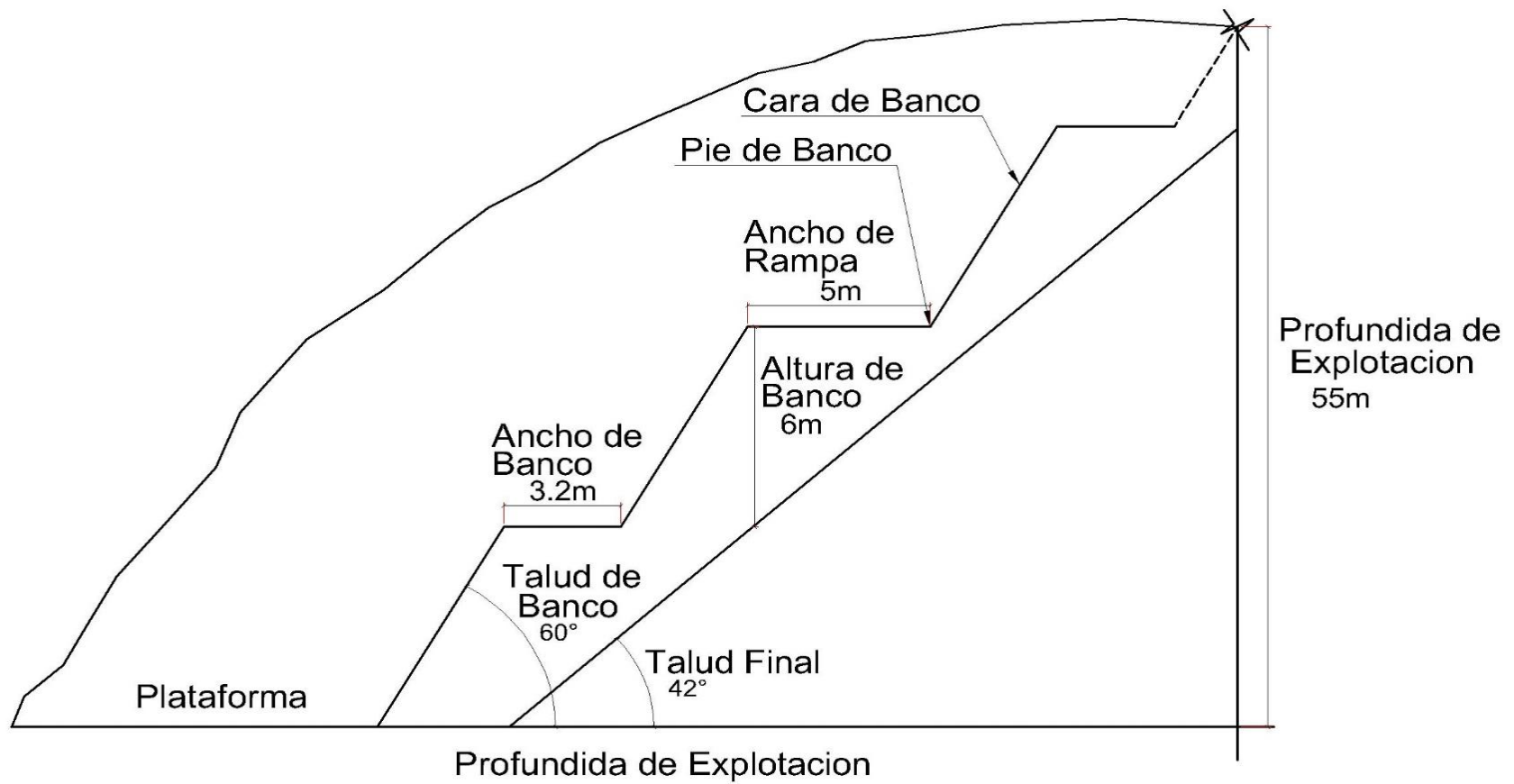


Figura 4.5. Diseño de tajo de explotación de la cantera - empresa minera Multiservicios Pirámide de Oro S.R.L.

4.5 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El tajo explotación está emplazado en rocas: Mesozoicas - Cretáceo Superior al Cenozoicas - Cuaternario Reciente, compuestos de basamentos rocosos de la Formación Cajamarca, con orientación Az/Bz $N62^{\circ}/25^{\circ}SE$, ubicada en el flanco izquierdo del sinclinal con orientación SW-NE, conformado por secuencias de gruesos paquetes calcáreos de grano fino de color gris azulado, de espesor: 0.40 m. a 1.20 m. formando bloques: Tabulares a cúbicos, a favor del tajo de explotación, conformada por rocas de buena calidad. Geomorfológicamente está compuesta por: Planicies, lomadas y laderas; siendo el resultado de procesos: Tectónicos, erosivos y geodinámicos, atreves de millones de años afectando al basamento de rocas sedimentarias por procesos: Erosión, génesis, edad, geometría y relieve, controladas por el grado de erosión de las rocas carbonatadas. La geomecánica muestra rocas de buena calidad con: RQD (80.65 a 93.84), RMR (69 a 75) y GSI (64 a 70), estimando la calidad del macizo rocoso anisotrópico. Definiendo el diseño del tajo con parámetros geométricos por $H = 55$ m, $h_b = 6.00$ m., $A = 5$ m, $b = 3.20$ m., $N_b = 9$, $\alpha_b = 60$, $\alpha_r = 42$.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La cantera de explotación está ubicada en el flanco izquierdo del sinclinal - Apan Bajo de orientación WNW-ESE, con $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE; presentando plegamientos apretados relacionándose con la quenca de Chota limitada por la orientación SW-NE, siendo también delimitas el modelo numérico por cuatro discontinuidades (Az/Bz): $N67^\circ/22SE$, $N318^\circ/84^\circ SW$, $N205^\circ/76^\circ SW$ y $N142^\circ/73^\circ SW$; formando eventos geodinámicos como caídas de rocas de forma: Tabular, cúbica y prismática, de tamaño: 0.50/m. a 0.80 m.

El mapeo geomecánico por la línea de detalle muestra afloramientos rocosos de buena calidad con valoraciones: RQD (EG-1 = 84.42, EG-2 = 80.65 y EG-3 = 93.84), RMR (EG-1 = 73, EG-2 = 69 y EG-3 = 75) y GSI (EG-1 = 68, EG-2 = 64 y EG-3 = 70), $\sigma_{ci} = 110$ MPa a 120 MPa con estimación R5, $\phi = 25.61$ a 28.98 y $c = 4.55$ MPa a 5.69 MPa.

El análisis cinemático por probabilidad de falla: Planar < 4.44% EG-1 (D-1), 2.22% EG-2 (D-1) y 10% EG-3 (D-1); por cuña < 5.57% la EG-1 (E y D-2) y 4.14% EG-2 (D-1 y D-2) y 21.31% EG-3 (D-1 y D-2); y por vuelco desde: 31.11% a 40% la EG-1, EG-2 y EG-3; generándose condiciones de inestabilidad: Baja (EG-1), moderada (EG-2) y alta (EG-3).

El modelo matemático reporta $FS > 1.50$, por cada estación geomecánica: EG-1 (Planar = 3.733 y cuña = 1.300), EG-2 (Planar = 1.874 y cuña = 2.135), y EG-3 (Planar = 1.653 y cuña = 3.197), definiendo como talud estable para fallamiento por: Planar y cuña, generando altos valores porcentuales por vuelco para el desbroce de roca.

El diseño del tajo de explotación a cielo abierto está constituido por parámetros geométricos por: $H = 55$ m, $h_b = 6.00$ m., $A = 5$ m, $b = 3.20$ m., $N_b = 9$, $\alpha_b = 60$, $\alpha_r = 42^\circ$, realizándose por bancos por la forma del yacimiento y el análisis geotécnico (resistencia de la roca).

5.2 RECOMENDACIONES

Implementar desquinchado de rocas en los frentes del talud, por ocasionar caídas de rocas inesperadas en el tajo de extracción de roca caliza.

Realizar ensayos de laboratorio en roca, para obtener información real de resistencia y constante elásticas de la roca calcárea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, J., Blanco, G., y Nevado, J. (2012). Propuesta de un Manual para la evaluación de taludes. Guayana – Venezuela. Recuperado de <http://catalogo-gy.ucab.edu.ve/documentos/tesis/aab3868.pdf>
- Bieniawski, Z. (1976) Rock mass classification in rock engineering. In: Exploration for Rock Engineering, Proc. Symp. (ed. Z. T. Bieniawski) Vol. 1, Cape Town, Balkema, pp. 97–106.
- Carhuatanta, R., y Tantajulca, M. (2020). Análisis estructural de macizo rocoso para determinar el facto de seguridad en taludes de la carretera Cochabamba – Cutervo – Puerto Chiple (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo.
- Deere, D., Hendron, A., Patton, F., y 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.
- El Clima y el tiempo promedio en todo el año en BambamarcaPerú, (2023). Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/y/19982/Clima-promedio-en-Bambamarca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Gavilanes, J., y Andrade, H. (2004). Introducción a la ingeniería túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito – Ecuador. Asociación de ingenieros de minas del Ecuador (AIME).
- Gutiérrez, K. (2019). Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicadas en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A. Revista Industrial Data 22(2): págs. 27-46 (2019) ISSN: 1560-9146 (Impreso)/ ISSN: 1810-9993 (Electrónico). Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/download/15615/14715?inline=1>

- Herrera, J. (2006). Métodos de minería a cielo abierto. Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas.
- Herrera, F. (2000). Análisis de estabilidad de taludes: Máster en ingeniería geológica. Madrid – España: GEOTÉCNIA 2000.
- Herrera, J. (2018). Canteras de roca ornamental: Técnicas y sistemas de extracción. Madrid – España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hoek, E. and Brown, E. (1997) Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 34(8), 1165–86.
- Hoek, E., Carranza, C., and Corkum, B. (2002) Hoek–Brown failure criterion—2002 edition. Proc. North Am. Rock Mech. Soc. Meeting, Toronto, Canada, July, 267–73.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., y Martin, R. (2013). Open pit mine planning & design. Editorial: CRC Press, Taylor & Francis Group, an informa business Boca Raton, London, New York y Leiden. Tercera edición. volumen 1 – fundamentos.
- Jaimes, F., Navarro, J., y Santos, A. (2013). Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 15-f cuadrante-I. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Recuperado de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Loor, D., y Macias, L. (2020). Estudio de estabilidad de taludes de la vía Garrapata – Santa María, entre las abscisas 7+900 y 63+040, provincia de Manabí, Ecuador (Tesis de maestría). Universidad Superior Politécnica Litoral.
- Martínez, J. (1981). Mapas geológicos: Explicación e interpretación (2 ed.). Magallanes - Madrid – España: PARANINFO S.A. Universidad de Oviedo.

- Martinez, G., Romero N., y Rojas, N. (2011). Ambientes sedimentarios de calizas. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/figure/Figura-96-Ambientes-sedimentarios-de-calizas_fig16_326723313
- Meza, L. (2018). Evaluación geomecánica y cinemática del tramo Juan Capitán – El Chihue, ciudad Victoria, Tamaulipas (Carretera TAM-126 Rumbo Nuevo) (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- 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
- Monte, I. (2020). Análisis de estabilidad de taludes en roca mediante el método de elemento finitos (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción.
- Novoa, E. (2019). Evolución geotécnica para determinar la inestabilidad de los taludes en la carretera del tramo Chilete – Puente Muyuna (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Osinergrmin (2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Magdalena del Mar, Lima, Perú: Edición: INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- Parra, S., y Marín, C. (2015). Páramos vivos bitácora de flora: Guía visual de plantas de páramos de Colombia. Bogotá – Colombia: Instituto Humboldt Colombia.
- Priest, S., y Hundson, D. (1976). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scan line surveys. International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts, págs. 138-197.

- Puell, F., Arenillas, M., De La Puente, P. (2004). La linealización del criterio de hoek-brown en el análisis de la estabilidad de taludes en roca. Dialnet: Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, ISSN 0034-8619, N°. 3446, 2004. págs. 37-44. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=937330>
- Rodríguez, A. (2007). Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos. Facultad de geología (Petrología y geoquímica), vol. 1, págs. 1-14. Universidad de Oviedo. Recuperado de https://www.academia.edu/7560586/CARACTERIZACION_DE_MACIZOS_ROCOSOS
- Rojas, C. (2018). Comportamiento geotécnico de los taludes críticos de la carretera Lajas – El Tayal provincia de Chota (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Terán, D. (2022). Evaluación geotécnica y diseño del tajo Esmael de la Empresa Cal plus, concesión Colquirrumi 49-C. Distrito, provincia de Hualgayoc – Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Tomás, R., Ferreiro, I., Sentana, I., y Diaz, M. (2002). Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander – España: Universidad de Alicante, España.
- Sánchez, I; Sánchez, A. (2012) La biodiversidad biológica en Cajamarca. Proyecto Determinación del Potencial de la Biodiversidad Regional de Cajamarca – Gobierno Regional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Sobarzo, V., Villalobos, F., y King, R. (2011). Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la Formación Quiriquina. Obras y proyectos 9, 38-48. Recuperado de

ANEXOS

ANEXO A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

ANEXO B: REGISTRO GEOMECANICO

ANEXO C: PLANOS

ANEXO D: SECCION DE CORTE DE CANTERA

Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico, estación geomecánica EG-01.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				UBICACIÓN		EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA													BENIAWSKY RMR (1989)													
CÓDIGO				E-1		TAJO DE EXPLOTACIÓN - MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L.													Superficie													
RESPONSABLE				Juan Eugenio Ortiz Barboza																												
SISTEMA				WGS 84 ZONA 17S		EJECUTADO POR Juan Eugenio Ortiz Barboza													FECHA 24/08/2023													
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN						
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLÓGIA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Diaclasa	σ _{ci}	ND	21	DIRECCIÓN			1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real									
												Z/R	DIP	DD										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.
F=Fract-Intens(mf=Microfalla) F=Fract-Intens(mf=Microfalla) Agregar MB,B,M,P,MP C=Contacto				F=Fract-Intens(mf=Microfalla) SE=Sobrees. C=Contacto																												
1	769875.00	9255290.00	3026.00	Ks-Ca	1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	67	22	157	2	3	5	5	1	5	1	1	1										
2				Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando bloccosidades tabulares.	1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	60	19	150	2	3	5	4	4	2	1	1	1										
3					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	62	21	152	4	3	5	5	1	5	2	1	1										
4					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	65	15	155	3	2	4	5	4	2	1	1	1										
5					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	58	19	148	4	3	5	5	1	5	1	1	1										
6					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	64	20	154	4	3	5	4	1	5	2	1	1										
7					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	63	19	153	2	3	4	5	1	5	1	1	1										
8					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	57	16	147	3	2	5	5	4	2	1	1	1										
9					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	62	21	152	3	3	5	5	1	5	2	1	1										
10					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	54	17	144	2	3	5	4	1	5	1	1	1										
11					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	61	23	151	4	3	5	5	4	2	2	1	1										
12					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	68	20	158	3	3	4	4	1	5	1	1	1										
13					1	3	1	E	R5 (120 MPa)	84.42	62	18	152	3	3	5	5	1	5	1	1	1										
14					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	31	80	121	3	2	4	2	4	2	1	1	1										
15					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	35	85	125	2	1	5	2	4	2	1	1	1										
16					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	30	74	120	3	2	4	3	4	2	2	1	1										
17					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	28	67	118	2	2	4	2	1	5	1	2	1										
18				Ks-Ca	1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	34	70	124	3	1	4	2	1	5	1	1	1										
19				Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando bloccosidades tabulares.	1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	25	68	115	2	1	5	2	4	2	1	1	1										
20					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	29	73	119	1	2	4	2	1	5	2	1	1										
21					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	32	69	122	2	2	4	3	4	2	1	1	1										
22					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	28	62	118	2	2	4	2	4	2	1	2	1										
23					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	31	71	121	2	1	5	2	4	2	1	1	1										
24					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	34	73	124	2	2	5	3	1	5	1	1	1										
25					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	27	70	117	2	2	4	3	1	5	2	1	1										
26					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	29	62	119	2	1	4	3	1	5	1	1	1										
27					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	32	64	122	3	2	5	2	1	5	1	2	1										
28					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	27	74	117	2	2	5	2	4	2	1	1	1										
29					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	24	62	114	2	1	4	2	4	2	2	1	1										
30					1	3	1	Disc-1	R5 (120 MPa)	84.42	30	58	120	2	2	4	3	4	2	1	1	1										
31				Ks-Ca	1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	318	55	48	3	1	5	2	1	5	1	2	1										
32				Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando bloccosidades tabulares.	1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	321	52	51	3	1	5	2	3	2	1	1	1										
33					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	325	46	55	3	1	5	4	4	2	1	2	1										
34					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	317	43	47	3	1	4	3	1	5	1	2	1										
35					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	322	51	52	4	1	5	4	3	2	1	2	1										
36					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	328	62	58	3	1	5	2	3	2	1	2	1										
37					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	322	57	52	3	1	5	2	4	2	1	1	1										
38					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	314	20	44	3	1	5	4	4	2	1	2	1										
39					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	310	49	40	4	1	5	4	3	2	1	2	1										
40					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	323	53	53	3	1	5	2	3	2	1	2	1										
41					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	319	54	49	3	1	4	2	1	5	1	1	1										
42					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	312	48	42	4	1	5	4	4	2	1	2	1										
43					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	319	54	49	3	1	5	3	3	2	1	1	1										
44					1	3	1	Disc-2	R5 (120 MPa)	84.42	321	46	51	3	1	4	2	1	5	1	1	1										
								Talud			70	65	160																			

Cuadro 5.2. Registro geológico-geotécnico, estación geomecánica EG-02.

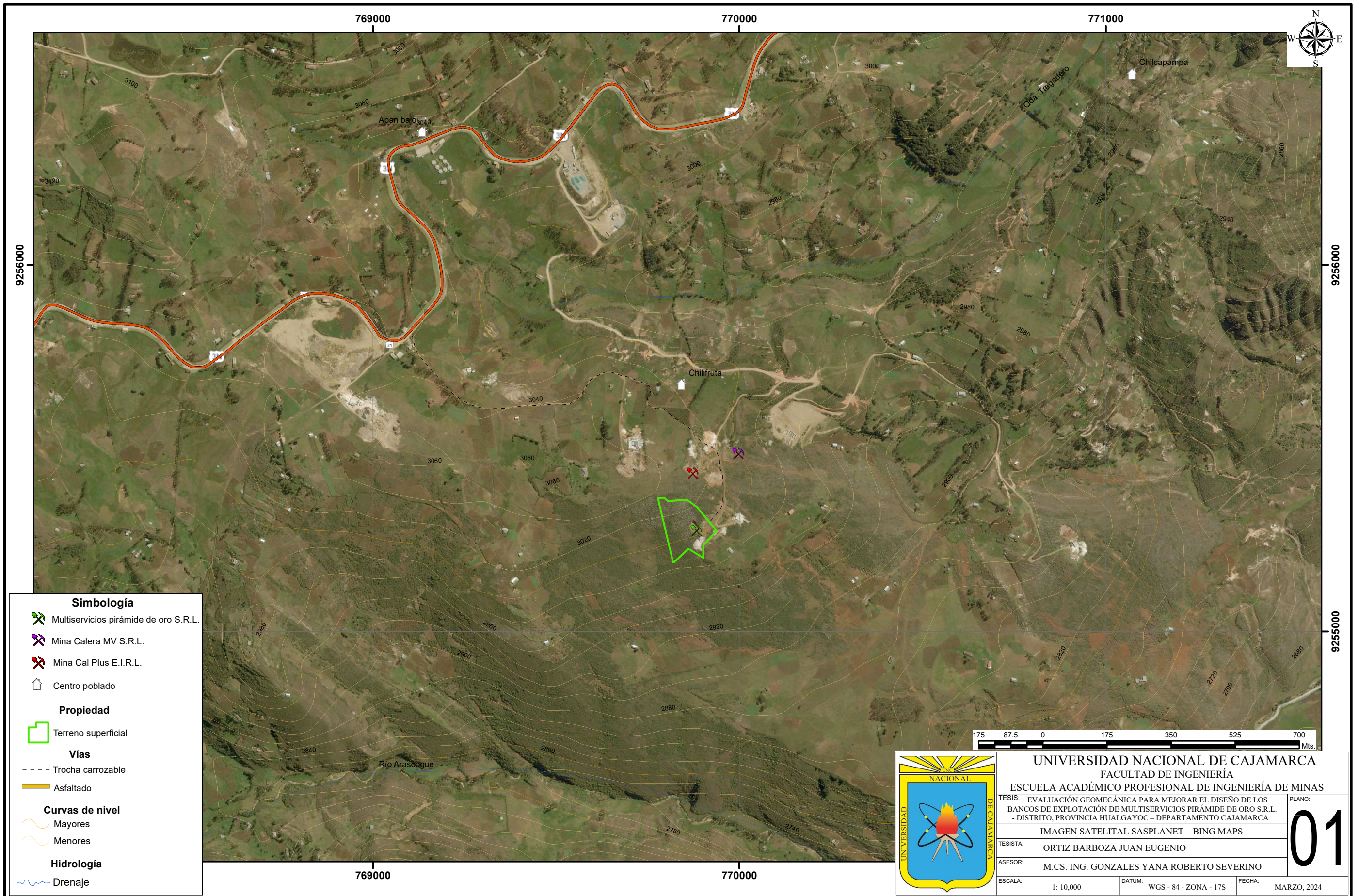
REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				UBICACIÓN		EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA											BENIAWSKY RMR (1989)																
E-2				2 DE		TAJO DE EXPLOTACIÓN - MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L.											Superficie																
RESPONSABLE				2 DE		-																											
SISTEMA				WGS 84 ZONA 17S		Juan Eugenio Ortiz Barboza											FECHA 24/08/2023																
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)		ABERTURA (mm)		RUGOS.		RELLENO		ALTERAC. METEOR.		AGUA		CALIDAD DE INFORMACIÓN	
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Diaclasa F=F.Normal Fi=F.Inversa Fd=F.Directa mf=Microfalla SE=Sobrees. C=Contacto	Estratificada	σ_{ci}	ND	25	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 = <0.1 3 = 0.1-1 4 = 1-5 5 => >5	1 = Muy Rug. 2 = Rugosa 3 = Lig. Rug. 4 = Ondulad. lis. 5 = Suave	1 = Arcilloso 2 = Oz 3 = Calcita 4 = Óxidos 5 = Roca Tritur.	1 = Ninguna 2 = Duro<5mm 3 = Mod. Alt. 4 = Suave<5mm 5 = Suave>5mm	1 = Inalterada 2 = Lig. Alt. 3 = Mod. Alt. 4 = Muy Alt. 5 = Descomp.	1 = Seco 2 = Lig. Húm. 3 = Humedo 4 = Muy Alt. 5 = Flujo	1 = Lec. Real 2 = Lec. Apar. 3 = Lec. Proy.									
																									Z/R	DIP	DD						
																												3 Golp.	γ_p				
																														3 Golp.			
6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsanita 10=Aragonita 11=Pirrolusita																																	
1	7698958.00	9255295.00	3025.00	Ks-Ca	1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	62	18	152	2	3	4	4	1	5	1	1	1											
2				Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies de juntas rellenadas con arcillas, formando blocosidades tabulares.	1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	65	20	155	2	3	4	4	1	5	1	1	1											
3					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	61	16	151	3	3	4	3	4	2	2	1	1											
4					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	58	22	148	2	2	5	4	1	5	1	1	1											
5					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	55	14	145	2	3	5	4	1	5	1	1	1											
6					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	50	21	140	2	3	4	3	4	2	1	2	1											
7					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	64	20	154	3	2	4	3	4	2	1	1	1											
8					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	51	18	141	2	3	4	3	1	5	2	1	1											
9					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	69	16	159	2	3	4	4	1	5	1	2	1											
10					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	54	23	144	3	3	5	4	1	5	1	1	1											
11					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	52	20	142	2	2	4	4	1	5	1	1	1											
12					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	62	17	152	2	2	4	3	4	2	2	1	1											
13					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	58	18	148	2	3	5	4	1	5	2	2	1											
14					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	54	20	144	2	3	4	3	1	5	1	1	1											
15					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	59	18	149	2	3	4	3	4	2	1	1	1											
16					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	61	19	151	3	3	4	4	1	5	1	1	1											
17					1	3	1	E	R5 (110 MPa)	80.65	53	21	143	2	3	5	3	4	2	2	1	1											
18				Ks-Ca	1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	306	72	36	3	2	5	3	1	5	1	2	1											
19				Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies de juntas rellenadas con arcillas, formando blocosidades tabulares.	1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	309	69	39	3	2	5	3	3	2	1	1	1											
20					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	312	58	42	3	3	5	4	1	5	1	1	1											
21					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	305	62	35	2	2	4	3	1	5	1	1	1											
22					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	303	71	33	3	2	5	4	4	2	2	2	1											
23					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	298	64	28	3	2	5	3	1	5	1	1	1											
24					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	276	68	6	3	3	5	3	3	2	1	1	1											
25					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	301	55	31	2	2	4	4	1	5	1	1	1											
26					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	315	59	45	3	2	5	3	4	2	1	1	1											
27					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	312	67	42	3	2	5	4	1	5	2	1	1											
28					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	309	68	39	3	2	5	3	3	2	1	1	1											
29					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	318	57	48	3	3	4	4	1	5	1	1	1											
30					1	3	1	Disc-1	R5 (110 MPa)	80.65	312	53	42	3	2	5	3	4	2	1	1	1											
31				Ks-Ca	1	3	1	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	226	74	316	1	1	1	4	1	5	1	1	1											
32				Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies de juntas rellenadas con arcillas, formando blocosidades tabulares.	1	3	1	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	194	72	284	1	1	4	4	4	2	1	2	1											
33					1	3	1	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	205	58	295	2	1	4	5	3	2	2	1	1											
34					1	3	1	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	219	62	309	1	2	1	4	1	5	2	1	1											
35					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	200	68	290	1	1	4	5	4	2	1	1	1											
36					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	218	70	308	2	1	4	4	3	2	1	1	1											
37					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	198	69	288	1	1	4	5	4	2	1	1	1											
38					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	224	53	314	1	1	4	5	4	2	1	2	1											
39					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	210	64	300	1	2	1	5	4	2	2	1	1											
40					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	221	61	311	2	1	4	5	1	5	1	1	1											
41					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	220	53	310	1	1	4	4	3	2	1	1	1											
42					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	209	59	299	1	2	1	4	4	2	2	1	1											
43					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	213	63	303	2	2	4	5	4	2	1	1	1											
44					1	3	2	Disc-2	R5 (110 MPa)	80.65	218	54	308	1	1	4	5	3	2	1	1	1											
								Talud			110	78	200																				

Cuadro 5.3. Registro geológico-geotécnico, estación geomecánica EG-03.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				UBICACIÓN		EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA												BENIAWSKY RMR (1989)							
E-3				TAJO DE EXPLOTACIÓN - MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L.		A												Superficie							
CÓDIGO	RESPONSABLE			EJECUTADO POR		FECHA																			
	Juan Eugenio Ortiz Barboza			Juan Eugenio Ortiz Barboza		24/08/2023																			
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN	
								E=Estratificada	D=Diaclasa		ND	10	DIRECCIÓN							TIPO	DUREZA				
	1=Fresco		1=Alto		1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal	σ_{ci}	L	2.50	Prom. Golpes	γ_p	Z/R	DIP	DD	1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real		
2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa		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	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa	4=Fract-Intens(mf=Microfalla	3 Golp.								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.			SE=Sobrees.	5=Compl.									5=<0.06	5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo					
1	769859.00	9255277.00	3025.00	Ks-Ca	1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	68	18	158	2	3	5	3	1	5	1	1	1			
2				Calizas gris azuladas de grano fino, con patinas de arcilla en las juntas, formando bloques tabulares.	1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	61	17	151	2	3	4	3	4	2	1	1	1			
3					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	58	15	148	3	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
4					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	63	13	153	2	3	5	4	1	5	2	2	1	1		
5					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	59	19	149	2	3	4	3	1	5	1	1	1	1		
6					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	64	21	154	2	3	5	3	4	2	1	2	1	1		
7					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	53	17	143	3	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
8					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	61	19	151	2	3	4	4	1	5	1	2	1	1		
9					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	67	16	157	2	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
10					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	54	18	144	2	3	5	3	4	2	1	1	1	1		
11					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	53	20	143	3	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
12					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	62	24	152	3	3	4	4	1	5	2	2	1	1		
13					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	57	23	147	2	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
14					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	52	21	142	2	3	5	3	4	2	1	1	1	1		
15					1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	56	20	146	2	3	5	4	1	5	1	1	1	1		
16				1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	58	16	148	2	3	5	4	1	5	1	2	1	1			
17				1	3	1	E	R5 (115 MPa)	93.84	50	22	140	3	3	5	3	1	5	1	2	1	1			
18				Ks-Ca	1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	125	70	215	3	2	5	3	1	5	1	2	1	1		
19				Calizas gris azuladas de grano fino, con patinas de arcilla en las juntas, formando bloques tabulares.	1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	142	73	232	3	2	5	3	1	5	1	1	1	1		
20					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	126	64	216	2	2	5	4	1	5	1	1	1	1		
21					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	135	57	225	3	3	5	3	4	2	1	1	1	1		
22					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	140	68	230	3	2	5	3	1	5	1	2	1	1		
23					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	138	71	228	3	2	5	3	1	5	2	1	1	1		
24					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	124	52	214	3	3	5	4	1	5	1	1	1	1		
25					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	139	68	229	2	2	5	3	1	5	1	1	1	1		
26					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	141	63	231	3	2	5	3	4	2	1	1	1	1		
27					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	128	59	218	3	3	5	3	1	5	1	1	1	1		
28					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	137	70	227	3	2	5	4	1	5	1	1	1	1		
29					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	126	63	216	2	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
30					1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	143	64	233	3	3	5	3	4	2	1	1	1	1		
31					Ks-Ca	1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	140	57	230	2	2	5	4	1	5	1	1	1	1	
32					Calizas gris azuladas de grano fino, con patinas de arcilla en las juntas, formando bloques tabulares.	1	3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	129	52	219	2	2	5	3	1	5	1	1	1	1	
33				1		3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	137	62	227	3	3	5	3	1	5	1	2	1	1		
34				1		3	1	Disc-1	R5 (115 MPa)	93.84	132	60	222	3	2	5	3	4	2	1	1	1	1		
35				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	228	73	318	2	1	5	4	3	2	1	1	1	1		
36				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	232	68	322	2	1	5	4	3	2	1	1	1	1		
37				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	225	74	315	2	2	5	4	3	2	1	1	1	1		
38				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	228	65	318	3	1	4	4	4	2	1	1	1	1		
39				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	230	70	320	2	1	5	5	3	2	1	1	1	1		
40				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	229	62	319	2	1	5	4	3	2	1	1	1	1		
41				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	234	64	324	2	1	4	5	4	2	1	1	1	1		
42				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	226	71	316	3	2	5	4	3	2	1	1	1	1		
43				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	224	63	314	2	1	5	4	4	2	1	1	1	1		
44				1		3	1	Disc-2	R5 (115 MPa)	93.84	231	70	321	3	1	4	5	4	2	1	1	1	1		
				Talud								152	65	242											

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017



Simbología

- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Centro poblado

Propiedad

- Terreno superficial

Vías

- Trocha carrozable
- Asfaltado

Curvas de nivel

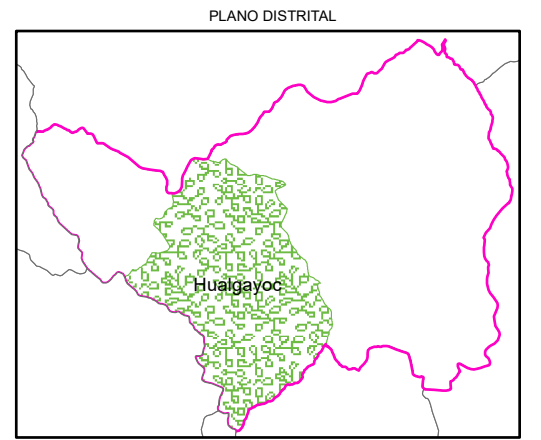
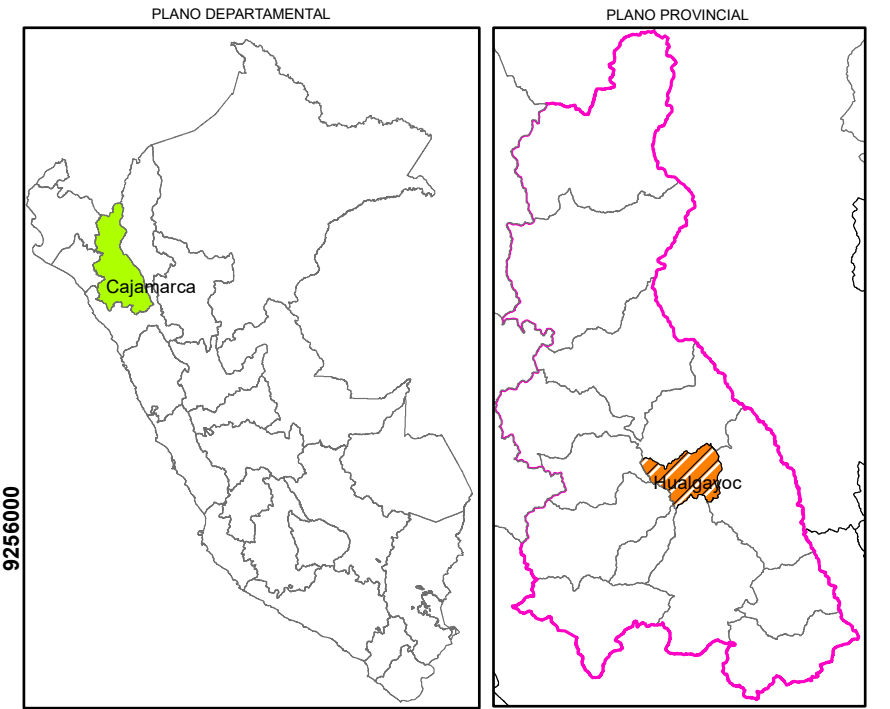
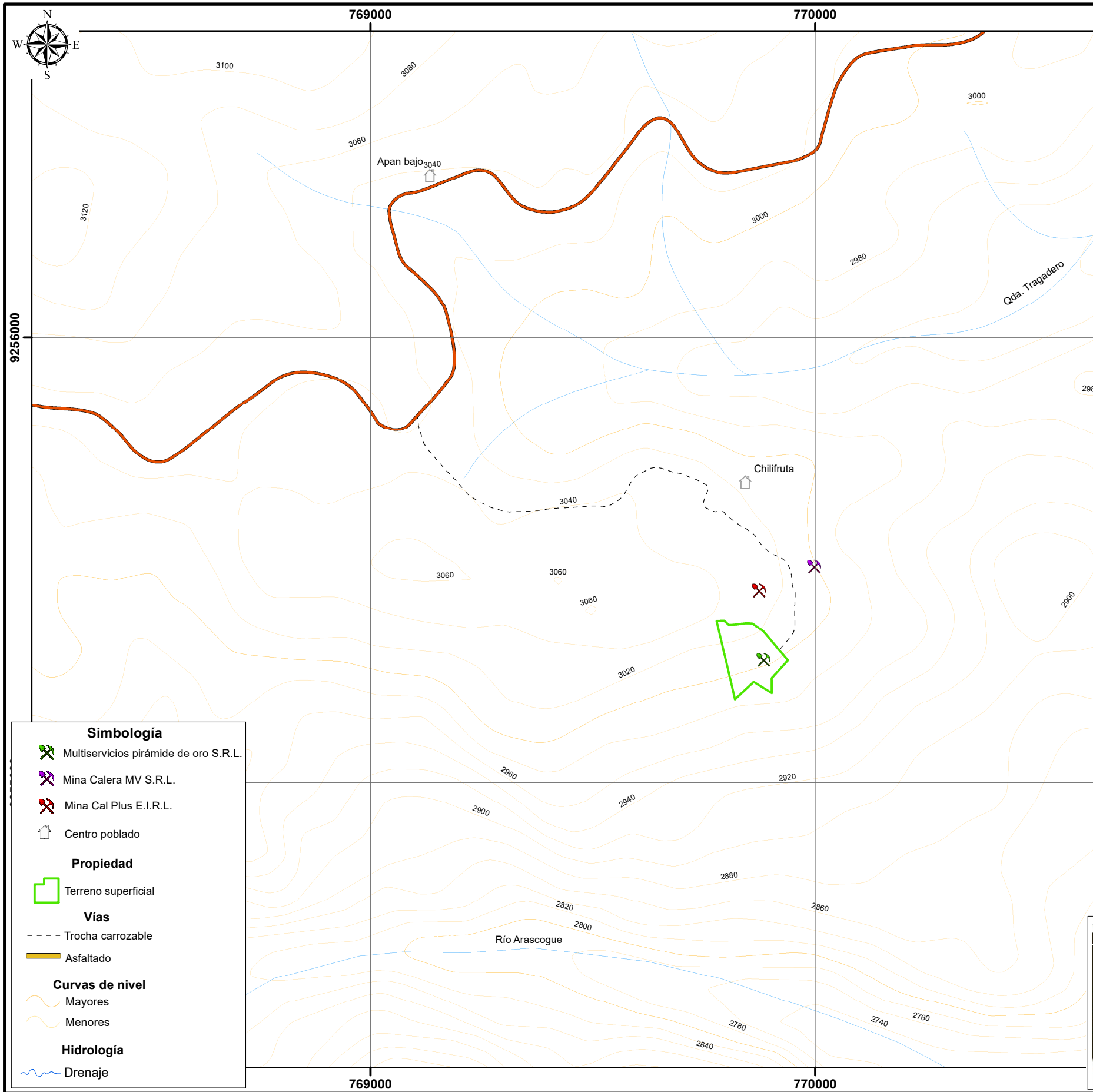
- Mayores
- Menores

Hidrología

- Drenaje



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA		
IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS		
TESISISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO		01
ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO		
ESCALA: 1: 10,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MARZO, 2024



- Simbología**
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 - Mina Calera MV S.R.L.
 - Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Centro poblado
- Propiedad**
- Terreno superficial
- Vías**
- Trocha carrozable
 - Asfaltado
- Curvas de nivel**
- Mayores
 - Menores
- Hidrología**
- Drenaje



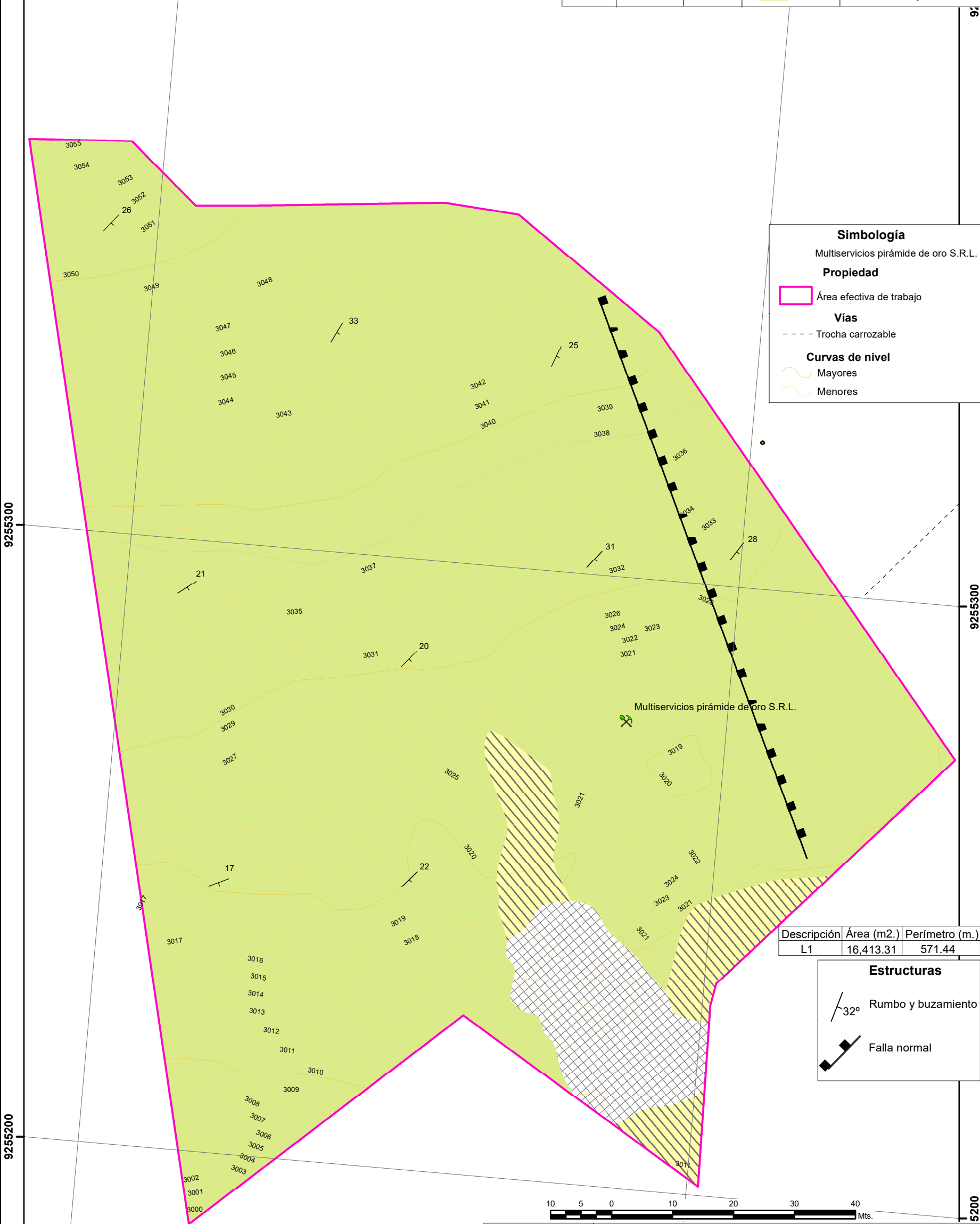
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA		
MDT - MDE - UBICACIÓN		
TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO		
ASESOR: M.C.S. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO		
ESCALA: 1: 10,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MARZO, 2024

02



769800 9255400

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-an	Depósito Antrópico
			Q-de	Depósito Eluvial-deluvial
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Ks-ca	Formación Cajamarca



Simbología	
Multiservicios pirámide de oro S.R.L.	
Propiedad	
	Área efectiva de trabajo
Vías	
	Trocha carrozable
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores

Descripción	Área (m ² .)	Perímetro (m.)
L1	16,413.31	571.44

Estructuras	
	Rumbo y buzamiento
	Falla normal



9255300

9255200

91

9255300

5200

769800



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

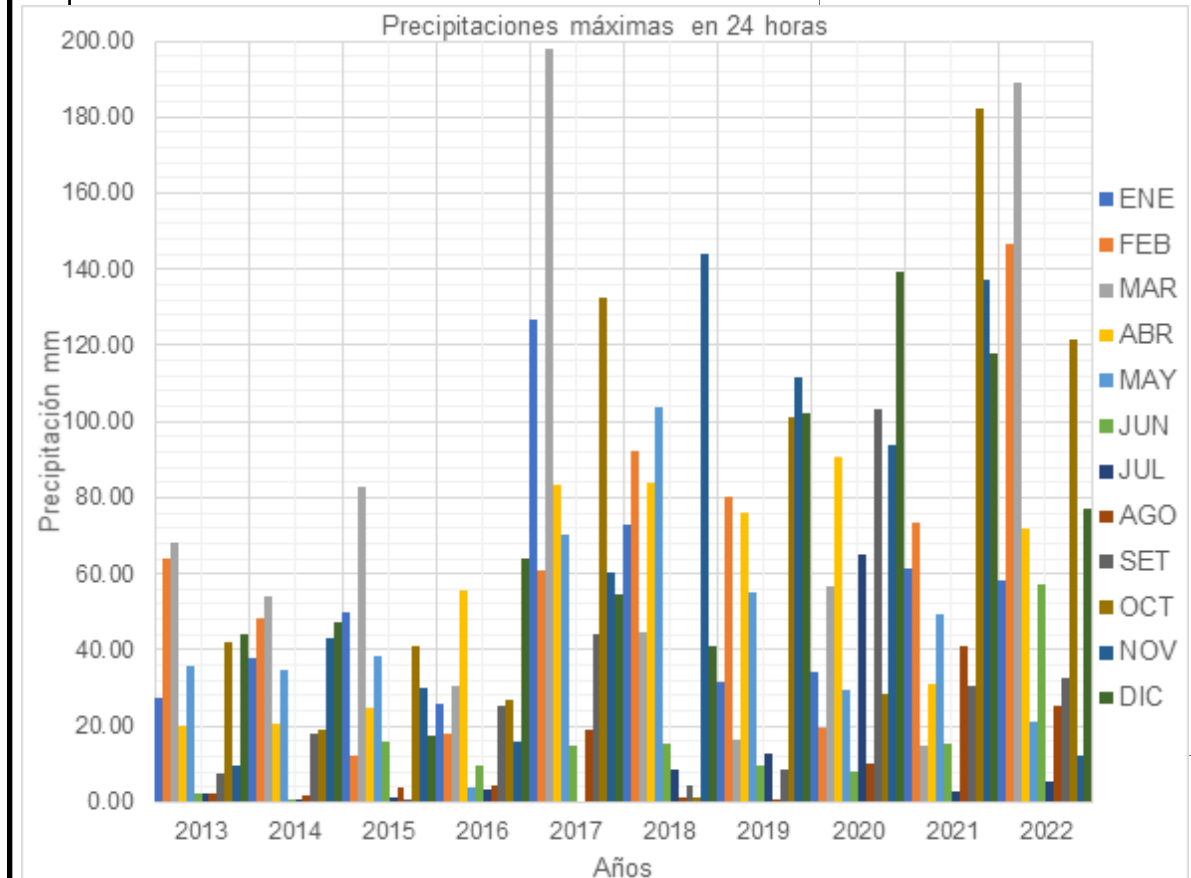
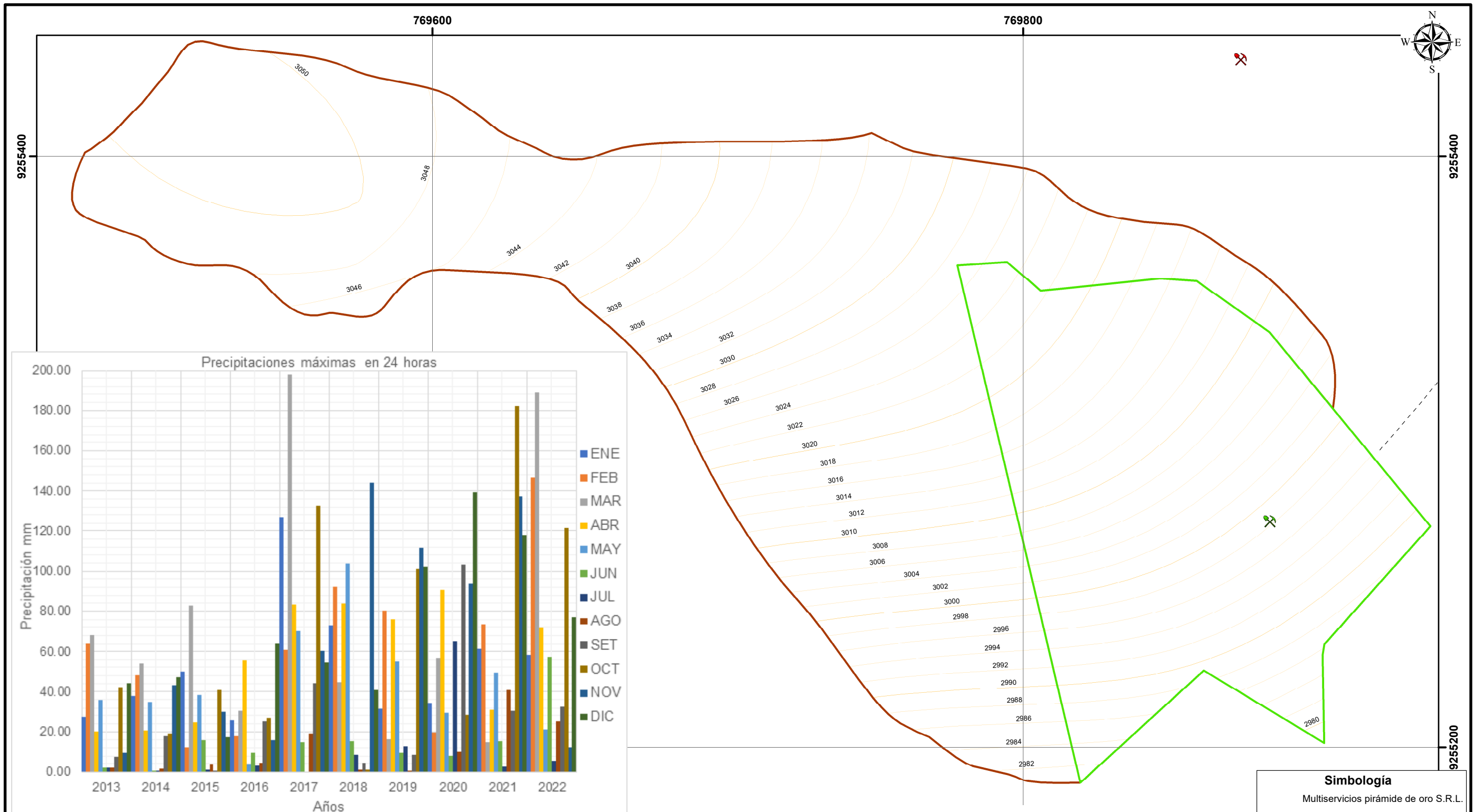
GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL

TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO

ASESOR: M.C.S. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO


ESCALA: 1: 660 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

PLANO: **03**



Resultados de la microcuenca - precipitación de agua

Nombre de micro-cuenca	Área (Km ²)	Long. de cauce principal (Km.)	Cota mayor (msnm.)	Cota menor (msnm.)	Pendiente (m/m)	Tc (min.)	Precipitación promedio (mm./año)
MC-01	0.035	0.334	3,051.000	2,981.00	0.21	10.38	559.39



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

HIDROLÓGICO

TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO

ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

ESCALA: 1:1,350 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

PLANO: **04**



Simbología

Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 Mina Cal Plus E.I.R.L.

Propiedad

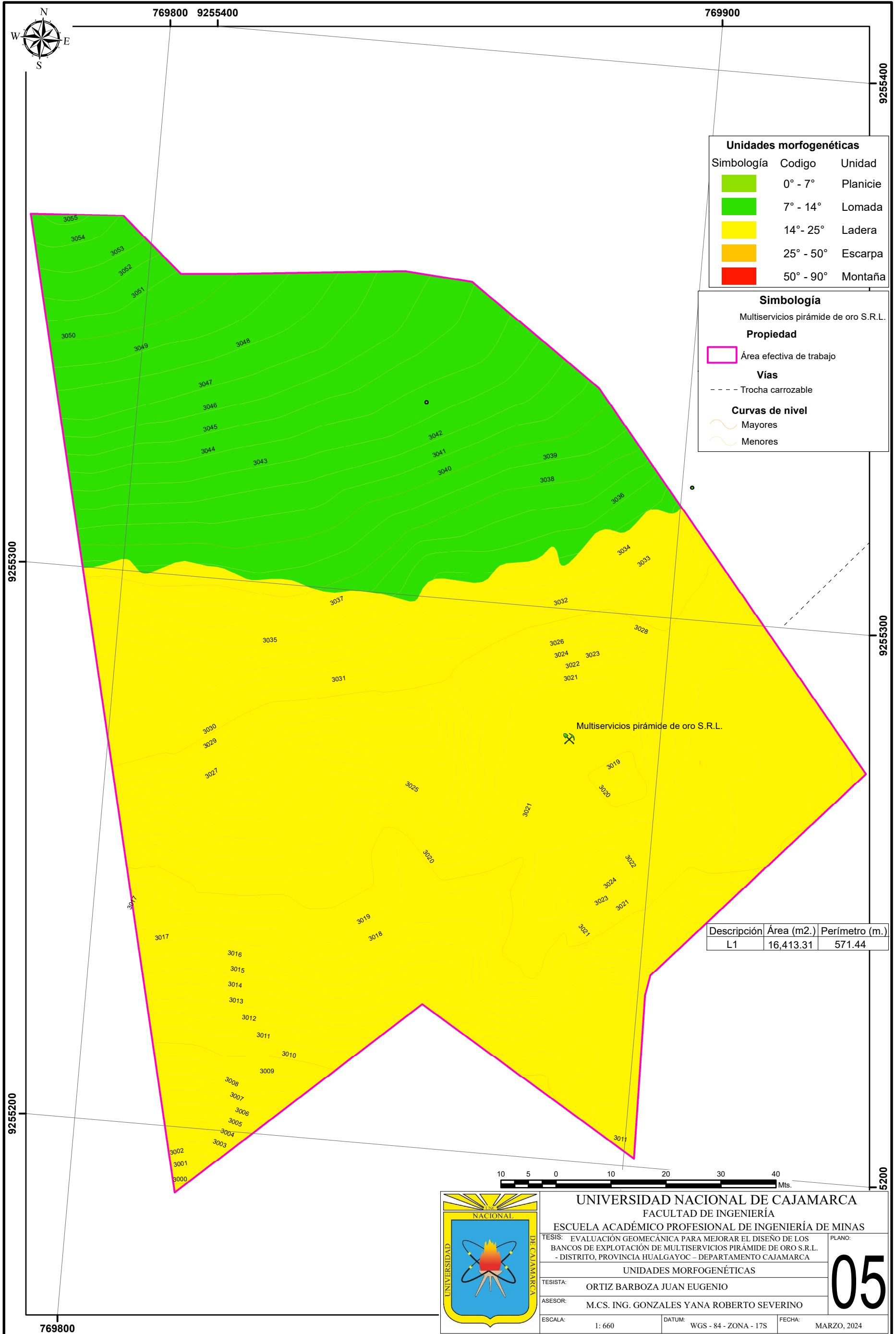
Terreno superficial

Vías

Trocha carrozable

Curvas de nivel

Mayores
 Menores



Unidades morfo genéticas

Simbología	Codigo	Unidad
	0° - 7°	Planicie
	7° - 14°	Lomada
	14° - 25°	Ladera
	25° - 50°	Escarpa
	50° - 90°	Montaña

Simbología

Multiservicios pirámide de oro S.R.L.

Propiedad

Área efectiva de trabajo

Vías

Trocha carrozable

Curvas de nivel

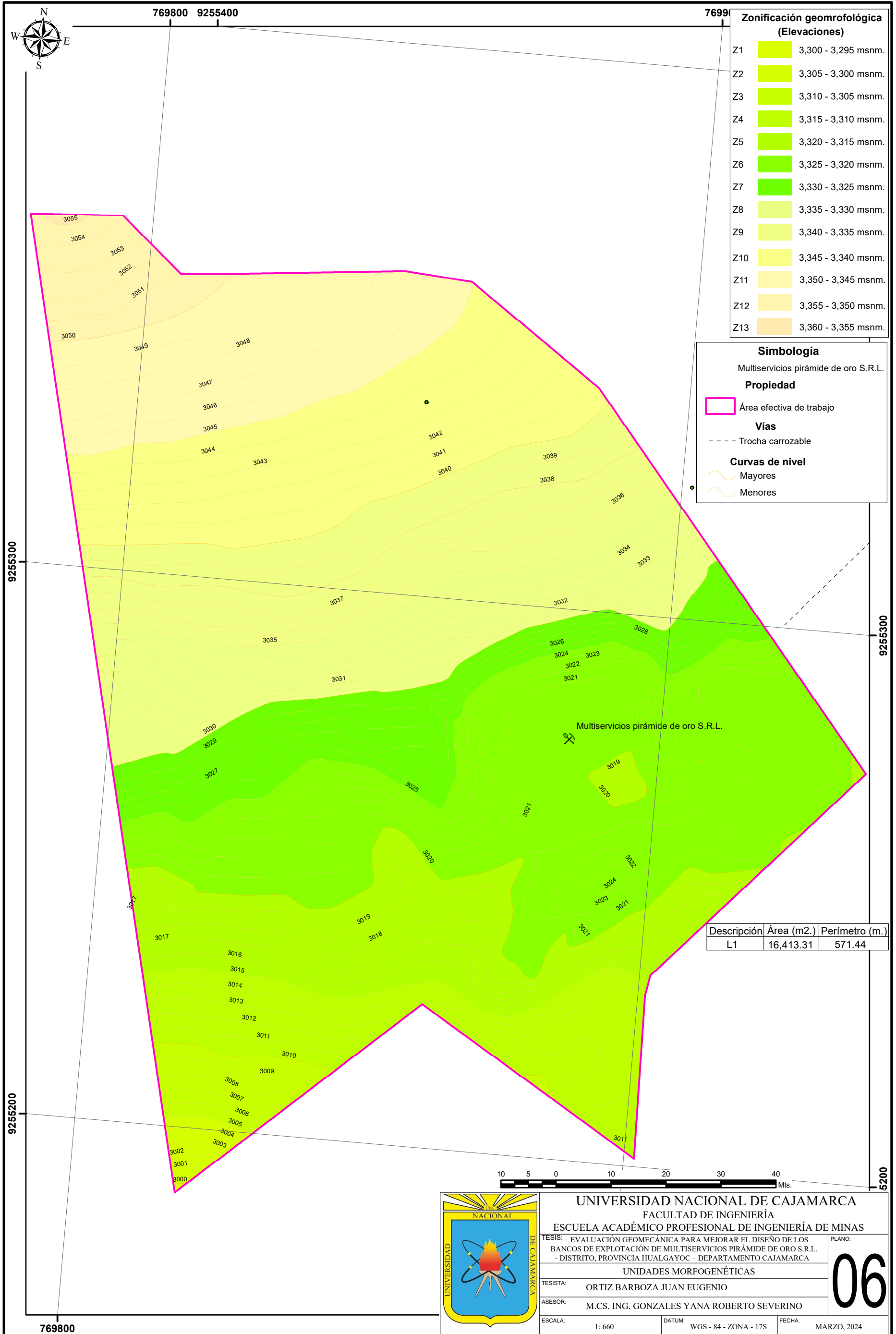
Mayores

Menores

Descripción	Área (m2.)	Perímetro (m.)
L1	16,413.31	571.44



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO CAJAMARCA		PLANO:
UNIDADES MORFOGENÉTICAS		05
TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO		
ASESOR: M.C.S. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO		
ESCALA: 1: 660	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MARZO, 2024



Zonificación geomorfológica (Elevaciones)

Z1	3,300 - 3,295 msnm.
Z2	3,305 - 3,300 msnm.
Z3	3,310 - 3,305 msnm.
Z4	3,315 - 3,310 msnm.
Z5	3,320 - 3,315 msnm.
Z6	3,325 - 3,320 msnm.
Z7	3,330 - 3,325 msnm.
Z8	3,335 - 3,330 msnm.
Z9	3,340 - 3,335 msnm.
Z10	3,345 - 3,340 msnm.
Z11	3,350 - 3,345 msnm.
Z12	3,355 - 3,350 msnm.
Z13	3,360 - 3,355 msnm.

Simbología

Multiservicios pirámide de oro S.R.L.

Propiedad

Área efectiva de trabajo

Vías

Trocha carrozable

Curvas de nivel

Mayores

Menores

Descripción	Área (m2.)	Perímetro (m.)
L1	16,413.31	571.44



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

UNIDADES MORFOGENÉTICAS

TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO

ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

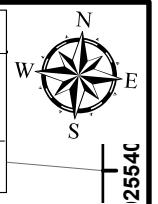
ESCALA: 1: 660 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

PLANO: **06**

Calidad de roca mediante los criterios empíricos

Estación	σ_{ci} (MPa)	Clasificaciones empíricas					Calidad
		RDQ	Calidad	RMR	Calidad	GSI	
E-1	120	84.42	Buena	73	Buena	68	Buena
E-2	110	80.65	Buena	69	Buena	64	Buena
E-3	115	93.84	Buena	75	Buena	70	Buena

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-an	Depósito Antrópico
			Q-de	Depósito Eluvial-deluvial
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Ks-ca	Formación Cajamarca

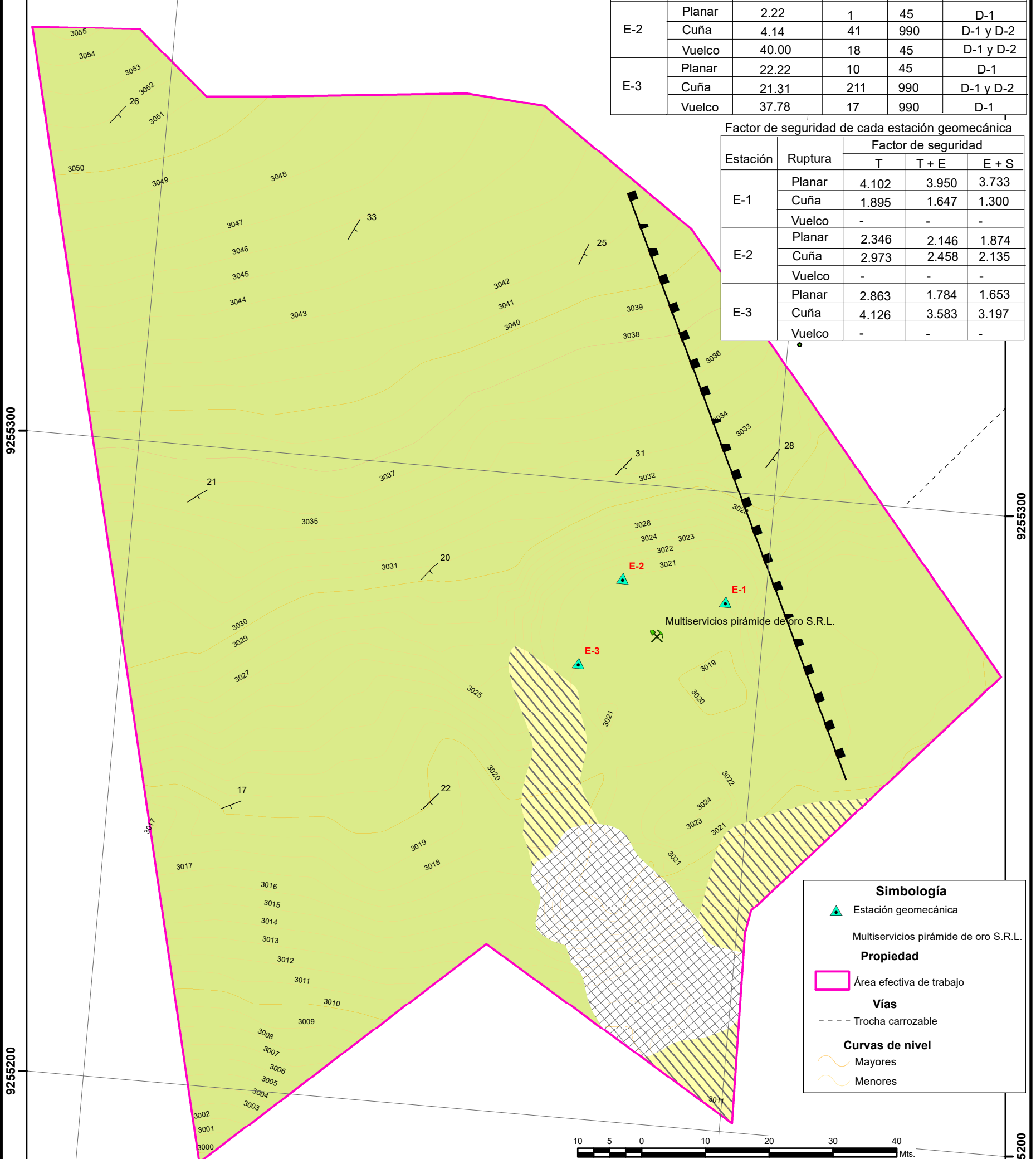


Constantes elásticas Hoek-Brown y Mohr-Coulomb

Estación	Criterio Hoek - Brown							Criterio Mohr - Coulomb	
	mi	D	Ei (MPa.)	mb	s	Em (MPa.)	a	c(MPa.)	φ°
E-1	12	1.00	96,000	1.22	0.0048	18,531.31	0.501	5.58	27.85
E-2	12	1.00	82,500	0.92	0.0025	12,743.83	0.503	4.55	25.61
E-3	12	1.00	86,250	1.41	0.0100	18,469.60	0.502	5.69	28.98

Análisis cinemático en relación de probabilidad de ruptura

Estación	Ruptura	Probabilidad de falla (%)	Número de juntas		Inestabilidad de junta
			Criticas	Total	
E-1	Planar	4.44	2	45	D-1
	Cuña	5.57	55	988	E y D-2
	Vuelco	31.11	41	45	D-2
E-2	Planar	2.22	1	45	D-1
	Cuña	4.14	41	990	D-1 y D-2
	Vuelco	40.00	18	45	D-1 y D-2
E-3	Planar	22.22	10	45	D-1
	Cuña	21.31	211	990	D-1 y D-2
	Vuelco	37.78	17	990	D-1



Factor de seguridad de cada estación geomecánica

Estación	Ruptura	Factor de seguridad		
		T	T + E	E + S
E-1	Planar	4.102	3.950	3.733
	Cuña	1.895	1.647	1.300
	Vuelco	-	-	-
E-2	Planar	2.346	2.146	1.874
	Cuña	2.973	2.458	2.135
	Vuelco	-	-	-
E-3	Planar	2.863	1.784	1.653
	Cuña	4.126	3.583	3.197
	Vuelco	-	-	-

Simbología

- Estación geomecánica (Red triangle)
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Propiedad**
- Área efectiva de trabajo (Pink outline)
- Vías**
- Trocha carrozable (Dashed line)
- Curvas de nivel**
- Mayores (Thick yellow line)
- Menores (Thin yellow line)

Estructuras

- Rumbo y buzamiento (Arrow with 32°)
- Falla normal (Thick black line with ticks)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

PLANO: **07**

GEOMECÁNICO

TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO

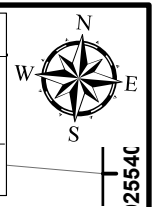
ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

ESCALA: 1:660 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

Calidad de roca mediante los criterios empíricos

Estación	σ_{ci} (MPa)	Clasificaciones empíricas					Calidad
		RDQ	Calidad	RMR	Calidad	GSI	
E-1	120	84.42	Buena	73	Buena	68	Buena
E-2	110	80.65	Buena	69	Buena	64	Buena
E-3	115	93.84	Buena	75	Buena	70	Buena

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-an	Depósito Antrópico
			Q-de	Depósito Eluvial-deluvial
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Ks-ca	Formación Cajamarca

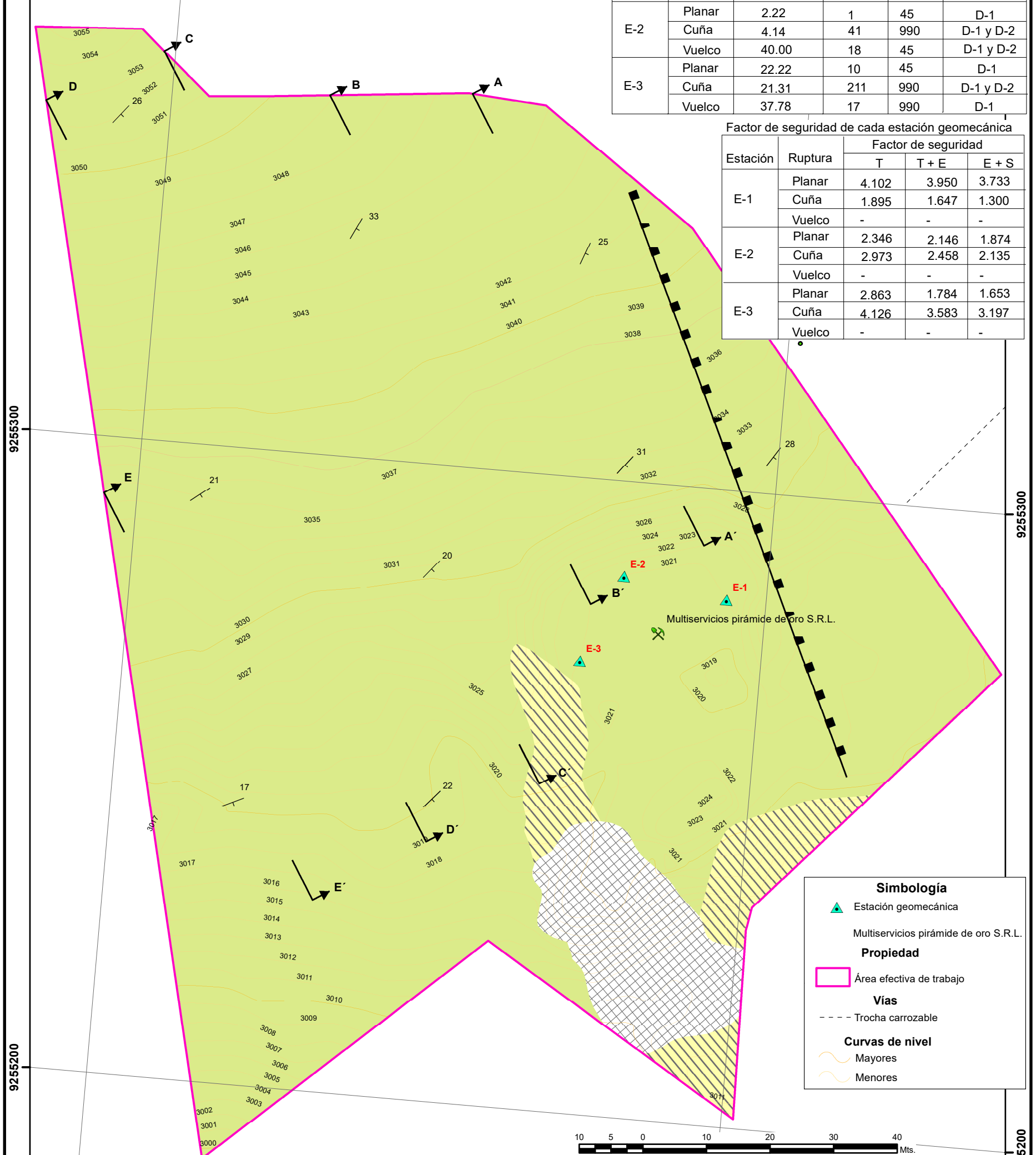


Constantes elásticas Hoek-Brown y Mohr-Coulomb

Estación	Criterio Hoek - Brown							Criterio Mohr - Coulomb	
	mi	D	Ei (MPa.)	mb	s	Em (MPa.)	a	c(MPa.)	φ°
E-1	12	1.00	96,000	1.22	0.0048	18,531.31	0.501	5.58	27.85
E-2	12	1.00	82,500	0.92	0.0025	12,743.83	0.503	4.55	25.61
E-3	12	1.00	86,250	1.41	0.0100	18,469.60	0.502	5.69	28.98

Análisis cinemático en relación de probabilidad de ruptura

Estación	Ruptura	Probabilidad de falla (%)	Número de juntas		Inestabilidad de junta
			Criticas	Total	
E-1	Planar	4.44	2	45	D-1
	Cuña	5.57	55	988	E y D-2
	Vuelco	31.11	41	45	D-2
E-2	Planar	2.22	1	45	D-1
	Cuña	4.14	41	990	D-1 y D-2
	Vuelco	40.00	18	45	D-1 y D-2
E-3	Planar	22.22	10	45	D-1
	Cuña	21.31	211	990	D-1 y D-2
	Vuelco	37.78	17	990	D-1



Factor de seguridad de cada estación geomecánica

Estación	Ruptura	Factor de seguridad		
		T	T + E	E + S
E-1	Planar	4.102	3.950	3.733
	Cuña	1.895	1.647	1.300
	Vuelco	-	-	-
E-2	Planar	2.346	2.146	1.874
	Cuña	2.973	2.458	2.135
	Vuelco	-	-	-
E-3	Planar	2.863	1.784	1.653
	Cuña	4.126	3.583	3.197
	Vuelco	-	-	-

Simbología

- ▲ Estación geomecánica
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Propiedad**
- Área efectiva de trabajo
- Vías**
- Trocha carrozable
- Curvas de nivel**
- ~ Mayores
- ~ Menores

Estructuras

- ↘ 32° Rumbo y buzamiento
- ▬ Falla normal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

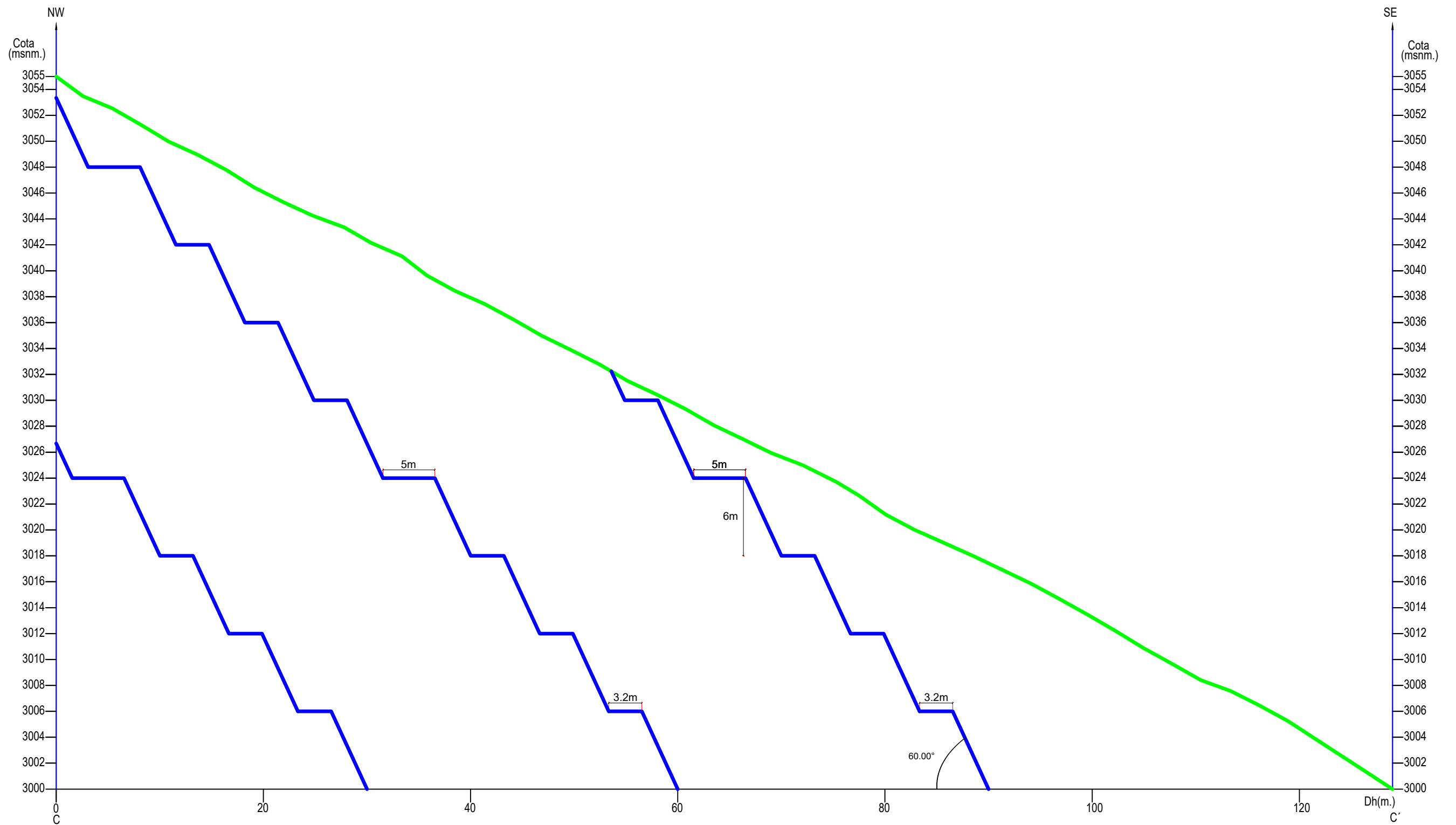
SECCIONES DE CORTE DEL TAJO

TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO

ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

ESCALA: 1:660 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

PLANO: **08**



Sección de corte C - C'

 Topografía original

 Sección de proyectada de corte



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS BANCOS DE EXPLOTACIÓN DE MULTISERVICIOS PIRÁMIDE DE ORO S.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA		PLANO: S-01
SECCIONES DE CORTE C - C'		
TESISTA: ORTIZ BARBOZA JUAN EUGENIO		
ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO		
ESCALA: 1/360	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MARZO, 2024