

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE
EXPLORACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. –
APAN BAJO - HUALGAYOC – CAJAMARCA**

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS**

Autor:

Bachiller: Quiliche Ortiz Rubén

Asesor

MCs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** QUILICHE ORTIZ, RUBEN
DNI: 48540315
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 EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. – APAN BAJO - HUALGAYOC – CAJAMARCA
- Fecha de evaluación:** 05/11/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 20%
- Código Documento:** oid:3117:402160805
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 05/11/2024



FIRMA DEL ASESOR
Roberto Severino Gonzales Yana
DNI: 29441681



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 05/11/2024 17:59:14-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

Mi más grato agradecimiento a Dios por siempre guiarme y protegerme en cada etapa de vida, siendo la luz que me guía en cada momento o paso de voy escalando en mi éxito profesional, a la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la escuela profesional de Ingeniera de Minas y también los docentes o catedráticos por impartir su conocimiento profesional en proyectos mineros superficiales y subterráneos, siendo de vital importancia, para complementar mi formación académica. Así mismo agradezco a mí: Papá, mamá y hermanos, porque siempre me siguen guiando por el camino correcto, como: Hijo, amigo y futuro profesional; y también unas palabras de agradecimiento a mi asesor: MCs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, por haber aceptado y compartido su conociendo profesional para la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

Con un profundo agradecimiento y cariño dedico esta tesis a mi familia. A mis padres, por su ejemplo y orientación; a mis hermanos, quienes con su amor incondicional y apoyo inquebrantable me han permitido alcanzar este logro. y a mi hijo querido Gael, por ser mi razón de ser y mi mayor motivación para seguir adelante. Juntos han hecho posible este logro, y por eso, les agradezco desde el fondo de mi corazón.

ÍNDICE

| | Pág. |
|-----------------------------|-------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| LISTA DE ABREVIATURAS | vii |
| LISTA DE TABLAS | ix |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE PLANOS | xvi |
| RESUMEN | xvii |
| ABSTRACT | xviii |

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

| | |
|--------------------|---|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
|--------------------|---|

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN | 3 |
| 2.1.1 | Antecedentes Internacionales | 3 |
| 2.1.2 | Antecedentes Nacionales | 3 |
| 2.1.3 | Antecedentes Locales | 5 |
| 2.2 | BASES TEÓRICAS | 7 |
| 2.2.1 | CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS EMPÍRICAS | 7 |
| 2.2.2 | MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA | 12 |
| 2.2.3 | PARÁMETROS DE DISEÑO DE TALUDES | 14 |
| 2.2.4 | PARÁMETROS DE FACTORES OPERATIVOS DISEÑO DE TAJOS | 17 |
| 2.3 | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS | 18 |

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

| | Pág. |
|--|------|
| 3.1 UBICACIÓN..... | 20 |
| 3.2 ACCESIBILIDAD | 22 |
| 3.3 CLIMA Y PRECIPITACIÓN..... | 23 |
| 3.4 HIDROLOGÍA..... | 31 |
| 3.5 HIDROGEOLOGÍA | 34 |
| 3.6 GEOLOGÍA LOCAL | 34 |
| 3.6.1 CRETÁCEO SUPERIOR | 34 |
| 3.6.2 HOLOCENO | 35 |
| 3.7 GEOMORFOLOGÍA | 36 |
| 3.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 41 |
| 3.9 GEOMECÁNICA DE ROCAS | 43 |
| 3.9.1 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-01..... | 44 |
| 3.9.2 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-02..... | 49 |
| 3.9.3 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-03..... | 54 |
| 3.9.4 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-04..... | 59 |
| 3.10 DISEÑO DE EXPLOTACIÓN..... | 64 |
| 3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 65 |
| 3.11.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN | 65 |
| 3.11.2 POBLACIÓN | 66 |
| 3.11.3 MUESTRA..... | 67 |
| 3.11.4 UNIDAD DE ANÁLISIS..... | 67 |
| 3.11.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 67 |
| 3.11.6 EQUIPOS, MATERIALES Y SOPORTE COMPUTACIONAL | 68 |

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 4.1 GEOMECÁNICA DEL METODO DE EXPLOTACIÓN..... | 70 |
| 4.2 CARTOGRAFIADO LITOLÓGICO-GEOESTRUCTURAL | 74 |
| 4.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y DISEÑO DEL TAJO IV..... | 75 |
| 4.4 CONSTATAción DE LA HIPÓTESIS | 76 |

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Pág. |
|--|------------|
| 5.1 CONCLUSIONES | 77 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 78 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |
| ANEXOS..... | 84 |
| A. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA | 85 |
| B. CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO..... | 86 |
| C. PLANOS..... | 90 |
| D. SECCIÓN DE MINADO DE TAJO | 100 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | | |
|--------------------------|---|---|
| DT | : | Depósito de Talud. |
| ECA | : | Estándares de Calidad Ambiental. |
| 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'_{max} | : | Resistencia a la tracción |
| σ_1 | : | Esfuerzo principal mayor. |
| σ_2 | : | Esfuerzo principal intermedio. |
| σ_3 | : | Esfuerzo principal menor. |
| τ | : | Esfuerzo de corte. |
| σ_n | : | Esfuerzo normal. |
| σ'_{cm} | : | Resistencia del macizo rocoso. |
| σ_v | : | Esfuerzo vertical. |
| c | : | Cohesión. |
| φ | : | Ángulo de fricción. |
| E_i | : | Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa. |
| E_m | : | Módulo de deformación. |
| MR | : | Relación del módulo. |
| D | : | Factor de disturbancia. |
| RQD | : | Índice de Calidad de Roca. |
| RMR | : | Valoración de la Masa Rocosa. |
| GSI | : | Índice de Resistencia Geológica. |
| SMR | : | Valoración de Taludes Rocosos. |
| SSR | : | Índice de Estabilidad de Taludes. |
| $Is_{(50)}$ | : | Índice de resistencia de carga puntual. |
| Vb | : | Volumen de bloque. |

| | | |
|----------------------|---|------------------------------------|
| Jc | : | Factor de estado de diaclasas. |
| Ψ_T | : | Buzamiento del talud. |
| α_T | : | Ángulo de talud. |
| $\alpha_{T_{Final}}$ | : | Ángulo de talud final. |
| b | : | Ancho de berma. |
| hb | : | Altura berma. |
| qb | : | Ancho de quebradura. |
| R | : | Rampa. |
| P | : | Pendiente. |
| B | : | Burden. |
| S | : | Espaciado. |
| SP | : | Sobreperforación. |
| T | : | Longitud de taco. |
| T_L | : | Profundidad de taladro. |
| L_c | : | Longitud de carga. |
| QCC | : | Concentración de carga de columna. |
| V_r | : | Volumen por romper por taladro. |
| R2, R3... | : | Grado de estimación de roca. |
| λ | : | Landa. |
| δ | : | Peso específico. |
| E | : | Estrato. |
| T | : | Talud. |
| 14-f | : | Cuadrángulo geológico. |
| FoS | : | Factor de seguridad. |
| PoF | : | Probabilidad de falla. |
| PR | : | Probabilidad de ruptura. |
| MC-I | : | Microcuenca. |
| ANFO | : | Nitrato de amonio. |
| f'_c | : | Resistencia. |
| m/m | : | Pendiente. |
| T_c | : | Tiempo de concentración. |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 2.1. Índice de calidad de roca (RQD) de Deere et al., (1967). Fuente: Gavilanes y Andrade (2004). | 8 |
| Tabla 2.2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski RMR89. Fuente: González de Vallejo (2002). | 9 |
| Tabla 2.3. Corrección por orientación de discontinuidades. Fuente: González de Vallejo (2002). | 10 |
| Tabla 2.4. Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR. Fuente: González de Vallejo (2002). | 10 |
| Tabla 2.5. Índice Geológico de Resistencia (GSI). Fuente: Hoek (2002). | 12 |
| Tabla 3.1. Coordenadas del derecho minero Colquirrumi N° 49 | 19 |
| Tabla 3.2. Coordenadas del terreno superficial. | 20 |
| Tabla 3.3. Ruta de accesibilidad Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L. | 22 |
| Tabla 3.4. Datos meteorológicos del año 2020. Fuente: SENAMHI (2020). | 25 |
| Tabla 3.5. Datos meteorológicos del año 2021. Fuente: SENAMHI (2021). | 26 |
| Tabla 3.6. Datos meteorológicos del año 2022. Fuente: SENAMHI (2022). | 27 |
| Tabla 3.7. Datos meteorológicos del año 2023. Fuente: SENAMHI (2023). | 28 |
| Tabla 3.8. Datos meteorológicos del año 2024. Fuente: SENAMHI (2024). | 29 |
| Tabla 3.9. Parámetros geomorfológicos de la microcuenca, Tajo IV - Empresa Cal Plus E.I.R.L. | 31 |

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 3.10. Precipitación máxima en 24 horas, aplicando la altitud media de la microcuenca del Tajo IV. | 31 |
| Tabla 3.11. Estimación de reservas no metálicas del proyecto para el Tajo IV - empresa Cal Plus E.I.R.L. | 62 |
| Tabla 4.1. Probabilidad de ruptura rocosa por software Dips del Tajo IV de explotación de roca de la empresa Cal Plus E.I.R.L. | 71 |
| Tabla 4.2. Porcentaje de análisis cinemático por diagrama: Pi y beta, por software Dips - Tajo IV de explotación de roca de la empresa Cal Plus E.I.R.L. | 71 |
| Tabla 4.3. Resultados de caracterización geomecánica del área de explotación de Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L. | 73 |
| Tabla 5.1. Registro geológico-geomecánico EG-01. | 84 |
| Tabla 5.2. Registro geológico-geomecánico EG-02. | 85 |
| Tabla 5.3. Registro geológico-geomecánico EG-03. | 86 |
| Tabla 5.4. Registro geológico-geomecánico EG-04. | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 2.1. Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. C. Vallejo (2011). Fuente: Guía de criterios Geomecánicos. Osinergmin (2017). | 11 |
| Figura 2.2. Clasificación de los sistemas mineros Fuente: Herrera (2006). | 14 |
| Figura 2.3. Terminología de la cara libre del tajo. Fuente: Read y Stacey (2006). | 15 |
| Figura 2.4. Presentación de la geología estructural en falsilla, y evaluación preliminar de la estabilidad de los taludes de la mina propuesta a tajo abierto. Fuente: Wyllie y Mah (2004). | 16 |
| Figura 3.1. Ubicación de concesión Colquirrumi N° 49 | 20 |
| Figura 3.2. Ubicación del Tajo IV empresa Cal Plus E.I.R.L., para el diseño geométrico de minado de roca caliza. Coordenadas: N9´255,348, E770,395 y H2,953. | 21 |
| Figura 3.3. Ruta de accesibilidad del relieve desde: Cajamarca al cruce Apan Bajo (Calera Cal Plus EIRL). Fuente: Google Maps (2024). | 23 |
| Figura 3.4. Ruta de accesibilidad Apan Bajo a Tuco Huawana Fuente: SASPlanet (2024). | 24 |
| Figura 3.5. Diagrama estadístico meteorológico – estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2020). | 25 |
| Figura 3.6. Diagrama estadístico meteorológico – estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2021). | 26 |

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 3.7. Diagrama estadístico meteorológico – estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2022). | 27 |
| Figura 3.8. Diagrama estadístico meteorológico – estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2023). | 28 |
| Figura 3.9. Diagrama estadístico meteorológico – estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2024). | 29 |
| Figura 3.10. Vista panorámica de la ubicación y orientación del río Hualgayoc-Arascorgue, localizada en el fondo delimitado por el color celeste, delimitado por laderas y lomadas a 820 m. de las operaciones mineras de extracción de roca caliza. Coordenadas: N9´255,378, E770,444 y H2,944. | 30 |
| Figura 3.11. Diagrama estadístico meteorológico de la precipitación máxima mensual, desde año: 2013 a 2024. Fuente: SENAMHI (2024). | 32 |
| Figura 3.12. Histograma anual en relación con la precipitación de concentración de agua pluvial. Fuente: SENAMHI (2013-2023). | 32 |
| Figura 3.13. Caliza de espesor: 0.25 m. a 0.60 m. de la Formación Cajamarca, con estratos calcáreas horizontales a sub horizontales, con buzamiento a favor del tajo IV. Coordenadas: N9´255,238, E770,428 y H2,945. | 35 |
| Figura 3.14. Depósito Aluvial de consistencia firme, humedad natural semiseca, estructura fisurada, tenacidad y plasticidad: Alta, color castaño, composición limo-arcillosa, plasticidad: Alta, cementación moderada y resistencia media, cubriendo a la roca caliza. Coordenadas: N9´255,262, E770,505 y H2,936. | 36 |

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 3.15. Geoformas de la parte baja del Tajo IV de explotación, conformadas por: Planicies y lomadas, con superficies planas a onduladas desde pendientes: 0° a 16°. Coordenadas: N9´255,311, E770,503 y H2,939. | 37 |
| Figura 3.16. Ladera con pendiente 22°, ubicada al NE del tajo de explotación constituida por rocas calizas. Coordenadas: N9´255,392, E770,443 y H2,944. | 38 |
| Figura 3.17. La pendiente casi vertical de la escarpa está cubierta por una alfombra de vegetación, con plantas que se aferran a la roca calcárea. | 38 |
| Figura 3.18. Formación de depresiones en la roca calcárea por la disolución de la caliza, por la incidencia de las aguas meteóricas en la roca, formando oquedades de dimensiones 0.35 m. a 0.50 m. y profundidad 0.40 m. Coordenadas: N9´255,328, E770,334 y H2,963. | 39 |
| Figura 3.19. Grado de incidencia de erosión de la roca caliza, en la superficie del tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L. Coordenadas: N9´255,226, E770,387 y H2,951. | 40 |
| Figura 3.20. Lenares de longitud: 0.10 m. a 0.30 m., con surcos: 1.00 cm. a 1.50 cm. y profundidad de disolución: 8 mm. a 1.00 cm.; formándose en la superficie de la roca caliza, distribuidos homogéneamente por los planos de discontinuidades de la roca. Coordenadas: N9´255,394, E770,382 y H2,951. | 40 |
| Figura 3.21. Falla geología inversa regional de orientación Az/Bz: N155°/36°SW ubicada en la carretera Hualgayoc – Bambamarca. Coordenadas: N9´255,181, E767,589 y H3,105. | 42 |
| Figura 3.22. Alineamiento de zona de asentamiento de Falla geología regional ubicada en el margen izquierdo del área de operaciones relacionándose con el río Arascorgue, proyectándose en la carretera Hualgayoc – Bambamarca. | 42 |

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 3.23. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-01. | 44 |
| Figura 3.24. Probabilidad de ruptura planar es 33.33% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud. EG-01. | 45 |
| Figura 3.25. Probabilidad de ruptura en cuña es 29.93% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. EG-01. | 46 |
| Figura 3.26. Probabilidad de ruptura por vuelco es 0.00% para el desbroce de roca, al favor del talud. EG-01. | 47 |
| Figura 3.27. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 28.89% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia D-1 a favor del talud. EG-01. | 48 |
| Figura 3.28. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-02. | 49 |
| Figura 3.29. Probabilidad de ruptura planar es 20% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud. EG-02. | 50 |
| Figura 3.30. Probabilidad de ruptura en cuña es 28.59% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación directa. EG-02. | 51 |
| Figura 3.31. Probabilidad de ruptura por vuelco es 0.00% para el desbroce de roca, al favor del talud. EG-02. | 52 |
| Figura 3.32. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 51.11% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia D-2 a favor del talud. EG-02. | 53 |

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 3.33. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-03. | 54 |
| Figura 3.34. Probabilidad de ruptura planar es 2.22% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud. EG-03. | 55 |
| Figura 3.35. Probabilidad de ruptura en cuña es 4.34% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. EG-03. | 56 |
| Figura 3.36. Probabilidad de ruptura por vuelco es 0.00% para el desbroce de roca, al favor del talud. EG-03. | 57 |
| Figura 3.37. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 37.78% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia E a favor del talud. EG-03. | 58 |
| Figura 3.38. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-04. | 59 |
| Figura 3.39. Probabilidad de ruptura planar con 15.56% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud. EG-04. | 60 |
| Figura 3.40. Probabilidad de ruptura en cuña con 12.63% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y E; en orientación indirecta. EG-04. | 61 |
| Figura 3.41. Probabilidad de ruptura por vuelco es 6.67% para el desbroce de roca, englobando al polo de familia: D-2; al favor del talud. EG-04. | 62 |
| Figura 3.42. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 28.89% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia E a favor del talud. EG-04. | 63 |

LISTA DE PLANOS

| | Pág. |
|--|------|
| PLANO 01 SATELITAL SASPLANET – BING MAPS | 90 |
| PLANO 02 MDT - MDE – UBICACIÓN | 91 |
| PLANO 03 SUPERPOSICIÓN DE TERRENO Y CONCESIÓN MINERA | 92 |
| PLANO 04 ÁREA EFECTIVA DE TRABAJO | 93 |
| PLANO 05 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL | 94 |
| PLANO 06 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL | 95 |
| PLANO 07 CUENCA HIDROLÓGICA | 96 |
| PLANO 08 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS | 97 |
| PLANO 09 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES - MDE | 98 |
| PLANO 10 GEOMECÁNICO | 99 |
| PLANO S-01 SECCIÓN DE MINADO DE TAJO | 100 |

RESUMEN

El Tajo IV de explotación Litológicamente está emplazada en la Formación Cajamarca constituida por unidades sedimentarias de calizas gris claro, constituyendo niveles: Horizontales a subhorizontales de espesores uniformes, con fractura concoidea a ganchuda por su textura: Vidriosa a masiva de grano fino, presentando blocosidad: Tabular, cúbica a prismática. Por consiguiente, teniendo como objetivo determinar la investigación geomecánica del área de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L., las geoestructuras están ligadas a fallas regionales: Inversas y normales, siendo desplazadas por una falla dextral, agrupando a sistemas de plegamientos asimétricos: Sinclinales y anticlinales, generando rupturas: Planares, cuñas, vuelcos y vuelcos base direccional. La caracterización geomecánica muestra rocas de calidad: Muy buena, buena y media, con parámetros geomecánicos: RQD₆₇, RMR₈₉ y GSI₁₁, en función de la caracterización geomecánica: EG-01 ($\sigma_{ci} = 204.59$ MPa, RDQ = 94.67% Excelente, RMR = 85 Muy buena, GSI = 80 Buena y $\phi = 33.96^\circ$), EG-02 ($\sigma_{ci} = 148.38$ MPa, RDQ = 80.43% Buena, RMR = 72 Buena, GSI = 67 Buena y $\phi = 32.84^\circ$), EG-03 ($\sigma_{ci} = 105.41$ MPa, RDQ = 62.68% Media, RMR = 58 Media, GSI = 53 Regular y $\phi = 27.29^\circ$) y EG-04 ($\sigma_{ci} = 187.23$ MPa, RDQ = 81.86% Buena, RMR = 67 Buena, GSI = 62 Buena y $\phi = 29.50^\circ$). Se concluye que el Tajo IV presenta reservas de vida útil de 19.69 años, con un diseño de explotación a tajo abierto mediante sistema de bancos con parámetros de diseño: $hb = 7.00$ m., $qb = 1.19$ m., $b = 3.40$ m., $R = 6.80$ m., $\alpha T = 80^\circ$ y $\alpha T_{final} = 51^\circ$.

Palabras clave: Geomecánica, Tajo, Diseño, Geoestructuras, Cinemática.

ABSTRACT

Lithologically, Exploitation Tajo IV is located in the Cajamarca Formation, made up of sedimentary light gray limestone units, constituting levels: Horizontal to subhorizontal of uniform thickness, with conchoidal to hooked fracture due to its texture: Glassy to massive, fine-grained, presenting blockiness: Tabular, cubic to prismatic. Therefore, with the objective of determining the geomechanical investigation of the exploitation area of the company Cal Plus E.I.R.L., the geostructures are linked to regional faults: Reverse and normal, being displaced by a dextral fault, grouping asymmetric folding systems: Synclines and anticlines, generating ruptures: Planars, wedges, overturns and directional base overturns. The geomechanical characterization shows quality rocks: Very good, good and average, with geomechanical parameters: RQD67, RMR89 and GSI111, depending on the geomechanical characterization: EG-01 ($\sigma_{ci} = 204.59$ MPa, RDQ = 94.67% Excellent, RMR = 85 Very good, GSI = 80 Good and $\phi = 33.96^\circ$), EG-02 ($\sigma_{ci} = 148.38$ MPa, RDQ = 80.43% Good, RMR = 72 Good, GSI = 67 Good and $\phi = 32.84^\circ$), EG-03 ($\sigma_{ci} = 105.41$ MPa, RDQ = 62.68% Medium, RMR = 58 Medium, GSI = 53 Fair and $\phi = 27.29^\circ$) and EG-04 ($\sigma_{ci} = 187.23$ MPa, RDQ = 81.86% Good, RMR = 67 Good, GSI = 62 Good and $\phi = 29.50^\circ$). It is concluded that Tajo IV has reserves with a useful life of 19.69 years, with an open pit exploitation design using a bench system with design parameters: $h_b = 7.00$ m., $q_b = 1.19$ m., $b = 3.40$ m., $R = 6.80$ m., $\alpha_T = 80^\circ$ and $\alpha_{Tfinal} = 51^\circ$.

Keywords: Geomechanics, Pit, Design, Geostructures, Kinematics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Tajo IV de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L., se ubica en el centro poblado Apan bajo, distrito, provincia de Hualgayoc al N de Cajamarca, siendo de gran interés para la extracción de roca caliza, presentando alto contenido económico no metálico de roca calcárea, emplazado en la Formación Cajamarca de color gris claro, formando por secuencias estratigráficas 0.60 m. a 2.30 m. de grosor. Por consiguiente, el terreno superficial presenta unidades geomorfológicas como: Lomadas y laderas, por tales consideraciones el cartografiado geomecánico definirá el modelamiento del cálculo de reservas: Probadas y probables, y también cuanto de cobertura cuaternaria está cubriendo al basamento rocoso, con calidad 95% de pureza y 125 TM/día. Sin embargo, mediante el modelamiento del yacimiento se definirá el diseño del tajo de explotación, considerando el diseño geométrico del yacimiento condicionando la disminución de la resistencia en las geoestructuras debido a los cambios de las constantes elásticas: Cohesión y ángulo de fricción de la roca, siendo afectadas por la precipitación y efecto de vibraciones por voladura. Por tal motivo el cálculo de reservas y la geomecánica, serán de vital importancia para el diseño de explotación del Tajo IV, para mejorar las condiciones de: Explotación, desbroce y acarreo de roca.

La presente investigación pretendió determinar ¿Cómo influye la evaluación geomecánica para el diseño del Tajo IV de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L.? Debido a la disminución de roca caliza del Cretácico Superior – Formación Cajamarca y alta cobertura de Depósitos Cuaternarios (Deluviales, Coluvio-deluviales y Eluviales) – Holoceno, en los Tajos de explotación: I, II y III, pertenecientes a la empresa Cal Plus E.I.R.L.; se plantea aperturar el Tajo IV de explotación de roca carbonatada, para lograr abastecer a la planta de beneficio, siendo fundamentado mediante el cálculo de reservas para generar el diseño geométrico del tajo de explotación siguiendo parámetros del mercado de estabilidad en relación con la geomecánica y variables como: Litología, geoestructuras,

geomorfología, precipitación y sismicidad. Logrando así optimización en las áreas de: Desbroce, minado y acarreo de roca, mediante la generación de pila de escombros de roca con la generación de bloques: Planar, cuña y vuelco.

El cartografiado geológico-geomecánico del tajo IV de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L., brindará el modelamiento del cálculo de reservas para optimizar el diseño de tajo IV, mediante metodologías: Exploratorias, descriptivas, correlacionales y explicativas. Teniendo como restricciones los cambios climáticos conformados por: Precipitación y nubosidad, afectando la visibilidad y avance exploratorio, restringen tener contacto con personas externas el proyecto minero no metálico y bajo presupuesto para ensayos de laboratorio geomecánicos.

En tal sentido se ha determinado como objetivo principal determinar la evaluación geomecánica del área de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L.; para el diseño geométrico del tajo IV así mismo Realizar el cartografiado litológico-geoestructural, Obtener la caracterización geomecánica y Proponer el diseño geométrico del Tajo IV de explotación. Planteando como hipótesis, el diseño geométrico del tajo IV la empresa Cal Plus E.I.R.L., está definido por el cartografiado geológico-geomecánico de la Formación Cajamarca delimitado por: Litología, geoformas, geoestructuras, sismicidad y precipitación, Fundamentada en la estimación de la calidad de roca, de la estructura masiva de los estratos calcáreos relacionado con la estratificación con orientación $N60^{\circ}/21^{\circ}$ (AZ/Bz), influenciando el diseño del tajo IV de la Empresa Cal Plus E.I.R.L.

La investigación se ha estructurado en V capítulos, el Capítulo I: introducción, el Capítulo II: marco teórico; donde se presenta los antecedentes internacionales, nacionales y locales de la investigación; las bases teóricas que servirán de apoyo en la investigación y la definición de términos básicos. En el Capítulo III: materiales y métodos, el contexto de la investigación, los procedimientos y la metodología, el Capítulo IV: presentación y discusión de resultados y el Capítulo V: 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 DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Jaiswal, Verma y Singh (2024), investigó: “Evaluación de la estabilidad de taludes mediante clasificación del macizo rocoso y análisis cinemático de algunos de los principales taludes a lo largo de NH-1A desde Ramban hasta Banihal, Himalaya noroccidental”. Se basó en condiciones: Dinámicas y estáticas, mediante el índice de estabilidad de taludes (SSR) para FoS: 1.20 y 1.00, plasmadas en 14 taludes con (D/DD): 65°/135°, 70°/230° y 82°/326°, mostradas en los taludes: L-3, L-7, L-8 y L-10; con lleno de juntas: Arcilla limosa, arena micácea y calcita, con superficies rugosas. Las clasificaciones empíricas reportan: UCS (21 MPa – 124 MPa), RMR (37–74), GSI (27.30–58.50), SMR (11–59) y CoSMR (3.39–74.56), mostrando una correlación: RMR y SSR; y RMR y GSI, con valor de coeficiente de correlación (R2): 0.8150 y 0.6866, de fallamiento planar y cuña

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Revollar (2020), investigó “Diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Yale II”. Obteniendo reservas 586,429,120 TM, con producción 50,000 TM/día, con ley Fe de 23.86%. Los parámetros de diseño: Ángulo global del pit = 45°, altura de banco = 10 m., ángulo de interrampa = 45°, ángulo de cara de banco = 75°, altura de berma = 3 m., ancho de banco/berma 8.30 m., ancho de berma de seguridad = 6.80, ancho de rampa = 25 m., gradiente máxima de rampa = 10%, ancho de cuneta = 3 m., gradiente mínima de carretera de alivio = 13%, gradiente máxima de camino de acceso al botadero = 10% y altura de banco del estéril = 30 m. y pendiente de banqueteta = 40°.

Turpo (2018), investigó “Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera – Moisés Randy 2010”. La geología presenta Depósitos Aluviales, con geoformas: Piedemonte, terrazas aluviales y conos de deyección. Los parámetros de talud: Altura de banco = 5 m., ancho de berma = 3 m., ángulo de banco = 42°, ángulo de interrampa = 30.3°, altura interrampa = 10 m. ángulo global = 35.3° y altura global = 10 m. Ángulo final de banco: 42° (Spencer) y 36°(Fellenius), para condiciones pseudoestáticas de aceleración sísmica $K_h = 0.13$ y $K_v = 0.09$, con FS: 1.25 a 1.30 (Estática) y 1.20 a 1.00(Pseudoestática).

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 tajo abierto está compuesto por: Bancos de 20 m. a 30 m. de ancho, 50 m. de largo y 10 m. de altura con comunicación entre niveles por medio de rampas con gradiente 12%, diseño final (Ángulo de 50°), ángulo de talud de operación de 70°, ancho de rampa 10.20 m. ancho de berma 5 m. Presentando plataformas explotación con: Ángulo del talud 70°, ancho de rampa 10.20 m., gradiente máxima de rampa 12%, berma de seguridad 5 m., ancho de banco 20 m. a 30 m.

Paredes (2019), Investigó la “Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera El Arbolito – Juliaca”. La cantera El Arbolito, presenta areniscas cuarzosas ($c = 0.109$ MPa y $\phi = 45.18$) - Grupo Ambo y lutitas ($c = 0.060$ MPa y $\phi = 30.093$) - Grupo Cabanillas. Por consiguiente, las estaciones: E-1, E-2, E-3 y E-4, se ubican en rocas areniscas de calidad buena (RQD = 73.39% a 82.08%, RMR = 63.98 a 74.79 y GSI = 58.98 a 69.79); y E-5 en lutitas de calidad media (RQD = 69.98%, RMR = 58.46 y GSI = 53.46). El análisis cinemático muestra resultados de ruptura **Planar:** E-2, E-3, E-4 y E-5, **Cuña:** E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5; y **Vuelco:** E-1, E-2 Y E-3, E-4. Siendo el equilibrio límite con FS: **Planar:** E-2, E-3 y E-5; y **Cuña:** E-2 mayor a 1.50 y E-5 menores 1.50.

Rodríguez (2019), realizó “Estudio geotécnico para el Tajo, proyecto Coroccohuayco - Cuzco - Perú”. Presenta tres sistemas de estructuras mayores:

NW-SE, NE-SO y E-O; delimitadas por tres familias principales y dos sistemas secundarios. Las rocas presentan valores de I_s50 muy dispersos hasta 13 MPa., con ϕ : 32° a 34° y c : 0.1 a 0.5 MPa. Cinemáticamente el **Tajo Norte**, presenta ruptura planar en bancos de buzamiento de 63° ; y **Tajo Sur**, se desarrollan fallas tipo planar en las caras libres que buzanan al N ($N 355^\circ \pm 10^\circ$ aproximadamente). Las rupturas por cuña se desarrollan en la orientación: $N355^\circ$ y $N040^\circ$, por intersección de Fallas L1 y E-W con plunge de 74° , no ocasionando inestabilidad.

2.1.3 Antecedentes Locales

Fernández (2021), según su tesis: “Factibilidad de un plan de minado en la Cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, distrito de Baños del Inca”. La cantera de roca caliza, produce 25 TM/día por horno (3 hornos), definiendo 38 años de vida útil. Sin embargo, los parámetros geomecánicos: $RQD = 56\%$, $RMR = 60$ y $GSI = 56$, y $\sigma_{ci} = 75$ MPa; aplicando factor de carga explosiva = 0.82 gr/cm^3 , $B = 2.00$ m., $S = 3.00$ m., $SP = 0.60$ m., $T = 1.40$ m., $LT = 5.60$ m., $LC = 4.20$ m., $QCC = 3.60$ kg/m. y $V_r = 30 \text{ m}^3/\text{Tal}$; definiendo malla de perforación rectangular, aplicado a tajo abierto con $\alpha_T = 70^\circ$, $\alpha_{T\text{Final}} = 36^\circ$, $R = 5.00$ m., $P = 10\%$, $b = 5.50$ m., $h_b = 5.00$ m. y $h_{bq} = 1.20$ m.

López (2024), investigó el “Comportamiento geomecánico del tajo de explotación de la empresa Calera MV S.R.L. provincia Hualgayoc, departamento de Cajamarca”. El tajo de explotación con orientación (Az/Bz): $N60^\circ/21^\circ\text{SE}$, con $\sigma_{ci} = 95$ MPa a 125 MPa, con: $m_i = 11$ a 12, $m_b = 1.44$ a 3.58, $s = 0.0047$ a 0.004, $a = 0.501$ a 0.507, $c = 4.62$ MPa a 9.16 MPa, $\phi = 29.22^\circ$ a 36.66° ; con probabilidad de ruptura: E-1 (> 30% ruptura: Planar y cuña), E-2 (> 40% ocasiona vuelco) y E-3 (> 25% ruptura: Planar, cuña y vuelco). Con parámetros: 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° .

Terán (2022), realizó la tesis: “Evaluación geotécnica y diseño del tajo Esmael de la Empresa Cal plus, concesión Colquirrumi 49-C. Distrito, provincia de Hualgayoc – Cajamarca”. El tajo Esmael está conformado por espesor: 0.30 m. a 1.20 m., con orientación Az. = 52° /Bz. = 20°SE , siendo constituida por rocas de

buena a muy buena calidad, σ_{ci} =: 105 MPa a 210 MPa., con ϕ 38° y c 9.18 MPa. Así mismo el modelo matemático, presenta rupturas: Planares, cuñas y vuelcos, con bajo porcentaje de probabilidad de falla < 20%, de 190 valores, sin embargo, la ruptura en cuña forma la mayor incidencia de intersecciones críticas en el afloramiento rocoso con 2,293 zonas críticas de intersección de juntas. Definiendo el método de explotación a cielo abierto y diseño.

Montoya (2018), realizó el: “Expediente técnico del proyecto minero No Metálico – Agustín De La Cruz Vásquez”. El Proyecto minero se ubica en la concesión minera no metálica “CARMENCITA 2006 I”, constituido por calizas gris azuladas de la Formación Cajamarca con pureza de CaCO₃ del 92%. Definiendo parámetros geomecánicos de la roca de buena calidad con RQD = 75%, RMR = 70 de calidad buena y clase II, conformado por tres familias de discontinuidades el macizo rocoso, definiendo el método de explotación por terrazas - cielo abierto, con parámetros geotécnicos: altura de banco = 1.20 m., ancho de banco = 2.40 m., quebradura = 0.33 m. y ángulo de talud = 75°.

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.

Jaimes et al., (2013), aportaron el “Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 14-f cuadrante-I”. Mostrando información detallada: Geología local, geoestructuras, cuerpos intrusivos y zonas mineralizadas.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS EMPÍRICAS

Lo expresado por González de Vallejo (2002), la finalidad de las clasificaciones geomecánicas es la obtención de parámetros geomecánicos para su empleo en el diseño y proyecto de obras de ingeniería. Estas clasificaciones aportan mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo rocoso y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes. Las características de los macizos rocosos que vamos a considerar en las diferentes clasificaciones geomecánicas que utilizaremos son las siguientes:

- Resistencia del macizo rocoso.
- RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Orientación de discontinuidades.
- Condiciones de discontinuidades.
- Estructura geológica y fallas.
- Filtraciones y presencia de agua.
- Estado tensional.

Definida por las siguientes clasificaciones geomecánicas:

ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA - RQD (1964)

El Índice RQD (Rock Quality Designation), indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso, muestra la frecuencia lineal de discontinuidades. Este índice se utiliza como parámetro para las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski y Q de Barton. Se calcula simplemente agregando el número de discontinuidades naturales por metro de muestreo y reemplazando en la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1

λ = Número de discontinuidades / longitud (metros).

Tabla 2.1. Índice de calidad de roca (RQD) de Deere et al., 1967.

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

Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA - RMR(1989)

Fue desarrollado por Bieniawski en 1973 y actualizaciones en 1979 y 1989. Permitiendo obtener el índice de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso. El factor de ajuste depende de la orientación de discontinuidades, tomando valores distintos para: Túneles, cimentaciones y taludes, y adquiere más importancia en taludes. El resultado de la suma de los seis parámetros nos da el índice final RMR, que varía entre 0 y 100 y se divide en cinco clases de roca, donde el valor 0 nos indica que la roca es de muy mala calidad y el valor 100 nos indica que la roca es de muy buena calidad. Los parámetros para el cálculo del RMR son:

Tabla 2.2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski RMR89.

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

Fuente: González de Vallejo (2002).

1. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
2. Grado de fracturación en términos del RQD.
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades, que incluye:
 - Longitud de las discontinuidades.

- Abertura.
 - Rugosidad.
 - Relleno.
 - Alteración.
5. Condiciones hidrogeológicas.
 6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Tabla 2.3. Corrección por orientación de discontinuidades.

| Dirección y buzamiento | | Muy favorables | Favorables | Medias | Desfavorables | Muy desfavorables |
|------------------------|---------------|----------------|------------|--------|---------------|-------------------|
| Puntuación | Túneles | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | Cimentaciones | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| | Taludes | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |

Fuente: González de Vallejo (2002).

Tabla 2.4. Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR.

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

Fuente: González de Vallejo (2002).

Fue expresado por González de Vallejo (2002), para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en tramos que presenten características geológicas uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos de los seis parámetros antes mencionados para luego estimar el RMR para cada tramo.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

Hoek y Brown (1997) introdujeron el Índice de resistencia geológica (GSI), tanto para macizos rocosos duros como débiles. Los ingenieros de campo y los geólogos experimentados utilizan clasificaciones geomecánicas mediante la

utilización de la clasificación basa en la inspección visual de las condiciones geológicas. Hoek y Brown (1997) propusieron una clasificación tan práctica para estimar el GSI basándose únicamente en la inspección visual (Figura 2.1).

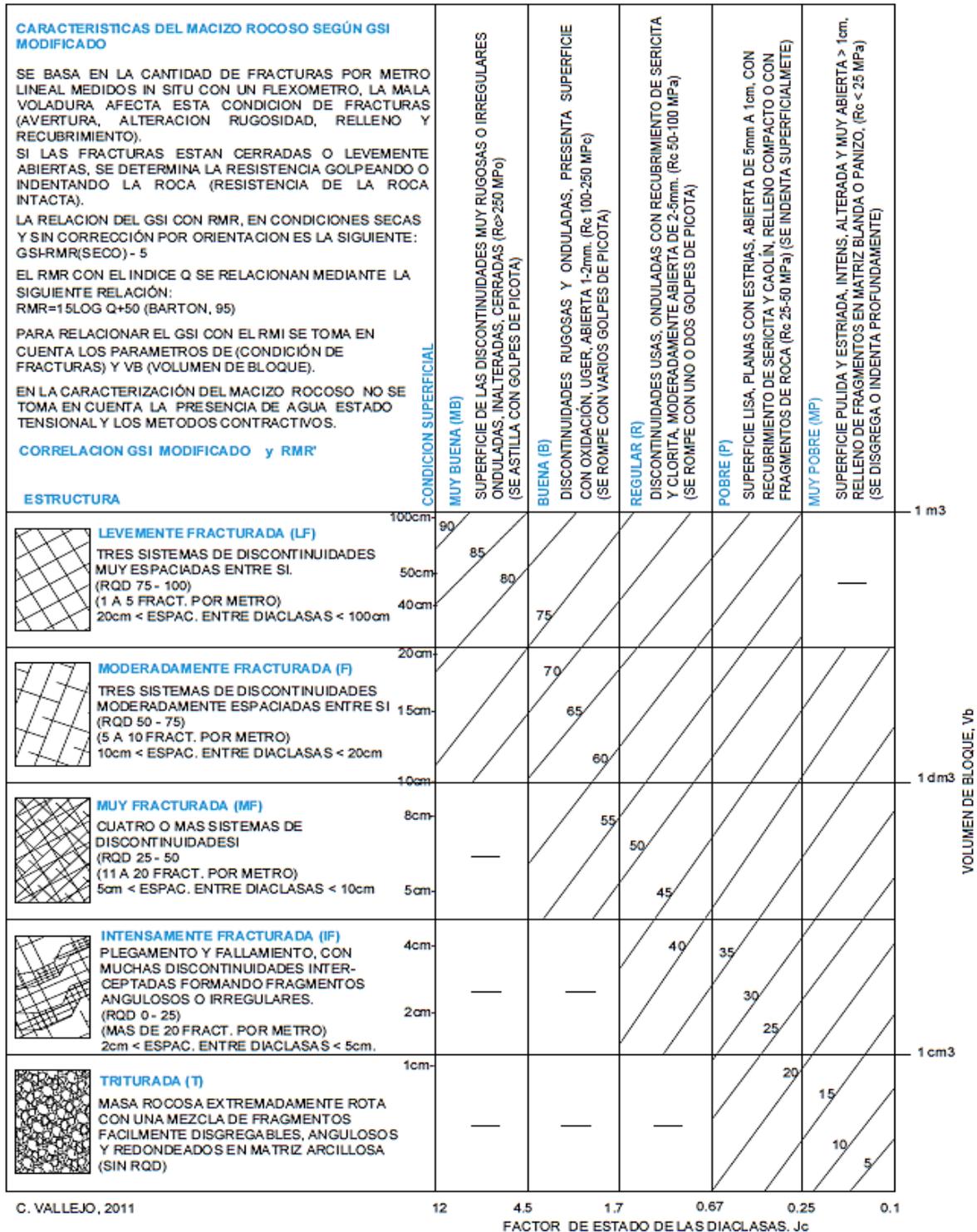


Figura 2.1. Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. C. Vallejo (2011). Fuente: Guía de criterios Geomecánicos. Osinergmin (2017).

El índice GSI fue modificado por Vallejo (2011) con el objetivo de utilizar los cuadros originales de manera práctica y sencilla de clasificar cualitativamente y cuantitativa al macizo rocoso. Cabe señalar que el índice GSI fue originalmente desarrollado con la finalidad de obtener parámetros para el criterio de falla de Hoek & Brown, por lo que Vallejo recurre a las equivalencias del GSI con RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento. Las tablas resultan ser muy prácticas para ser empleadas solo para los colaboradores o trabajadores, sin embargo, corresponderá al personal especializado del área de geomecánica de cada empresa (Osinergmin, 2017).

Tabla 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 (2002).

2.2.2 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA

La minería a cielo abierto exige la realización de excavaciones superficiales, el hueco minero, que contendrá: Infraestructuras de servicio, labores de preparación y operaciones de arranque. En este tipo de minería el objetivo primordial de la mecánica de rocas será asegurar la estabilidad de los diversos taludes e infraestructuras de la cantera, corta o descubierta, tanto a nivel general como a nivel local. También en este caso y en función de la geometría del yacimiento, de los requerimientos técnico-económicos, etc. (Ramírez y Alejano 2013).

MÉTODOS MINEROS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

Cortas: Son yacimientos masivos o de capas inclinadas que se explotan mediante técnicas tridimensionales y banqueo descendente (IIMP, 2019).

Descubiertas: Son aplicados a yacimientos tumbados u horizontales, con unos recubrimientos de estéril inferiores a lo general a los 50 m. Consiste en el avance unidireccional de un módulo con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del estéril y vertido de este al hueco de las fases anteriores (Herrera, 2006).

Terrazas: Son una técnica de minería a cielo abierto que consiste en la extracción de mineral en niveles horizontales o ligeramente inclinados, con un avance unidireccional y depósito de estéril en el hueco creado (García, 2018).

Contornos: Son yacimientos de carbón con capas tumbadas y reducida potencia que se caracterizan por su complejidad geológica y topográfica, y requieren métodos de minería especializados (Pérez, 2018).

Canteras: Son explotaciones mineras que se realizan para extraer rocas industriales, ornamentales y de construcción, utilizando técnicas y maquinaria especializada (López, 2015).

Graveras: Son yacimientos de materiales detríticos, como arenas y gravas, que se encuentran en las áreas fluviales y se explotan para abastecer al sector de la construcción (Gómez, 2013).

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ARRANQUE

Se establece el sistema de explotación, que estará constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte. Según la continuidad del ciclo básico se diferencian de los siguientes sistemas:

Sistema totalmente discontinuo.

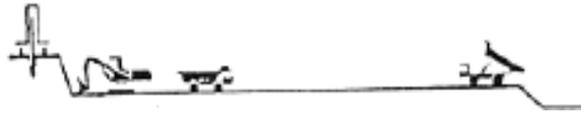
Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación.

Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la explotación.

Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo.

Sistema de transporte mixto y arranque continuo.

Sistema de arranque y transporte continuo.



Sistema de transporte discontinuo.



Sistema mixto con trituradora estacionaria.



Sistema mixto con trituradora semimóvil.



Sistema continuo con trituradora móvil y arrastre discontinuo.



Sistema de transporte mixto y arrastre continuo.



Sistema de arranque y transporte continuos.

Figura 2.2. Clasificación de los sistemas mineros
Fuente: Herrera (2006).

2.2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO DE TALUDES

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

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

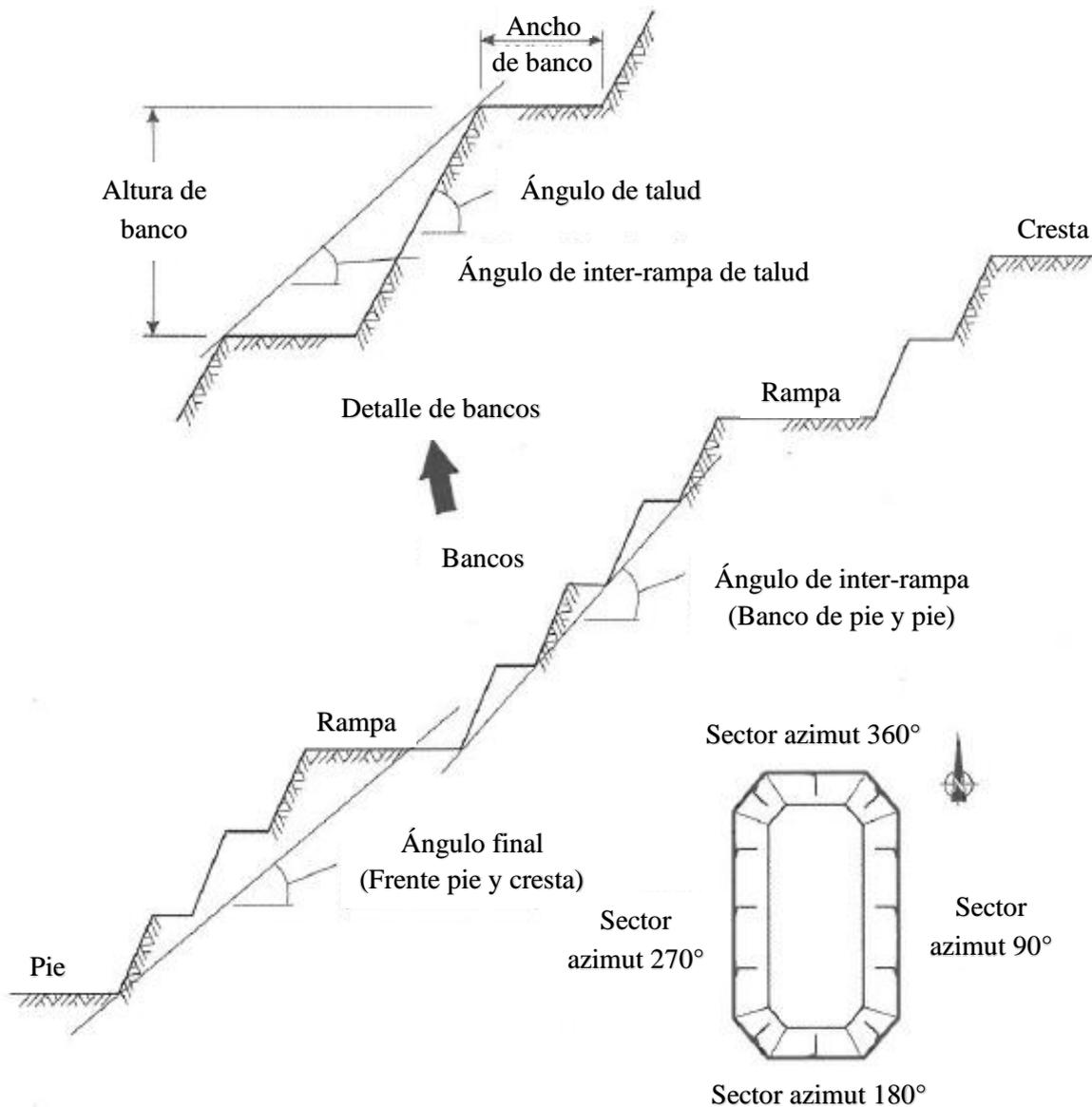


Figura 2.3. Terminología de la cara libre del tajo.
Fuente: Read y Stacey (2006).

Segundo, ángulo entre rampas del talud, o taludes, situadas entre cada rampa dependerá del número de rampas y sus anchuras. y **Tercero**, ángulo de la cara libre de los bancos individuales depende de la separación vertical entre

bancos, o los bancos múltiples combinados, y el ancho de los bancos necesarios para contener caídas de rocas menores (Wyllie y Mah, 2004).

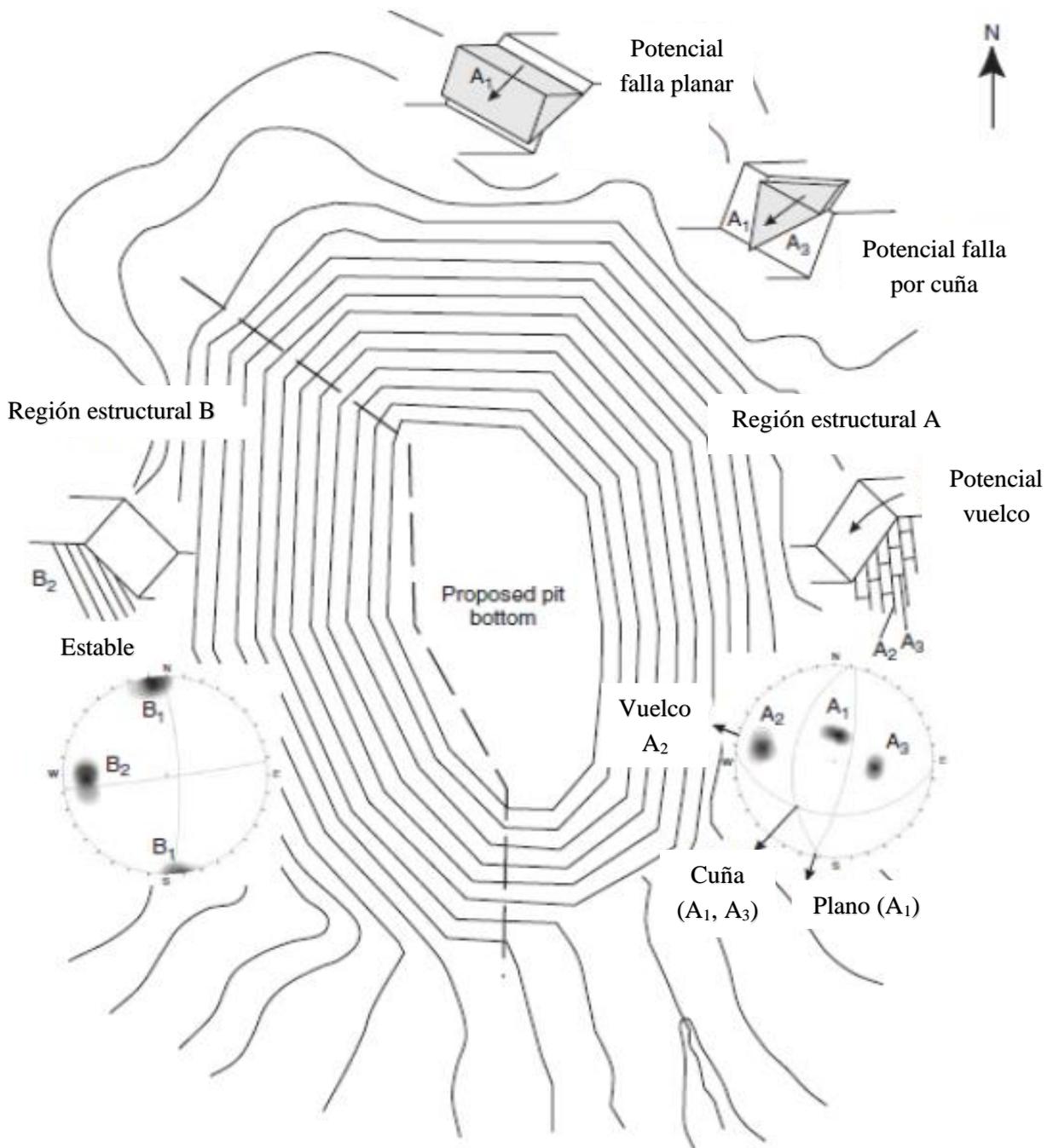


Figura 2.4. Presentación de la geología estructural en falsilla, y evaluación preliminar de la estabilidad de los taludes de la mina propuesta a tajo abierto. Fuente: Wyllie y Mah (2004).

2.2.4 PARÁMETROS DE FACTORES OPERATIVOS DISEÑO DE TAJOS

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

$$B = 0.20 \cdot h_b + 2.0; \text{ para } h_b < 9.00 \text{ m.} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$B = 0.20 \cdot h_b + 4.5; \text{ para } h_b > 9.00 \text{ m.} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

b: Ancho de berma (m.)

h_b : Altura de banco (m.)

Altura de banco: Es la distancia vertical entre dos niveles consecutivos de extracción (Nichols, 1976)

$$H_b = (H/n) + (B/\tan(\alpha)) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

H: Profundidad total de la excavación (m.)

n: Número de bancos o niveles de excavación.

α : Ángulo del talud (°)

Ángulo de talud: El ángulo que forma la superficie del talud con la horizontal, medido en grados (°) (Bieniawski, 1976)

$$\text{Tang } (\alpha) = (H/B) \quad \text{Ecuación 5}$$

Ancho de la rampa: Es la distancia horizontal entre los bordes de la rampa, medida en metros (m). (Nichols, 1976)

$$B_r = 2(W_v + 0,6) + 1,2 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

B_r : Ancho de la rampa (m.)

W_v : Ancho de vehículo (m.)

1,2: Ancho de seguridad mínima

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

$$q = h_b \cdot \text{ctg}(\alpha_b) \quad \text{Ecuación 7}$$

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

$$\alpha_b = \text{tg}^{-1}(h_b/q+b) \quad \text{Ecuación 8}$$

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

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

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

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

Geomecánica: Ciencia que se encarga de estudiar, el comportamiento mecánico de la roca, y de la fuerza inducidas, en una excavación subterránea (Berrocal, 2015).

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

Tamaño de bloque: Condicionan el comportamiento geomecánico del macizo rocoso (Resistencia y deformación), también el tamaño y forma depende del N° de familias de discontinuidades, su espaciado y continuidad (Rodríguez, 2007).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El tajo de explotación se localiza en el lugar: Tuco Huawana, centro poblado: Apan Bajo, distrito: Hualgayoc - Bambamarca, provincia: Hualgayoc y región: Cajamarca, geográficamente en los andes occidentales del Perú de la microcuenca del río Arascorgue, siendo el representante legal la empresa Cal Plus E.I.R.L., en las operaciones mineras. Por consiguiente, dichas formalizaciones mineras están superpuesta en el derecho minero: Manjar 15 2020, con razón social: Fresnillo Perú S.A.C., conformadas por 600 Ha. Utilizando como sistema geográfico UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S, realizando actividades No Metálicas.

Región : Cajamarca
Provincia : Hualgayoc
Distrito : Hualgayoc-Bambamarca
Centro Poblado : Apan Bajo
Lugar : Tuco Huawana

Tabla 3.1. Coordenadas del derecho minero Colquirrumi N° 49.

| Vértice | Este (m.) | Norte (m.) |
|---------|-----------|------------|
| A´ | 772000 | 9257000 |
| B´ | 772000 | 9255000 |
| C´ | 770000 | 9255000 |
| D´ | 770000 | 9256000 |
| E´ | 769000 | 9256000 |
| F´ | 769000 | 9258000 |
| G´ | 770000 | 9258000 |
| H´ | 770000 | 9257000 |

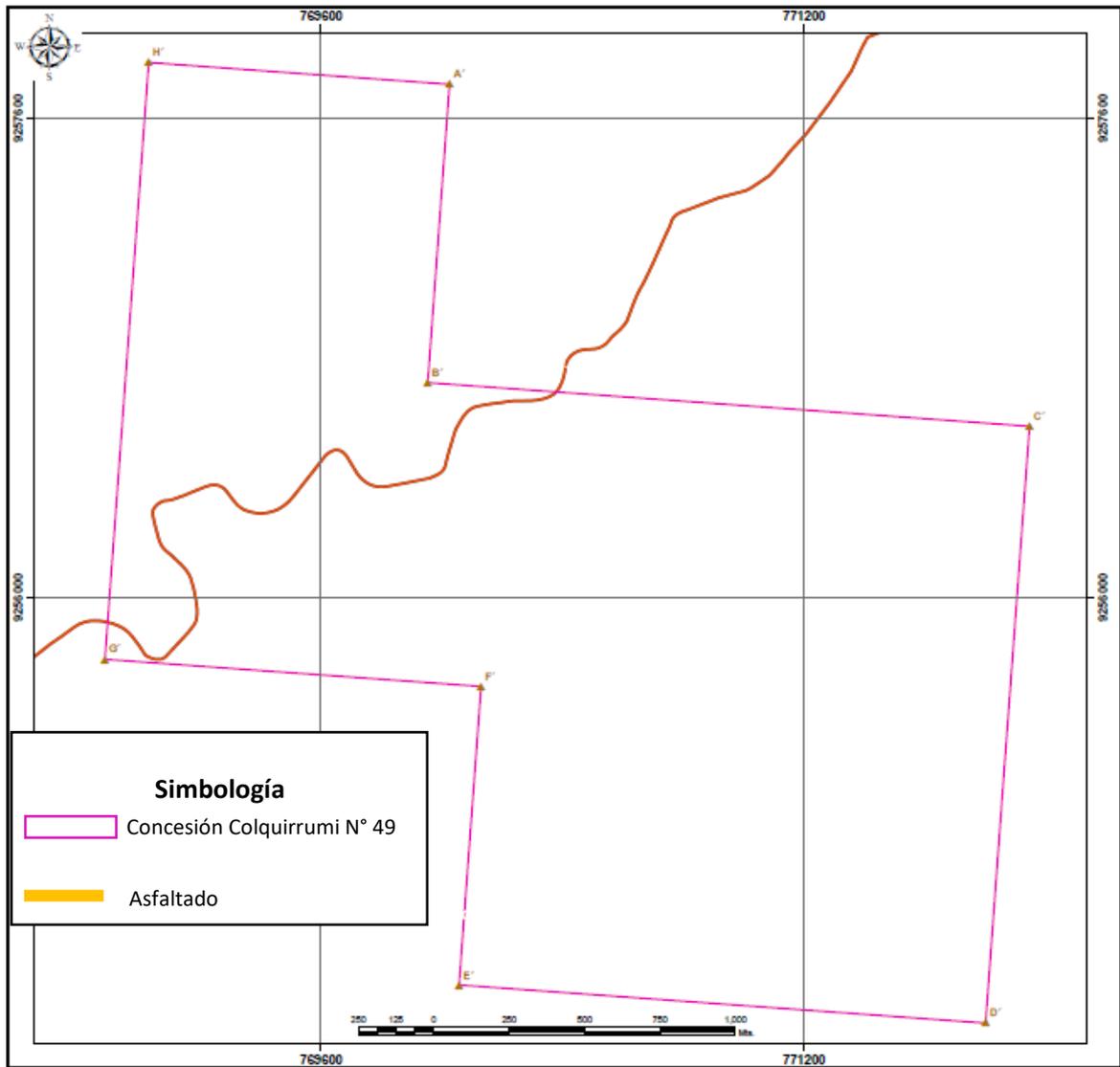


Figura 3.1. Ubicación de concesión Colquirrumi N° 49.

Tabla 3.2. Coordenadas del terreno superficial del tajo IV.

| Vértice | Este (m.) | Norte (m.) |
|---------|------------|-------------|
| A | 770551.626 | 9255293.879 |
| B | 770450.422 | 9255442.707 |
| C | 770369.724 | 9255477.103 |
| D | 770265.875 | 9255319.676 |
| E | 770324.084 | 9255219.795 |
| F | 770395.521 | 9255156.956 |



Figura 3.2. Ubicación del Tajo IV empresa Cal Plus E.I.R.L., para el diseño geométrico de minado de roca caliza.

3.2 ACCESIBILIDAD

La ruta de accesibilidad se llevó a cabo desde la ciudad de Cajamarca, tomando el Jr. Angamos con la dirección NW (Paradero a Bambamarca); luego se toma la dirección NW siguiendo la misma carretera asfaltada – afirmada llegando al cruce: Mina Cerro Corona y Chugur, luego cambiando a orientación NE llegando al cruce: Apan Bajo y Tuco Huawana, cambiando bruscamente a troca carrozable con orientación SW llegando al centro poblado Tuco Huawana, y finalmente al Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

Tabla 3.3. Ruta de accesibilidad Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Tramo | | Estado de Vía | Vía | Transporte | Recorrido | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------|-----------|------------|-----------------|-------------|
| De | A | | | | Distancia (Km.) | Tiempo (h.) |
| Cajamarca | Grifo Continental | Regular | Terrestre | Camioneta | 01+500 | 00:10 |
| Grifo Continental | Cruce: Cerro Corona - Chugur | Regular | Terrestre | Camioneta | 74+800 | 01:49 |
| Cruce: Cerro Corona - Chugur | Cruce: Apan Bajo y Tuco Huawana | Buena | Terrestre | Camioneta | 23+700 | 00:35 |
| Cruce: Apan Bajo y Tuco Huawana | Tajo IV | Mala | Terrestre | Camioneta | 05+000 | 00:10 |

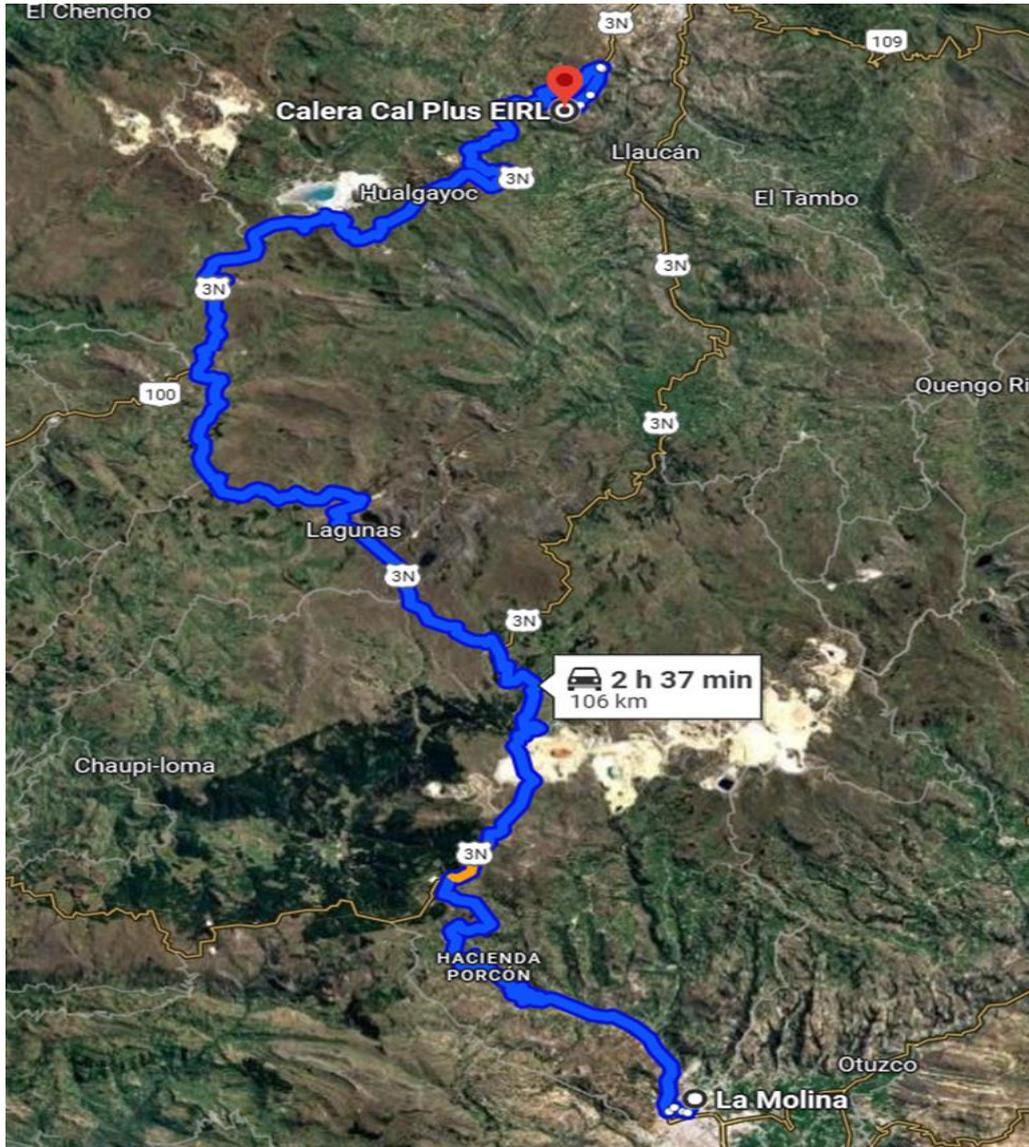


Figura 3.3. Ruta de accesibilidad del relieve desde: Cajamarca al cruce Apan Bajo (Calera Cal Plus EIRL)

Fuente: Google Maps (2024).

3.3 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

El entorno de investigación presenta veranos: Cómodos y nublados; e inviernos: Cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, presenta temperaturas: Templadas (Dura 3.1 meses, del 16 de diciembre al 20 de marzo, con temperatura máxima de 19°C), cálidas (febrero, con temperatura máxima 20°C y mínima 8°C), frescas (Dura 1.8 meses, del 03 de junio al 27 de julio, con temperatura menos de 18°C) y frías (Julio, con temperatura mínima 5°C y máxima 18°C), sin embargo, la temperatura alta varia: 15°C a 22°C y temperatura

baja varia: 5°C a 15°C, centro poblado Tuco Huawana. La nubosidad es extremadamente cambiante en la zona, conformada por zona: Despejada (Abarca desde 30 de abril hasta 23 de septiembre, durando 4.8 meses) y nublada (Abarca desde 23 de septiembre a 30 abril, durando 7.2 meses). La precipitación lo categoriza en temporada: Más mojada (Dura 6.9 meses, de 5 de octubre a 1 de mayo, con probabilidad de más del 16% de un día será mojado) y seca (Dura 5.1 meses, del 1 de mayo al 5 de octubre); siendo lo más común durante el año solo lluvia, con una probabilidad máxima del 32% el 18 de marzo. Presentando humedad bochornosa, opresivo o insoportable, no variando considerablemente durante el año. Las operaciones de extracción de roca caliza se ubican en una zona montañosa presentando leves variaciones de la zona más ventosa desde 6 de junio a 29 de septiembre, con velocidad del viento 9.70 Km/h y más calmada desde 29 de septiembre al 6 junio con velocidad del viento 7.50 Km/h. Los cambios de las condiciones climáticas afectan la extracción de roca caliza, para lo producción de cal viva y sus derivados para la comercialización (El Clima y el tiempo promedio en todo el año en Bambamarca -PERU, 2022).



Figura 3.4. Ruta de accesibilidad Apan Bajo a Tuco Huawana.
Fuente: SASPlanet (2024).

Tabla 3.4. Datos meteorológicos del año 2020.

| Meses | Temperatura Max (°C) | Temperatura Min (°C) | Precipitación (mm/mes) | Humedad relativa (%) |
|------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Enero | 21.42 | 10.23 | 34.40 | 80.52 |
| Febrero | 21.76 | 11.49 | 19.50 | 81.87 |
| Marzo | 21.90 | 11.38 | 56.60 | 80.68 |
| Abril | 21.67 | 10.98 | 3.02 | 82.49 |
| Mayo | 21.84 | 10.46 | 29.40 | 81.68 |
| Junio | 21.13 | 9.48 | 8.00 | 77.88 |
| Julio | 21.20 | 9.11 | 65.00 | 83.91 |
| Agosto | 22.28 | 8.19 | 102.00 | 76.71 |
| Septiembre | 21.50 | 9.49 | 103.50 | 81.20 |
| Octubre | 21.91 | 8.92 | 28.50 | 78.70 |
| Noviembre | 22.51 | 9.53 | 93.80 | 76.86 |
| Diciembre | 20.06 | 10.21 | 168.20 | 86.28 |

Fuente: SENAMHI (2020).

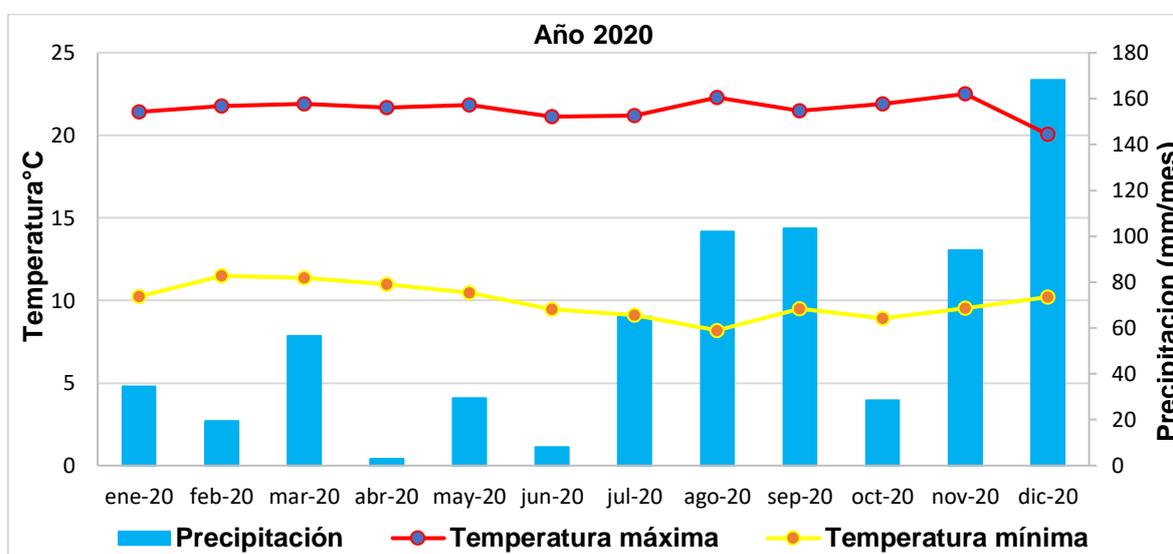


Figura 3.5. Diagrama estadístico meteorológico - estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2020).

Tabla 3.5. Datos meteorológicos del año 2021.

| Meses | Temperatura Max (°C) | Temperatura Min (°C) | Precipitación (mm/mes) | Humedad relativa (%) |
|------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Enero | 19.54 | 10.41 | 61.20 | 89.18 |
| Febrero | 22.16 | 9.36 | 73.20 | 85.45 |
| Marzo | 18.55 | 10.96 | 15.10 | 92.78 |
| Abril | 21.12 | 10.83 | 31.20 | 89.01 |
| Mayo | 20.99 | 9.64 | 49.50 | 86.29 |
| Junio | 20.66 | 9.73 | 15.30 | 84.64 |
| Julio | 21.07 | 7.10 | 2.90 | 82.99 |
| Agosto | 21.89 | 8.30 | 81.54 | 41.10 |
| Septiembre | 21.55 | 9.44 | 30.60 | 80.33 |
| Octubre | 21.22 | 10.52 | 182.10 | 86.21 |
| Noviembre | 20.95 | 10.33 | 137.30 | 85.14 |
| Diciembre | 21.21 | 10.05 | 117.8 | 85.83 |

Fuente: SENAMHI (2021).

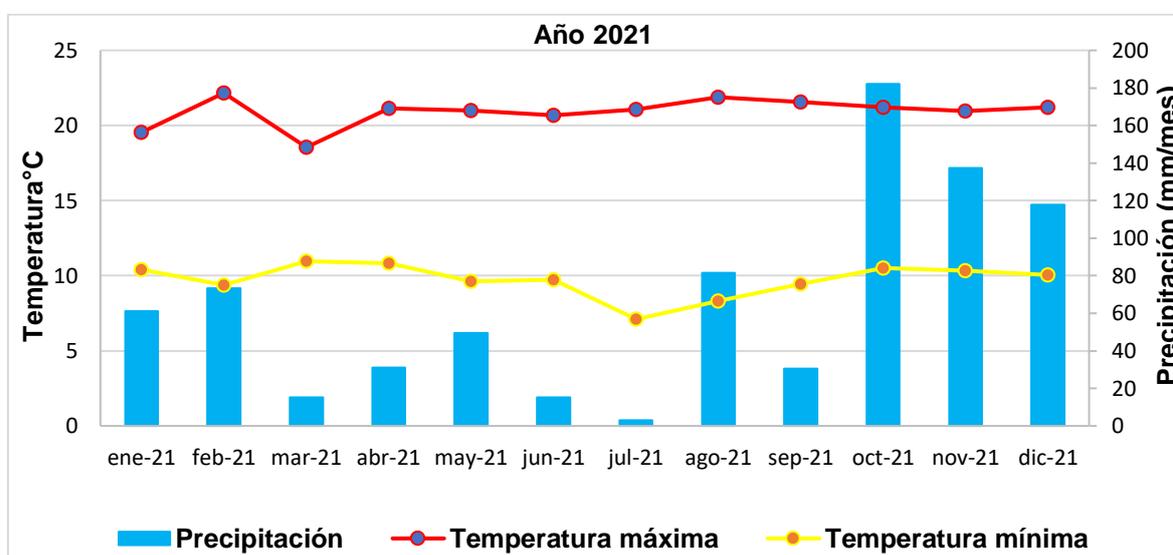


Figura 3.6. Diagrama estadístico meteorológico - estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2021).

Tabla 3.6. Datos meteorológicos del año 2022.

| Meses | Temperatura Max (°C) | Temperatura Min (°C) | Precipitación (mm/mes) | Humedad relativa (%) |
|------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Enero | 21.49 | 9.44 | 58.20 | 78.33 |
| Febrero | 20.04 | 10.05 | 146.40 | 83.74 |
| Marzo | 20.62 | 9.18 | 189.10 | 83.70 |
| Abril | 20.61 | 10.44 | 71.90 | 86.25 |
| Mayo | 20.66 | 9.61 | 21.20 | 84.16 |
| Junio | 20.70 | 7.86 | 57.00 | 79.92 |
| Julio | 21.63 | 7.59 | 5.50 | 75.91 |
| Agosto | 21.42 | 8.14 | 25.20 | 75.82 |
| Septiembre | 22.85 | 8.31 | 32.90 | 73.73 |
| Octubre | 22.21 | 8.79 | 121.50 | 78.10 |
| Noviembre | 22.85 | 8.19 | 12.40 | 74.53 |
| Diciembre | 21.77 | 8.63 | 76.90 | 78.15 |

Fuente: SENAMHI (2022).

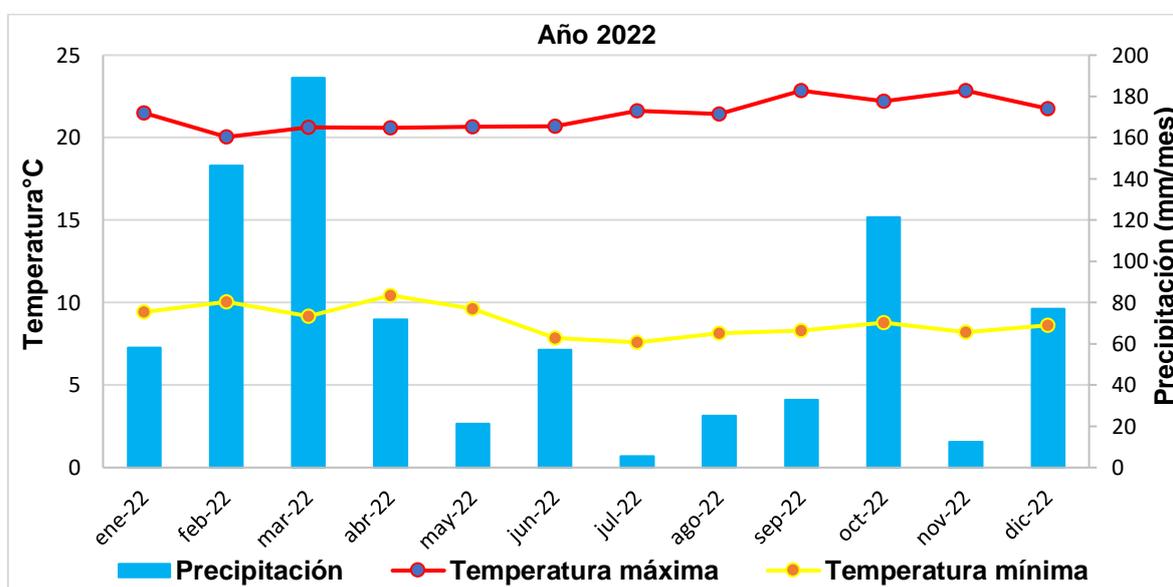


Figura 3.7. Diagrama estadístico meteorológico - estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2022).

Tabla 3.7. Datos meteorológicos del año 2023.

| Meses | Temperatura Max (°C) | Temperatura Min (°C) | Precipitación (mm/mes) | Humedad relativa (%) |
|------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Enero | 20.67 | 8.97 | 134.90 | 81.38 |
| Febrero | 19.91 | 10.25 | 114.20 | 85.07 |
| Marzo | 20.59 | 8.88 | 113.60 | 84.25 |
| Abril | 20.34 | 10.00 | 92.80 | 86.68 |
| Mayo | 21.49 | 10.10 | 85.75 | 60.80 |
| Junio | 21.46 | 7.43 | 8.90 | 87.91 |
| Julio | 23.03 | 6.67 | 3.70 | 80.69 |
| Agosto | 23.85 | 7.21 | 5.40 | 78.53 |
| Septiembre | 23.91 | 9.43 | 24.20 | 80.37 |
| Octubre | 23.45 | 10.43 | 86.05 | 59.50 |
| Noviembre | 23.33 | 9.56 | 81.60 | 78.40 |
| Diciembre | 21.59 | 11.17 | 133.60 | 89.84 |

Fuente: SENAMHI (2023).

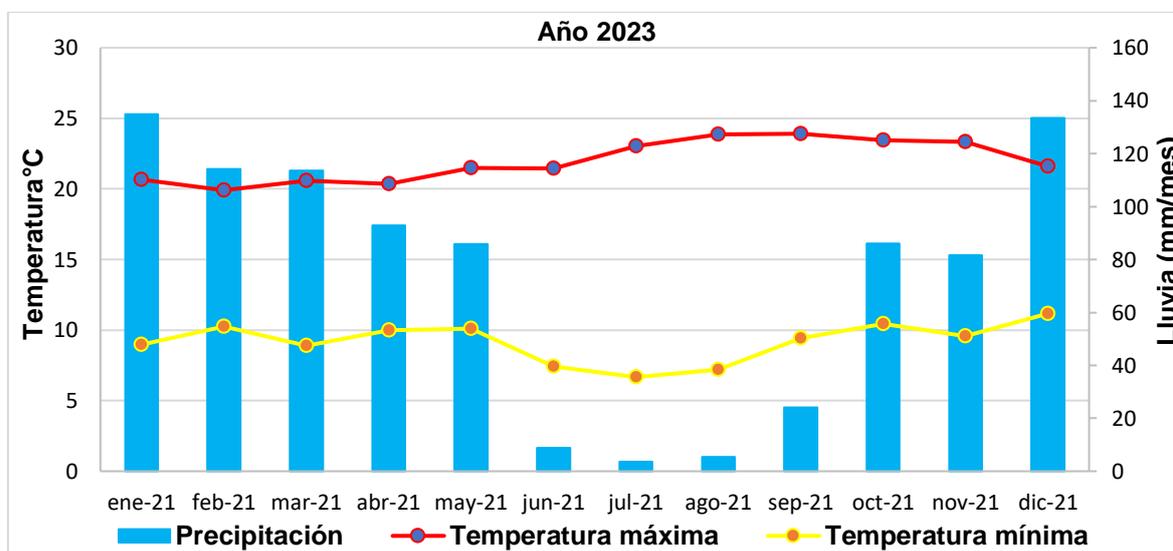


Figura 3.8. Diagrama estadístico meteorológico - estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2023).

Tabla 3.8. Datos meteorológicos del año 2024.

| Meses | Temperatura Max (°C) | Temperatura Min (°C) | Precipitación (mm/mes) | Humedad relativa (%) |
|---------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Enero | 22.32 | 10.77 | 67.20 | 87.25 |
| Febrero | 22.84 | 10.21 | 59.20 | 85.06 |
| Marzo | 22.79 | 10.26 | 73.60 | 83.37 |
| Abril | 22.42 | 11.43 | 106.80 | 83.63 |
| Mayo | 23.01 | 9.74 | 27.90 | 83.35 |
| Junio | 22.91 | 8.08 | 11.90 | 80.59 |

Fuente: SENAMHI (2024).

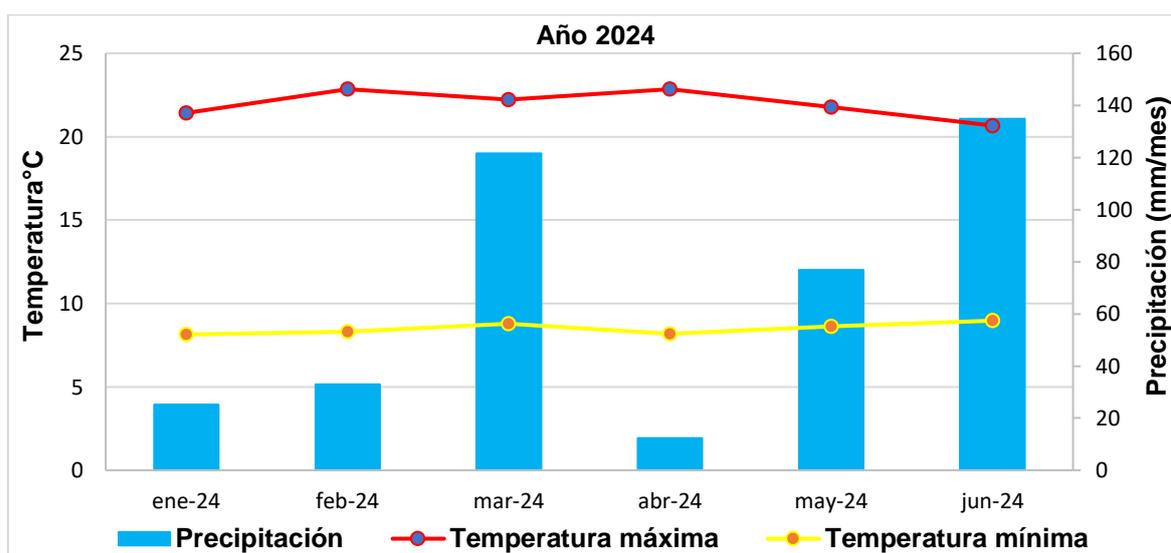


Figura 3.9. Diagrama estadístico meteorológico - estación meteorológica: Bambamarca. Fuente: SENAMHI (2024).

Los cálculos de precipitación y temperatura máxima fueron obtenidos de la base del Senamhi, desde el año: 2020 a 2024, observando variaciones de temperatura y precipitaciones del área de estudio relacionándose con la estación más cercana a la zona de estudio, utilizando como base la estación meteorológica: Bambamarca, departamento: Cajamarca, provincia: Hualgayoc y distrito: Bambamarca, con latitud: 6°40'35.58''S, Longitud: 78°31'06.01''W y altitud: 2,495 msnm. Tipo: Automática – meteorológica. Código: 100015 (Senamhi, 2020 - 2024), utilizada para los cálculos hidráulicos de la cuenca.

3.4 HIDROLOGÍA

El drenaje principal declarado por la Administración Local de Agua Chotano Llaucano, otorgó la licencia de uso de agua superficial, con fines agrícolas con volumen anual de 418,072.31 m³., equivalente a un caudal de hasta 31.82 lt/s proveniente río Hualgayoc-Arascorgue. Dicho río principal se ubica a una distancia 820 m. de las operaciones mineras extractivas del Tajo IV, con orientación S, ubicándose en la intercuenca Alto Marañón IV, declarado actualmente como el río más contaminado superando los estándares de calidad ambiental (ECA). Por consiguiente, el río Arascorgue se ubica en la zona montañosa dentro de la Cordillera Occidental del distrito Hualgayoc (naciente), en la microcuenca del río Hualgayoc-Arascorgue, con orientación NNE-SWW.



Figura 3.10. Vista panorámica de la ubicación y orientación del río Hualgayoc-Arascorgue, localizada en el fondo delimitada por el color celeste, delimitado por laderas y lomadas a 820 m. de las operaciones mineras de extracción de roca caliza. Coordenadas: N9°255,378, E770,444 y H2,944.

Específicamente está ubicado en el centro poblado La Tauna, con cotas que oscilan entre: 3,200 msnm. hacia el NNE-SWW (distrito de Hualgayoc como naciente) y 3,700 msnm. (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 Arascorgue confluyendo con la quebrada El Tragadero (Tiene como nacimiento en el centro poblado 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 Llaucano en la cota 2,600 msnm. con orientación NNE a Bambamarca; para formar aguas abajo el río Crisnejas, cambiando de orientación SW-NE bruscamente, con longitud de 23.60 Km., desembocando sus aguas al río Marañón (Nace en el SW del departamento de Huánuco en la Provincia de Lauricocha) a los 1,050 msnm. con orientación SSE-NNW, recorriendo aproximadamente 253.28 Km. interceptando con el río Chinchipe a los 390 msnm. con orientación NE-SW, siendo el principal afluente del río Amazonas, desembocando en el Océano Atlántico.

Tabla 3.9. Parámetros geomorfológicos de la microcuenca, Tajo IV - Empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Nombre de cuenca | Área (km ² .) | Longitud del cauce principal (km.) | Cota mayor (msnm.) | Cota menor (msnm.) | Pendiente (m/m) | Tc (min.) |
|------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------|
| MC – 1 | 0.257 | 1.018 | 3,060.000 | 2,900.000 | 0.16 | 22.80 |

Tabla 3.10. Precipitación máxima en 24 horas, aplicando la altitud media de la microcuenca del Tajo IV.

| 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 |
| 2023 | 134.90 | 114.20 | 113.60 | 92.80 | 85.75 | 8.90 | 3.70 | 5.40 | 24.20 | 86.05 | 81.60 | 133.60 | 134.90 |

El diagrama de precipitación muestra variaciones notables de recarga de agua desde el año: 2017 a 2023, evidenciándose bajas concentraciones de agua desde el año: 2013 a 2016, por consiguiente, en las labores mineras se tendrá que

implementar sistemas de drenaje fluvial para no afectar las partes bajas de la microcuenca sobre todo a los pobladores cercanos al tajo de explotación.

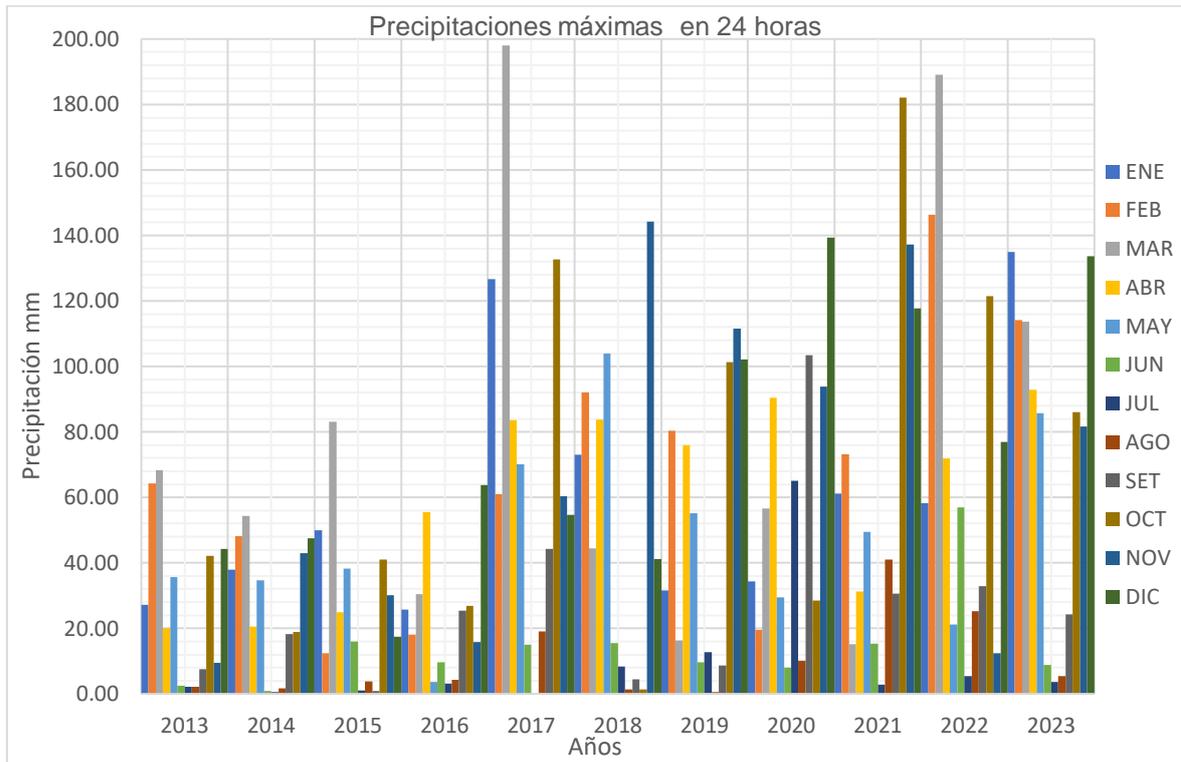


Figura 3.11. Diagrama estadístico meteorológico de la precipitación máxima mensual, desde año: 2013 a 2024.
Fuente: SENAMHI (2024).

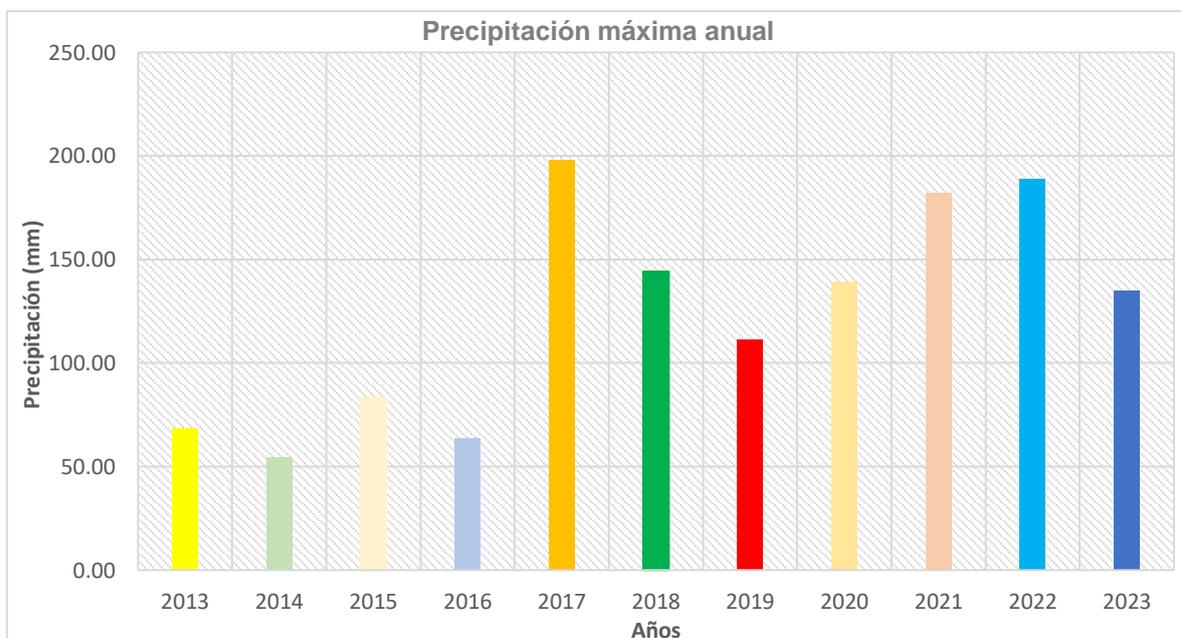


Figura 3.12. Histograma anual en relación con la precipitación de concentración de agua pluvial.
Fuente: SENAMHI (2013-2023).

3.5 HIDROGEOLOGÍA

El área de explotación está emplazada en un acuitardo sedimentario, compuesto de roca caliza gris claro de la formación Cajamarca dejando de fluir el agua con dificultad con orientación de flujo hacia el SE, coincidiendo con la estratificación de orientación (Az/Bz) N60°/21°SE, sin embargo, la hidrogeología está afectando a las rocas calcáreas ocasionando disolución de carbonatos en la superficie de la roca produciendo reacciones químicas generando ácidos por consiguiente lluvia acida formando ácido: Carbónico, sulfúrico y nítrico, bajado el pH del agua; por consiguiente forma las aguas acidas afectando al basamento rocoso por eso se evidencian lenares en las rocas carbonatadas o erosiones incidentes en la superficie de la roca y cavernas carbonatadas, formando actualmente: Farallones, Lenares, sima, dolina, pozos, etc. rocosos de la roca; denominado geomorfología kárstica. Así mismo no se evidencia aguas subterráneas que afecten las operaciones extractivas del tajo de explotación.

3.6 GEOLOGÍA LOCAL

3.6.1 CRETÁCICO SUPERIOR

FORMACIÓN CAJAMARCA: La extensión superficial presenta afloramientos rocosos de la Formación Cajamarca del Cretácico Superior – Mesozoico, presentando espesor total desde: 600 m. a 700 m., de la edad Turoniana desde: 89.80 Ma. a 93.90 Ma. constituida por estratos o unidades sedimentarias de calizas gris azulada a verduzcas micrita (Flok, 1962) y mudstone (Dunham, 1962) macizas de espesor: 0.60 m. a 1.50 m., constituyendo niveles o capas: Horizontales a subhorizontales de espesores uniformes limitadas por superficies de estratificación de orientación (Az/Bz): N52°/19°SE. Sin embargo, la secuencia calcárea presenta estratos gruesos y resistentes (105.41 MPa a 204.59 MPa.), con fractura concoidea por su textura: Vidriosa a masiva de grano fino, presentando blocosidad: Tabular, cúbica a prismática, por su calidad: Regular a buena, con espesor litológico de superficie de rugosidad: Lisa a pulida, con abertura rellenada de material arcilloso de color beige claro a crema de espesor: 1 mm. a 5 mm.; siendo en otros sectores con rellenos: Calcita y óxidos. Así mismo al NE de las instalaciones mineras

presentan sectores escarpados de buzamiento: 75° a 90°, siendo inaccesibles por su alta pendiente, formando farallones calcáreos de 40 m. de altura, y longitud 2.50 Km.; siendo expuestos a la meteorización: Física, química y biológica, alterando a la roca de color gris claro a crema, al mismo tiempo la disolución de la roca calcárea forma geomorfología kárstica como: Dolinas, simas y lenares, siendo cubiertas por litología Cenozoica



Figura 3.13. Caliza de espesor: 0.25 m. a 0.60 m. de Roca Sedimentaria de la Formación Cajamarca, con estratos calcáreos horizontales a sub horizontales, con buzamiento a favor del tajo IV. Coordenadas: N9'255,238, E770,428 y H2,945.

3.6.2 HOLOCENO

Está conformada por Depósito Aluvial de espesor: 0.25 m. a 2.50 m. distribuida de heterogéneamente sobre la superficie del basamento rocoso cubriendo a la roca caliza; compuesto por material fino como: Limo y arcilla, de coloración castaño a rojo naranja, de consistencia firme, con humedad natural semiseca, con estructura fisurada, con tenacidad y plasticidad: Alta, si reacciona con HCl, cementación moderada, resistencia media y dilatancia ninguna; clasificándolo SUCS: CH.



Figura 3.14. Depósito Aluvial de consistencia firme, humedad natural semiseca, estructura fisurada, tenacidad y plasticidad: Alta, color castaño, composición limo-arcillosa, plasticidad: Alta, cementación moderada y resistencia media, cubriendo a la roca caliza. Coordenadas: N9°255,262, E770,505 y H2,936.

3.7 GEOMORFOLOGÍA

El modelamiento geomorfológico superficial presenta como principal modelador morfotopográfico al basamento calcáreo de roca caliza gris claro, perteneciente a la familia de Roca Sedimentaria– Formación Cajamarca, expuesta a la meteorización: Física, química y biológica; generando cuatro geoformas de mayor incidencia como: Planicie, lomada, ladera y escarpa; de las cinco unidades morfogenéticas, distribuidas heterogéneamente formando por las delimitaciones geomorfológicas de forma semicircular, por la disolución de carbonatos en la superficie de la roca, formando superficies cóncavas de superficies pulidas, de acuerdo con la elevación de la pendiente topográfica, así mismo la geomorfología muestra acumulaciones de Depósitos Aluviales que va disminuyendo con la pendiente del talud en relación del Material residual y cobertura vegetal, que cubren al basamento rocoso. Clasificándolo en unidades morfogenéticas:

Planicie: Lo conforma la parte baja de la extensión superficial, presentando acumulaciones Cuaternarias de Depósitos Aluviales del Holoceno, cubriendo totalmente al basamento rocoso calcáreo y geomorfología kárstica, conformada desde la cota: 2,889 msnm. a 2,893 msnm. Con un área aproximada a un tercio del

total del área del Tajo IV. Actualmente los pobladores lo utilizan para crianza de ganado y sembrío, por presentar humedad constante. Así mismo en esta unidad geomorfológica se iniciará la sección de corte de perforación y voladura del Tajo IV.

Lomadas: Delimitada desde las altitudes: 2,893 msnm. a 2,906 msnm. formando una franja circular alrededor del cerro, presentando afloramientos rocosos en mayor proporción que los Depósitos Aluviales desde espesor: 0.40 m. a 0.85 m. cubriendo sectores del basamento rocoso y unidades kársticas. Presentando un área equivalente a casi un cuarto del total del terreno del Tajo IV.

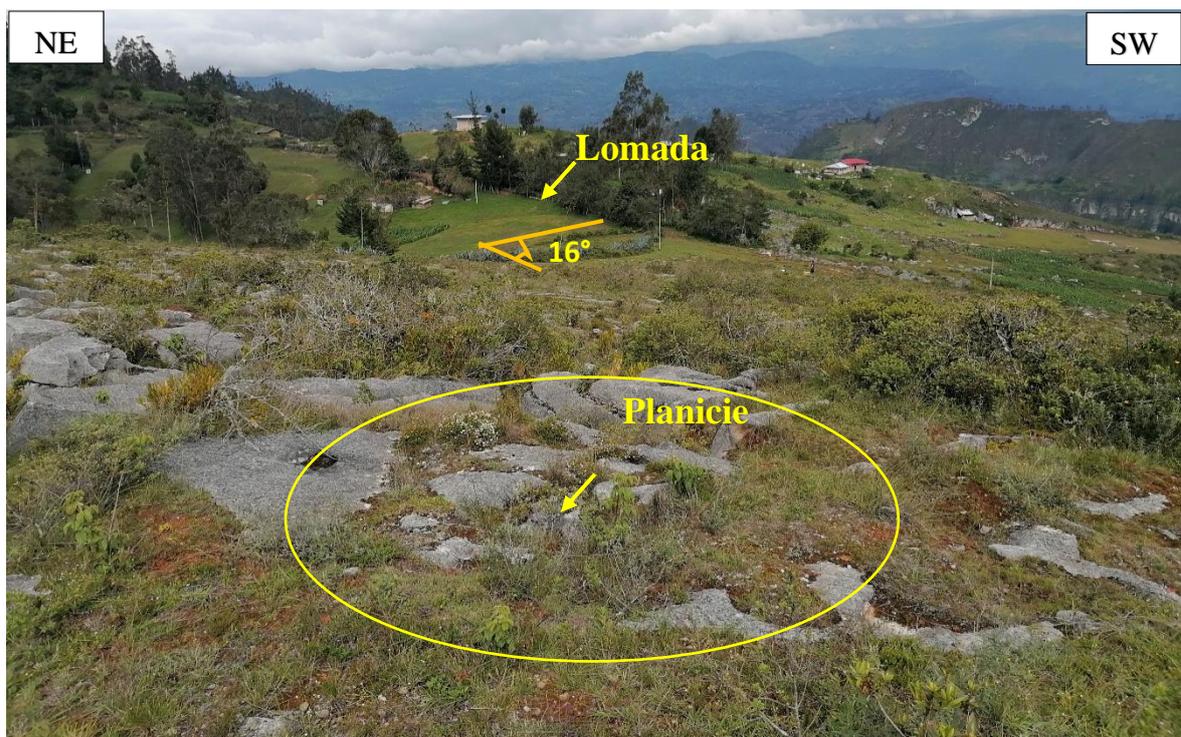


Figura 3.15. Geoformas de la parte baja del Tajo IV de explotación, conformadas por: Planicies y lomadas, con superficies planas a onduladas desde pendientes: 0° a 16°. Coordenadas: N9'255,311, E770,503 y H2,939.

Laderas: Lo conforma la parte alta constituida por afloramiento rocoso en 75% desde la franja altitudinal: 2,906 msnm. a 2,932 msnm., siendo actualmente zona aun no explotada para la extracción de roca caliza, presentando un área equivalente a un tercio del total del área del Tajo IV. Sin embargo, abundan unidades morfogenéticas kársticas como: Dolinas y lenares, observándose como oquedades: Circulares, semicirculares a alargadas de diferentes dimensiones por el grado de disolución del carbonato de calcio.



Figura 3.16. Ladera con pendiente 22°, ubicada al NE del tajo de explotación constituida por rocas calizas. Coordenadas: N9°255,392, E770,443 y H2,944.

Escarpas: Está ubicada en la parte más alta del tajo de explotación aflorando basamento rocoso de buena calidad de espesor: 0.80 m a 1.20 m., no presentando cobertura vegetal, utilizada para pastoreo de. Ovinos y caprinos. Constituyendo el área proyectada de reservas calcáreas de buena calidad con un área aproximada a la décima parte del total de la superficie del Tajo IV.



Figura 3.17. La pendiente casi vertical de la escarpa está cubierta de vegetación, con plantas que se aferran a la roca calcárea.

La geomorfología kárstica está definida por: Dolinas, simas y lenares. **Dolinas:** Se ubican en la parte alta de la ladera del tajo de explotación, presentado depresiones de amplitud: 1.80 m. a 2.50 m. de diámetro, formadas por la disolución de las rocas carbonatadas, siendo de forma: Circular, semicircular a alargadas; con profundidades: 0.40 m. a 0.95 m., constituyendo la mayor área erosiva de la superficie de las unidades morfogenéticas: Lomadas y laderas. **Lenares:** Se observan en la superficie de la roca calcárea pétreo presentado múltiples: Surcos, orificios y aristas agudas; por meteorización Fisicoquímica de la caliza CO_3Ca insoluble se transforma en bicarbonato calcio $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$, disolviéndose con facilidad por la incidencia del agua o agua acida, formando surcos cada vez más profundos en la roca carbonatada. **Simas:** Se encuentran en la parte cóncava de las dolinas en muchos casos siendo conductos verticales con profundidad incierta, pero de anchos variables desde: 0.40 m. a 0.75 m., originada por proceso erosión kárstica siendo actualmente rellenas por Depósitos Deluviales.



Figura 3.18. Formación de depresiones en la roca calcárea por la disolución de la caliza, por la incidencia de las aguas meteóricas en la roca, formando oquedades de dimensiones 0.35 m. a 0.50 m. y profundidad 0.40 m. Coordenadas: N9'255,328, E770,334 y H2,963.



Figura 3.19. Grado de incidencia de erosión de la roca caliza, en la superficie del tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L. Coordenadas: N9'255,226, E770,387 y H2,951.



Figura 3.20. Lenares de longitud: 0.10 m. a 0.30 m., con surcos: 1.00 cm. a 1.50 cm. y profundidad de disolución: 8 mm. a 1.00 cm.; formándose en la superficie de la roca caliza, distribuidos homogéneamente por los planos de discontinuidades de la roca. Coordenadas: N9'255,394, E770,382 y H2,951.

3.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las geoestructuras de mayor incidencia están delimitadas por dos fallas regional: Inversa (Presenta orientación Az/Bz: N155°/36°SW, ubicada a una distancia 820 m. al SW de las operaciones mineras,) y Normal (Tiene orientación Az/Bz: N332°/72°NE, ubicada a una distancia 12.04 Km. al NE de las operaciones mineras), siendo desplazadas este conjunto de falla regionales por una falla dextral ubicada a una distancia 1,200 m. con alineamiento SW-NE, ubicada al S de las operaciones mineras, afectando al movimiento tectónico del cuadrángulo 14f-I. Por consiguiente, entre estas dos fallas muestran secuencias estratigráficas del Cretáceo: Inferior y Superior, mostrando sistemas de plegamientos asimétricos: Sinclinales y anticlinales, de orientación tectónica SSW-NNE, con eje WNW-ESE, variando su Bz = 15° a 25°SW-NE; evidenciándose franjas plegadas de orientación NW-SE, siendo fallados por ambos flancos, alcanzando el desarrollo máximo en el valle del alto marañón. Sin embargo, los pliegues de esta provincia son 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 consiguiente, las estructuras menores de acuerdo con el grado de blocosidad del macizo rocoso son: Tabulares y cúbicas, por su: Espaciado, persistencia y apertura, por las discontinuidades D/DD: E = 33°/26°, D-1 = 69°/36°, D-2 = 52°/296°; generando fallamientos: Planares, cuñas, vuelcos y vuelco direccional, por polos e intersección de juntas, por superposición del ángulo de fricción, cono de fricción, límites lateral y envolvente de luz, definiendo la zona crítica, en función de la orientación del talud o tajo de explotación.



Figura 3.21. Falla geología inversa regional de orientación Az/Bz: $N155^{\circ}/36^{\circ}SW$ ubicada en la carretera Hualgayoc – Bambamarca. Coordenadas: $N9^{\circ}255,181$, $E767,589$ y $H3,105$.



Figura 3.22. Alineamiento de zona de asentamiento de Falla geología regional ubicada en el margen izquierdo del área de operaciones relacionándose con el río Arascorgue, proyectándose en la carretera Hualgayoc – Bambamarca.

3.9 GEOMECÁNICA DE ROCAS

El cartografiado geomecánico por línea de detalle en la superficie del Tajo IV, de la empresa Cal Plus E.I.R.L., está basada en información: Cualitativa y cuantitativa, aplicando clasificaciones geomecánicas como: Índice de calidad de roca (RQD_{67}), valoración de la masa rocosas (RMR_{89}) y índice geológico de resistencia (GSI_{11}); obteniendo la estimación $\sigma_{ci} = 105.41$ MPa. a 204.59 MPa. de calidad de roca. Sin embargo, para obtener las constantes elásticas de la roca se fundamentaron en la parte inicial de la calidad de roca combinado con los criterios: Hoek-Brown y Morh-Coulomb, mediante el criterio empírico por ser una roca alterada por grado de fracturamiento a diferente 1/2, se obtuvo valores representativos de la estación geomecánica, con: m_i (11 a 12), D (0.70 a 1.00), MR (500 a 800), E_i (74,190 MPa a 153,443 MPa), mb (1.130 a 2.636), s (0.0020 a 0.0357), a (0.501 a 0.504), c (4.594 MPa a 13.940 MPa), ϕ (27.29° a 33.96°) y E_m (14,110.47 MPa a 50,000.73 MPa); mediante el método de equivalencia de áreas.

El modelo numérico Dips muestra probabilidades de ruptura en función de cada estación geomecánica: EG-01 (Presenta valores: 28.89% a 33.33%, siendo de moderada blocosidad la ruptura: Planar D-1/D-2, cuña D-1/D-2 y vuelco de base direccional D-1; y baja blocosidad la ruptura: Vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 0.00% a 2.53%), EG-02 (Presenta valores: 20% a 28.59%, siendo de moderada blocosidad la ruptura: Planar D-1/D-2, cuña D-1/D-2; vuelco de base direccional con 51.11% blocosidad alta D-2; y baja blocosidad la ruptura: Vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 0.00% a 1.92%), EG-03 (Presenta baja blocosidad la ruptura: Planar E, cuña D-1/D-2, vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 0.00% a 4.34% y moderada blocosidad de ruptura por vuelco de base direccional con 37.78% el E); y EG-04 (Presenta de baja blocosidad la ruptura: Planar E, cuña D-1/E, vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 6.06% a 16.87%) y moderada blocosidad la ruptura por vuelco de base direccional con 28.89% el E); aumentando el grado escombros la estación: EG-01 y EG-02.

3.9.1 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-01

El Tajo de explotación presenta tres discontinuidades, siendo el estrato de mayor espesor: 0.35 m. a 1.10 m. con superficies ligeramente alteradas, con bajo grado de fracturamiento. El cartografiado geomecánico lo cuantifica como roca calidad de buena – R5 3 golpes, cinemáticamente presenta rupturas: Planares, cuñas y vuelcos direccionales, con moderada a alta probabilidad de fallamiento.

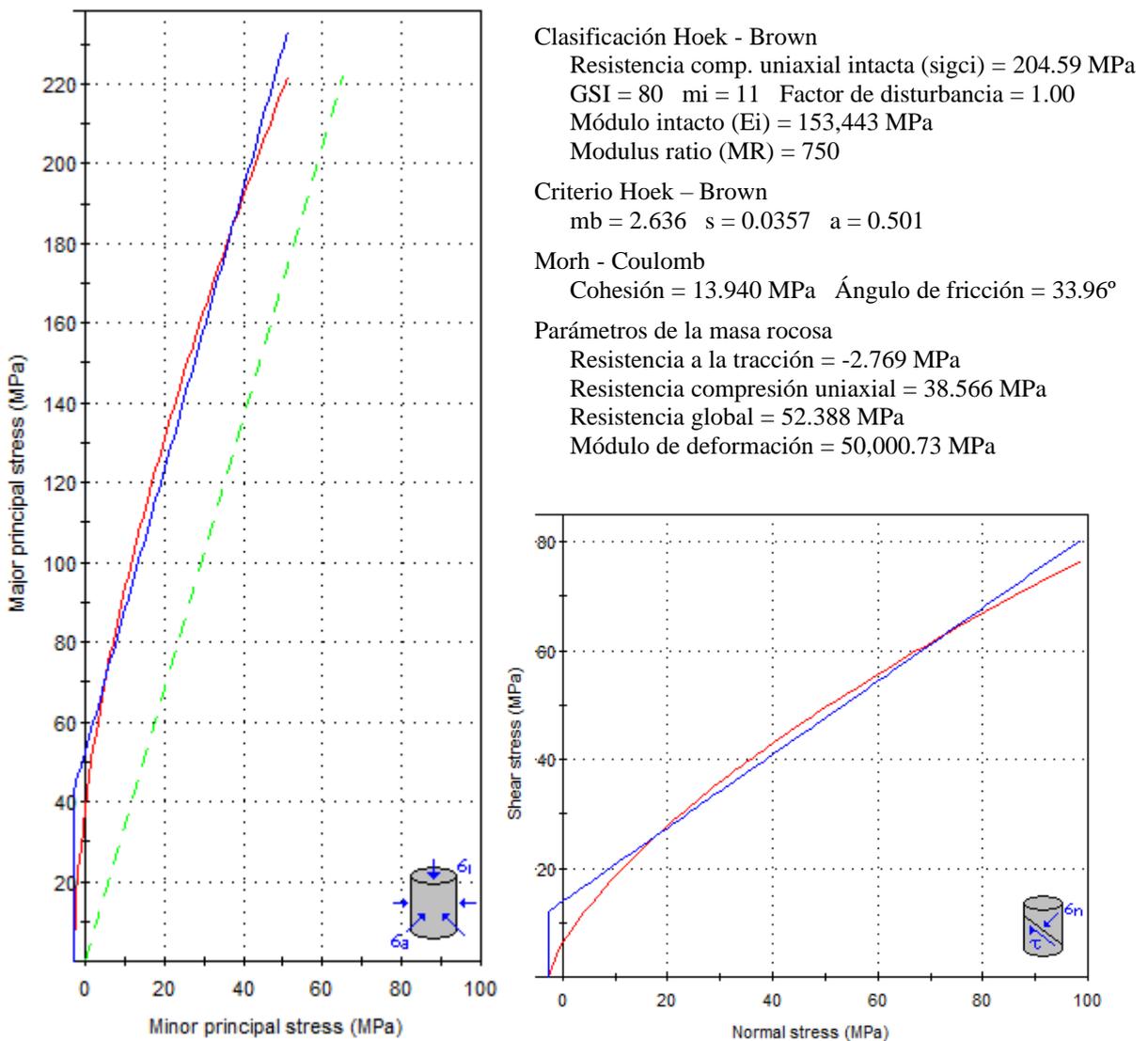
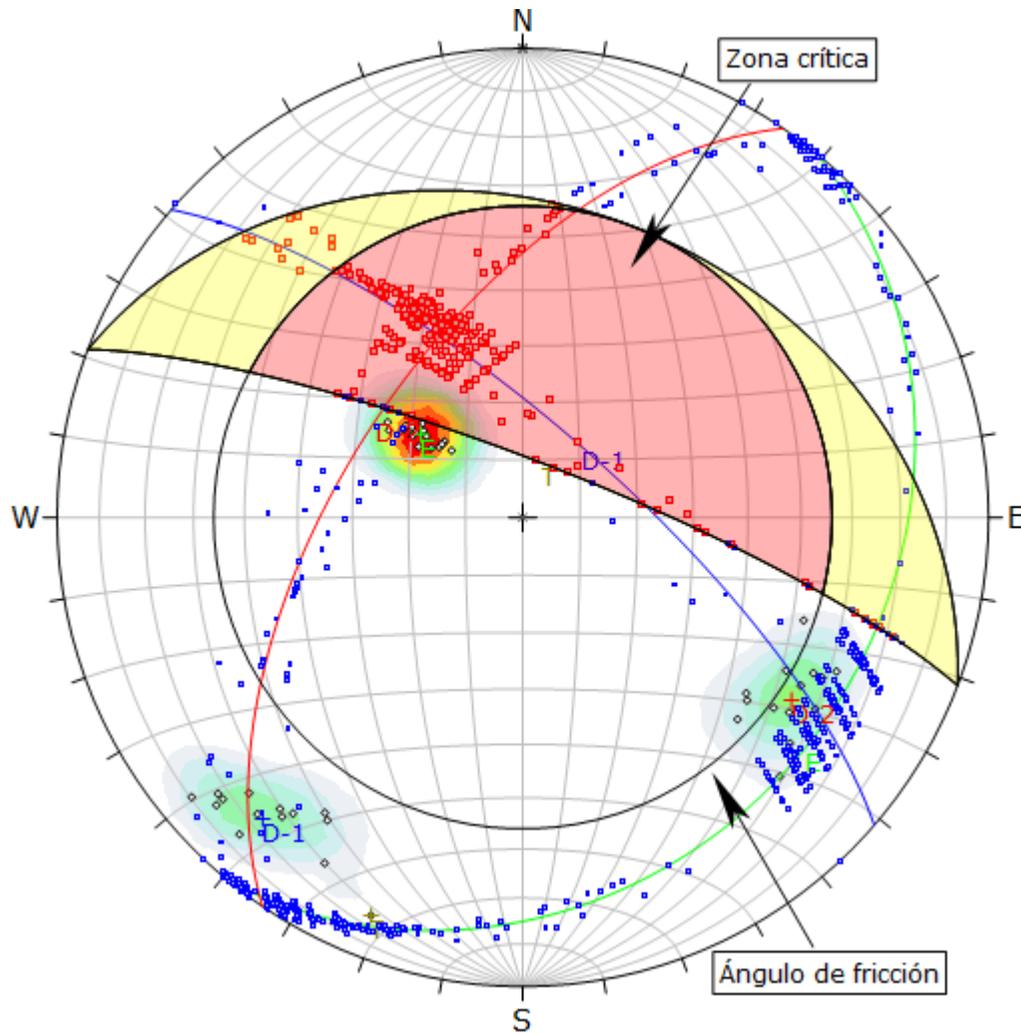


Figura 3.23. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-01.



| Symbol | Feature | | |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.50 | | |
| | 3.50 - 7.00 | | |
| | 7.00 - 10.50 | | |
| | 10.50 - 14.00 | | |
| | 14.00 - 17.50 | | |
| | 17.50 - 21.00 | | |
| | 21.00 - 24.50 | | |
| | 24.50 - 28.00 | | |
| | 28.00 - 31.50 | | |
| | 31.50 - 35.00 | | |
| Maximun density | | 34.54% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Wedge sliding | |
| Slope dip | | 80° | |
| Slope Dip direction | | 21° | |
| Friction angle | | 34° | |
| | Critical | Total | % |
| Wedge sliding | 296 | 989 | 29.93% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 23° | 129° E |
| 2 | ■ | 74° | 41° D-1 |
| 3 | ■ | 59° | 304° D-2 |
| 4 | ■ | 80° | 21° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 989 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.25. Probabilidad de ruptura en cuña es 29.93% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. EG-01.

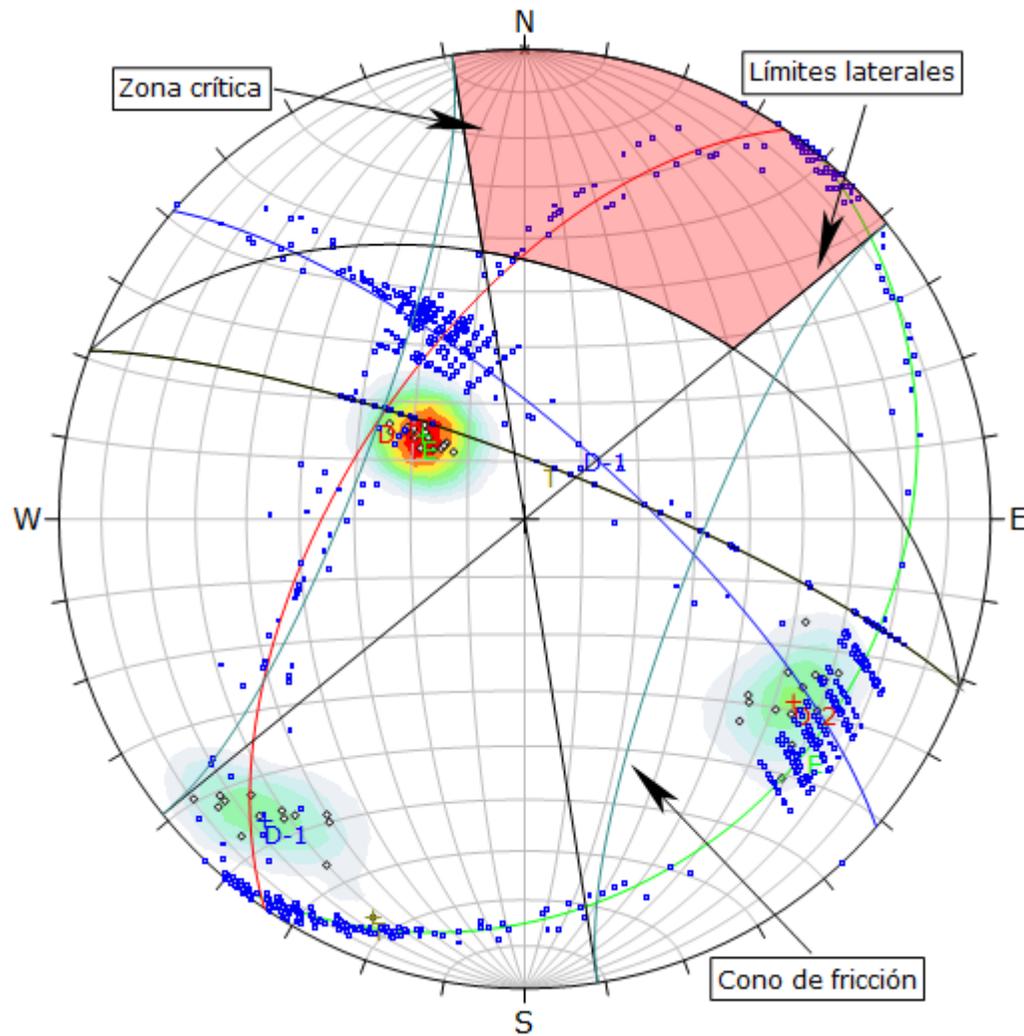


Figura 3.26. Probabilidad de ruptura por vuelco es 0.00% para el desbroce de roca, al favor del talud. EG-01.

| Symbol | Feature | | | |
|-------------------------|------------------------|-------|---------------|-------|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ◆ | Critical vectors | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 3.50 | | | |
| | 3.50 - 7.00 | | | |
| | 7.00 - 10.50 | | | |
| | 10.50 - 14.00 | | | |
| | 14.00 - 17.50 | | | |
| | 17.50 - 21.00 | | | |
| | 21.00 - 24.50 | | | |
| | 24.50 - 28.00 | | | |
| | 28.00 - 31.50 | | | |
| | 31.50 - 35.00 | | | |
| Maximun density | 34.54% | | | |
| Contour data | Polo vectors | | | |
| Contour distribution | Fisher | | | |
| Counting circle size | 1.00% | | | |
| Kinematic analysis | Flexural toppling | | | |
| Slope dip | 80° | | | |
| Slope Dip direction | 21° | | | |
| Friction angle | 34° | | | |
| Lateral limits | 30° | | | |
| | Critical | Total | % | |
| Flexural toppling (All) | 0 | 45 | 0.00% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 23° | 129° | E |
| 2 | ■ | 74° | 41° | D-1 |
| 3 | ■ | 59° | 304° | D-2 |
| 4 | ■ | 80° | 21° | T |
| Plot Mode | Pole vectors | | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | | |
| Intersections count | 989 | | | |
| Hemisphere | Lower | | | |
| Projection | Equal area | | | |

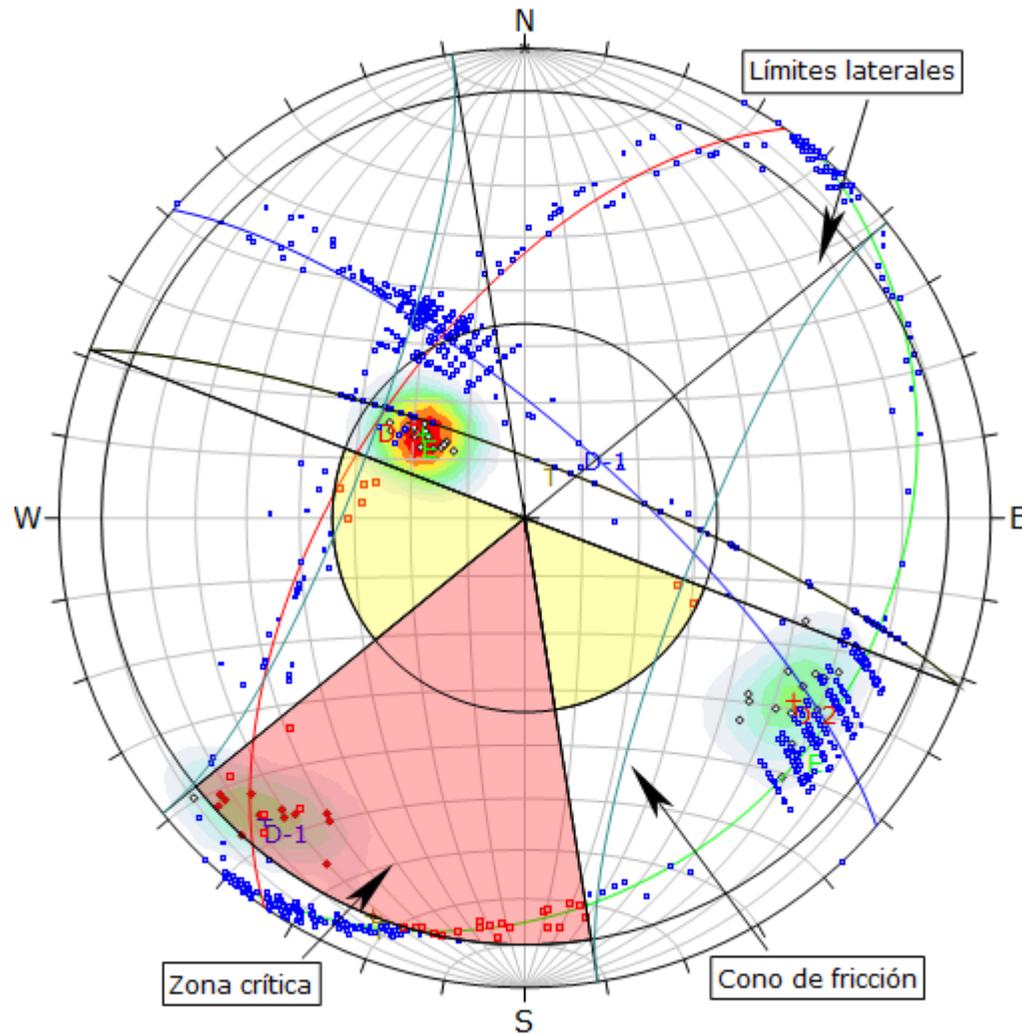


Figura 3.27. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 28.89% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia D-1 a favor del talud. EG-01.

| Symbol | Feature | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.50 | | |
| | 3.50 - 7.00 | | |
| | 7.00 - 10.50 | | |
| | 10.50 - 14.00 | | |
| | 14.00 - 17.50 | | |
| | 17.50 - 21.00 | | |
| | 21.00 - 24.50 | | |
| | 24.50 - 28.00 | | |
| | 28.00 - 31.50 | | |
| | 31.50 - 35.00 | | |
| Maximum density | 34.54% | | |
| Contour data | Polo vectors | | |
| Contour distribution | Fisher | | |
| Counting circle size | 1.00% | | |
| Kinematic análisis | Direct toppling | | |
| Slope dip | 80° | | |
| Slope Dip direction | 21° | | |
| Friction angle | 34° | | |
| Lateral milits | 30° | | |
| | Critical | Total | % |
| Direct toppling (Intersection) | 25 | 989 | 2.53% |
| Oblique toppling (Intersection) | 7 | 989 | 0.71% |
| Base plane (All) | 13 | 45 | 28.89% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 23° | 129° E |
| 2 | ■ | 74° | 41° D-1 |
| 3 | ■ | 59° | 304° D-2 |
| 4 | ■ | 80° | 21° T |
| Plot Mode | Pole vectors | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | |
| Intersections count | 989 | | |
| Hemisphere | Lower | | |
| Projection | Equal area | | |

3.9.2 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-02

El afloramiento de caliza está levemente meteorizado con mediano grado de fracturamiento, con $\sigma_{ci} = 148.38$ MPa., delimitado por tres familias de discontinuidades de orientación (D/DD): $14^\circ/160^\circ$, $68^\circ/66^\circ$ y $72^\circ/113^\circ$, generando blocosidad: Tabular, cúbico y prismático, con espaciado promedio: 0.20 m. a 0.60 m., con persistencia: 0.70 m. a 8.50 m. con abertura algunos casos cerrada a 5 mm., con rugosidad: Ligeramente rugosa a suave, con relleno desde: Arcilla, calcita, óxidos y pirolusita, con alteración de las juntas: Inalteradas a ligeramente alteradas y presencia de agua natural: Seca. Proyectando con sección de corte 8:2 / V:H. con cinemática de probabilidad de ruptura: Planar – 20%, cuña - 28.59%, vuelco - 0% y vuelco direccional - 51.11%, desde: Baja, moderada a alta PR.

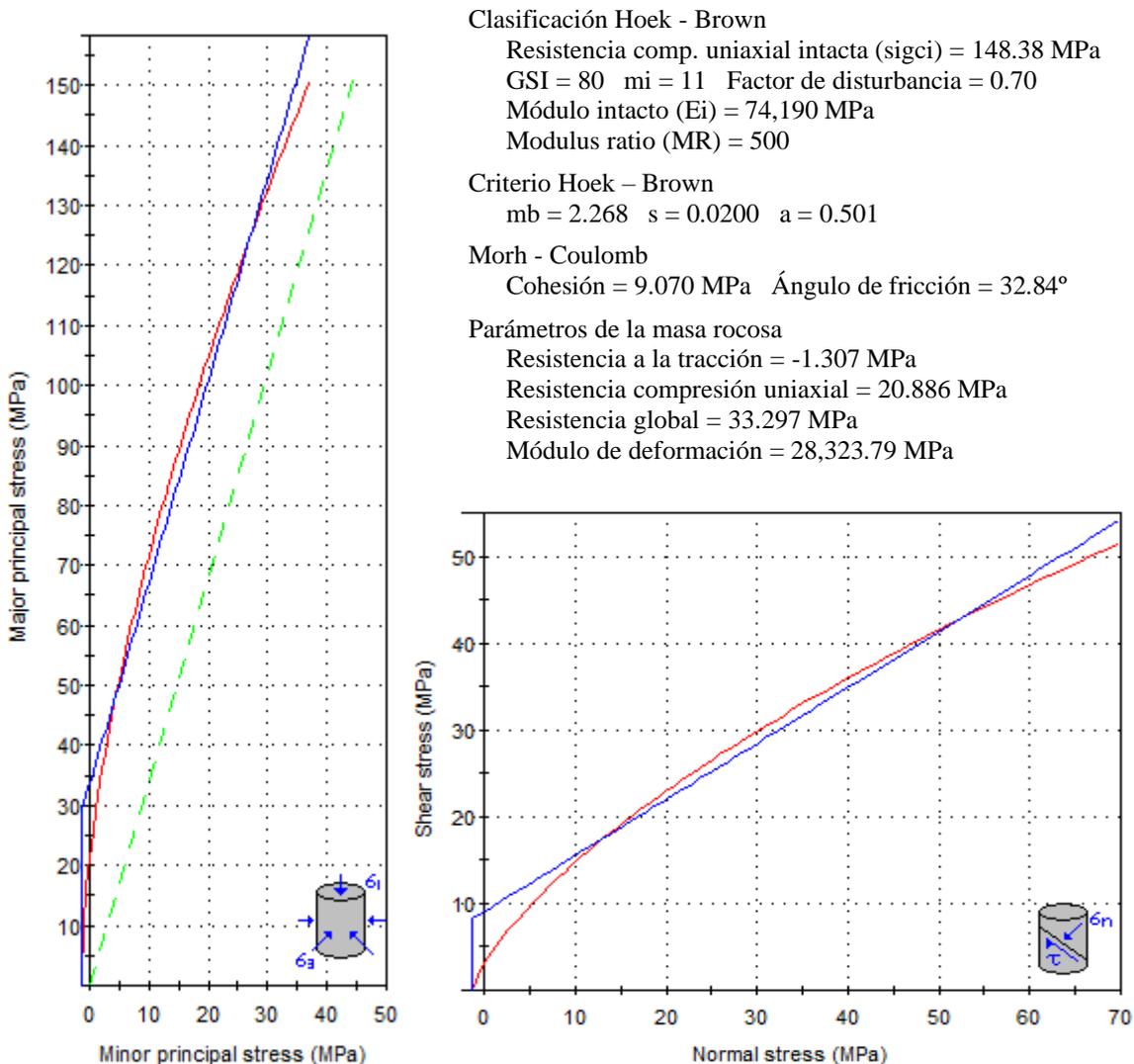
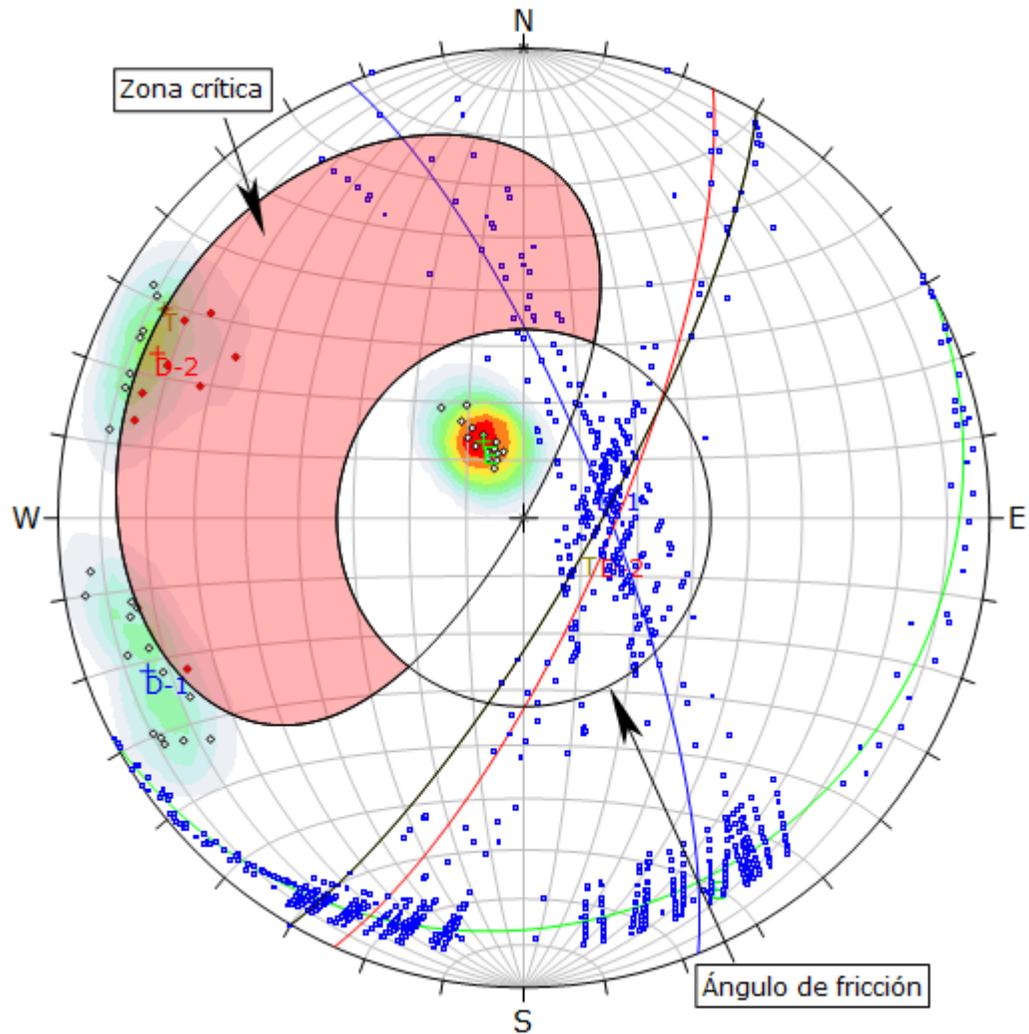
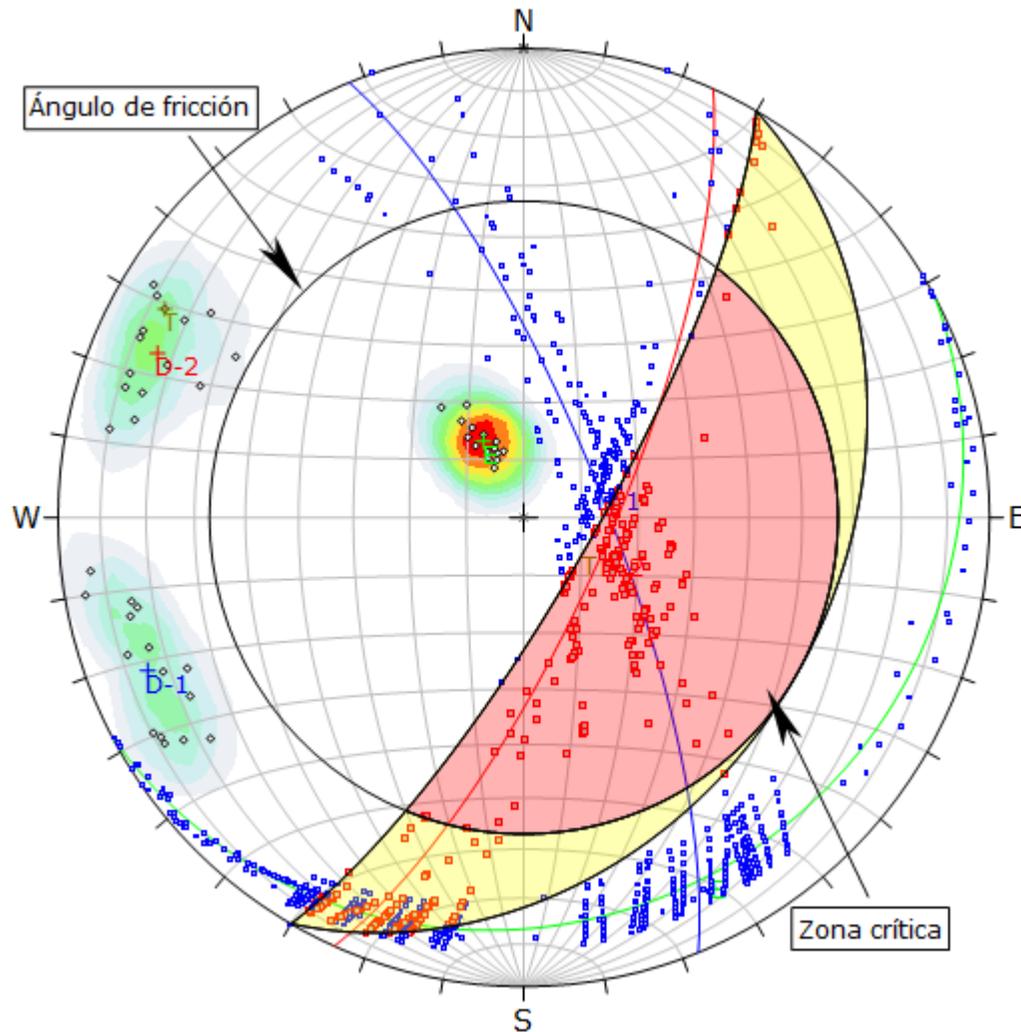


Figura 3.28. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-02.



| Symbol | Feature | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.00 | | |
| | 3.00 - 6.00 | | |
| | 6.00 - 9.00 | | |
| | 9.00 - 12.00 | | |
| | 12.00 - 15.00 | | |
| | 15.00 - 18.00 | | |
| | 18.00 - 21.00 | | |
| | 21.00 - 24.00 | | |
| | 24.00 - 27.00 | | |
| | 27.00 - 30.00 | | |
| Maximun density | | 29.30% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Planar siliding | |
| Slope dip | | 78° | |
| Slope Dip direction | | 120° | |
| Friction angle | | 33° | |
| | Critical | Total | % |
| Planar siliding (All) | 9 | 45 | 20.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 15° | 152° E |
| 2 | ■ | 76° | 68° D-1 |
| 3 | ■ | 75° | 114° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 120° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.29. Probabilidad de ruptura planar es 20% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud. EG-02.



| Symbol | Feature | | | |
|----------------------|------------------------|-------|---------------|-----|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ■ | Critical intersection | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 3.00 | | | |
| | 3.00 - 6.00 | | | |
| | 6.00 - 9.00 | | | |
| | 9.00 - 12.00 | | | |
| | 12.00 - 15.00 | | | |
| | 15.00 - 18.00 | | | |
| | 18.00 - 21.00 | | | |
| | 21.00 - 24.00 | | | |
| | 24.00 - 27.00 | | | |
| | 27.00 - 30.00 | | | |
| Maximun density | 29.30% | | | |
| Contour data | Polo vectors | | | |
| Contour distribution | Fisher | | | |
| Counting circle size | 1.00% | | | |
| Kinematic analysis | Wedge sliding | | | |
| Slope dip | 78° | | | |
| Slope Dip direction | 120° | | | |
| Friction angle | 33° | | | |
| | Critical | Total | % | |
| Wedge sliding | 283 | 990 | 28.59% | |
| | Color | Dip | Dip direction | |
| | User planes | | | |
| 1 | ■ | 15° | 152° | E |
| 2 | ■ | 76° | 68° | D-1 |
| 3 | ■ | 75° | 114° | D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 120° | T |
| Plot Mode | Pole vectors | | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | | |
| Intersections count | 990 | | | |
| Hemisphere | Lower | | | |
| Projection | Equal area | | | |

Figura 3.30. Probabilidad de ruptura en cuña es 28.59% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación directa. EG-02.

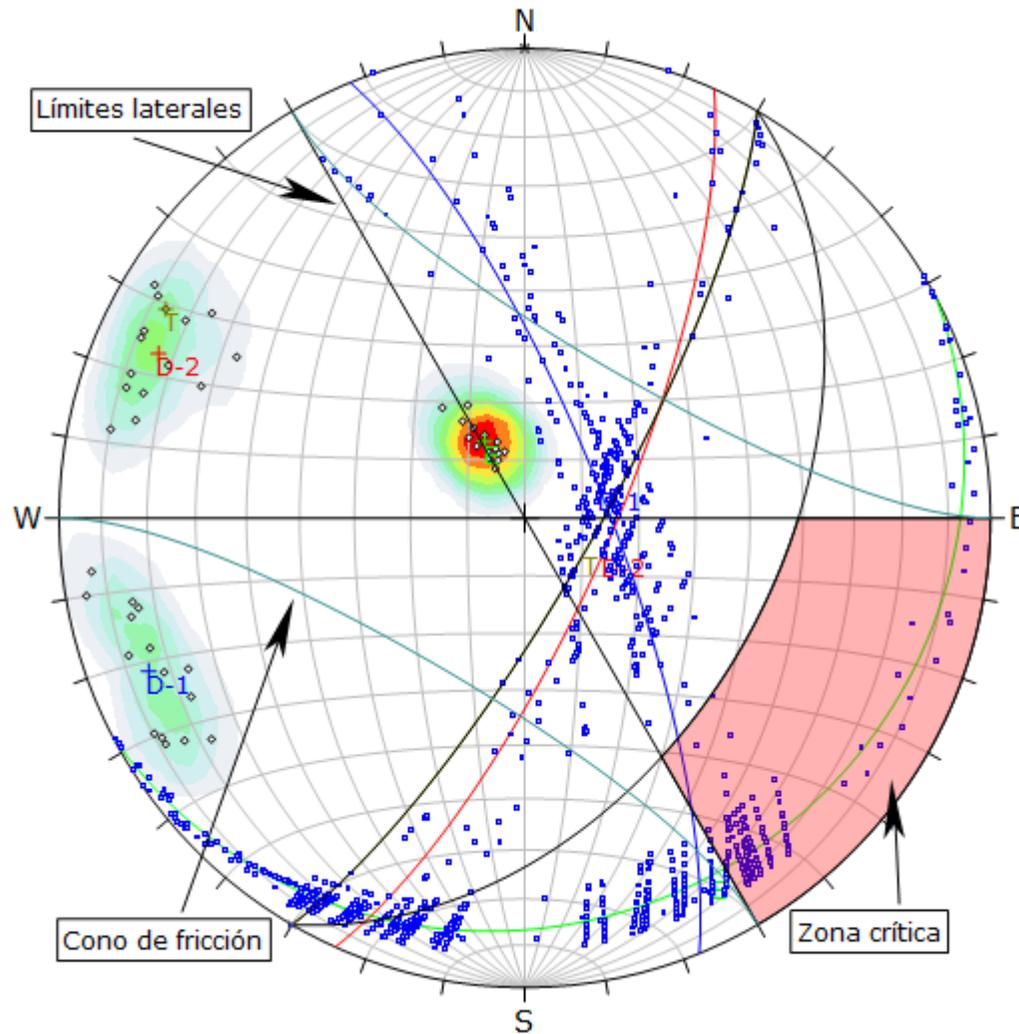


Figura 3.31. Probabilidad de ruptura por vuelco es 0.00% para el desbroce de roca, al favor del talud. EG-02.

| Symbol | Feature | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.00 | | |
| | 3.00 - 7.00 | | |
| | 6.00 - 9.00 | | |
| | 9.00 - 12.00 | | |
| | 12.00 - 15.00 | | |
| | 15.00 - 18.00 | | |
| | 18.00 - 21.00 | | |
| | 21.00 - 24.00 | | |
| | 24.00 - 27.00 | | |
| | 27.00 - 30.00 | | |
| Maximun density | | 29.30% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Flexural toppling | |
| Slope dip | | 78° | |
| Slope Dip direction | | 120° | |
| Friction angle | | 33° | |
| Lateral limits | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Flexural toppling (All) | 0 | 45 | 0.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 15° | 152° E |
| 2 | ■ | 76° | 68° D-1 |
| 3 | ■ | 75° | 114° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 120° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

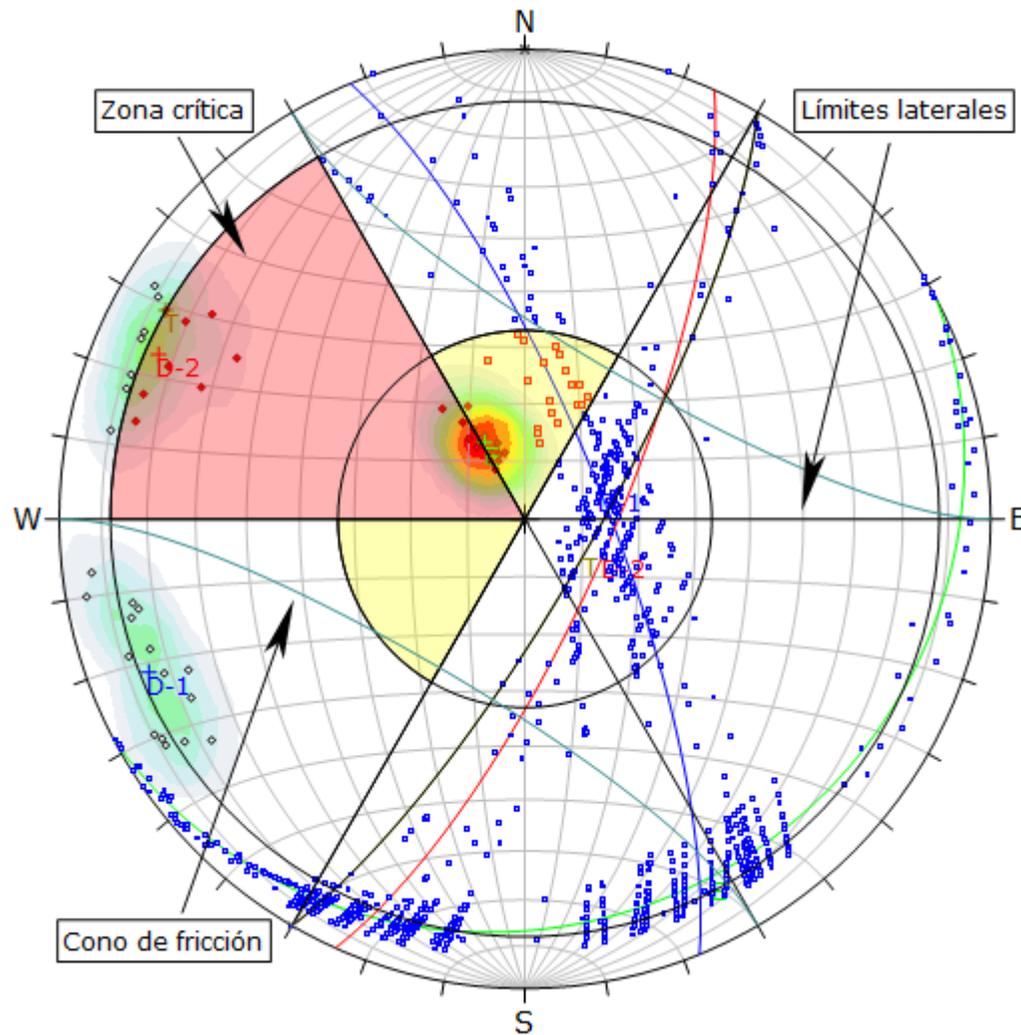


Figura 3.32. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 51.11% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia D-2 a favor del talud. EG-02.

| Symbol | Feature | | |
|---------------------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.00 | | |
| | 3.00 - 6.00 | | |
| | 6.00 - 9.00 | | |
| | 9.00 - 12.00 | | |
| | 12.00 - 15.00 | | |
| | 15.00 - 18.00 | | |
| | 18.00 - 21.00 | | |
| | 21.00 - 24.00 | | |
| | 24.00 - 27.00 | | |
| | 27.00 - 30.00 | | |
| Maximum density | | 29.30% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Direct toppling | |
| Slope dip | | 78° | |
| Slope Dip direction | | 120° | |
| Friction angle | | 33° | |
| Lateral milits | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Direct toppling (Intersection) | 0 | 990 | 0.00% |
| Oblique toppling (Intersection) | 19 | 990 | 1.92% |
| Base plane (All) | 23 | 45 | 51.11% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 15° | 152° E |
| 2 | ■ | 76° | 68° D-1 |
| 3 | ■ | 75° | 114° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 120° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

3.9.3 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-03

Basamento rocoso de roca competente de meteorización fresca, con bajo grado de fracturamiento, con GSI de bloques: Regulares a irregulares de espesor: 0.20 m. a 1.90 m. y persistencia 0.30 m. a 9.80 m., constituido por tres familias presentando superficies medianamente alteradas. Sin embargo, los rellenos de secuencia estratigráfica y fracturada, presenta: Arcilla, calcita, óxidos y pirolusita, de color: Gris claro, beige oscuro, crema a castaño. Cinemáticamente el modelo matemático Dips se obtuvo probabilidades de rupturas: Planares (2.22%, polo E), cuña (4.34%, intersección D-1 y D-2), vuelco (0.00%) y vuelco de base direccional (37.78% polo E); siendo los valores geométricos de tajo: $\Psi T = 53^\circ$ y $HT = 10.00$ m.

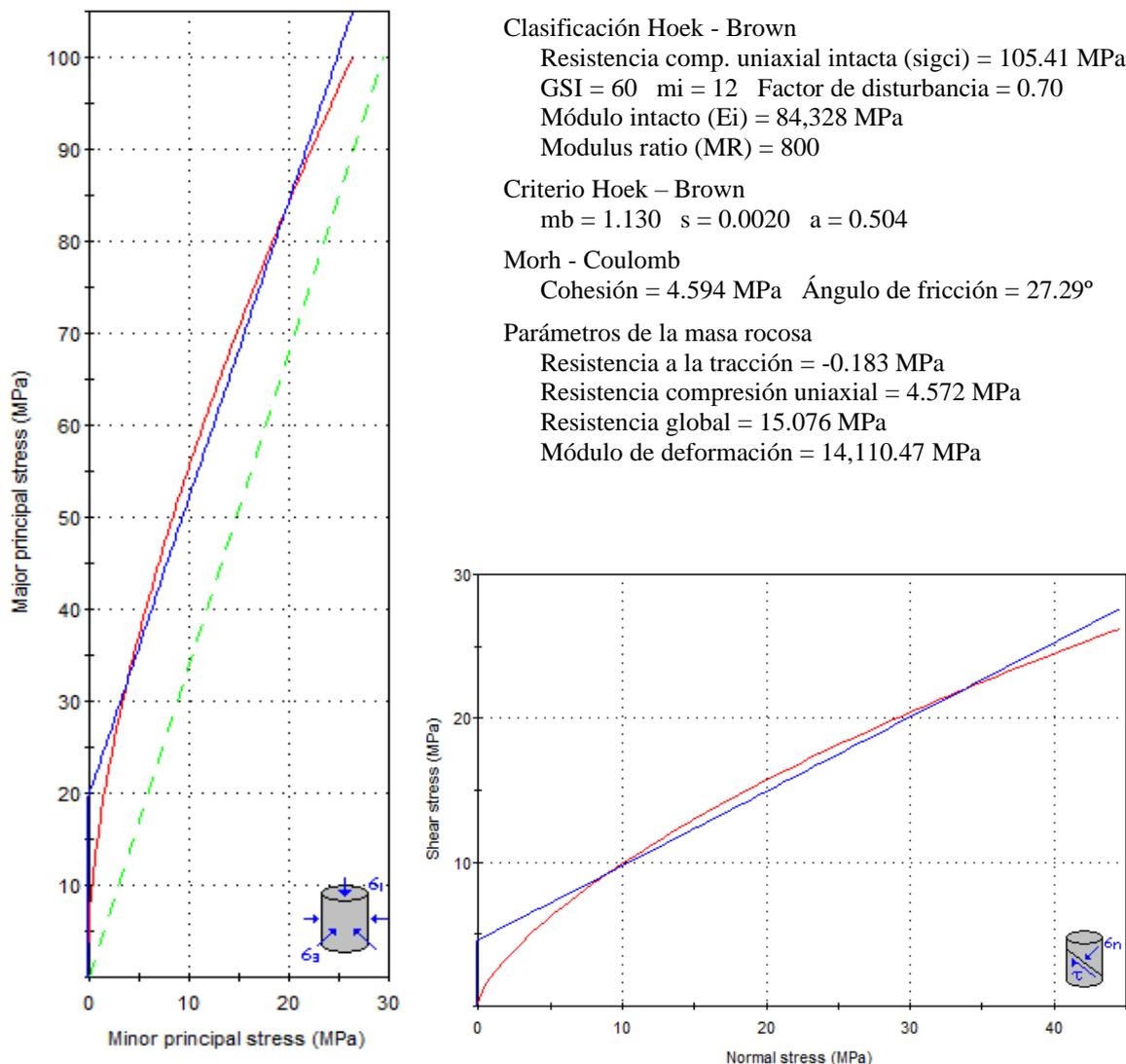
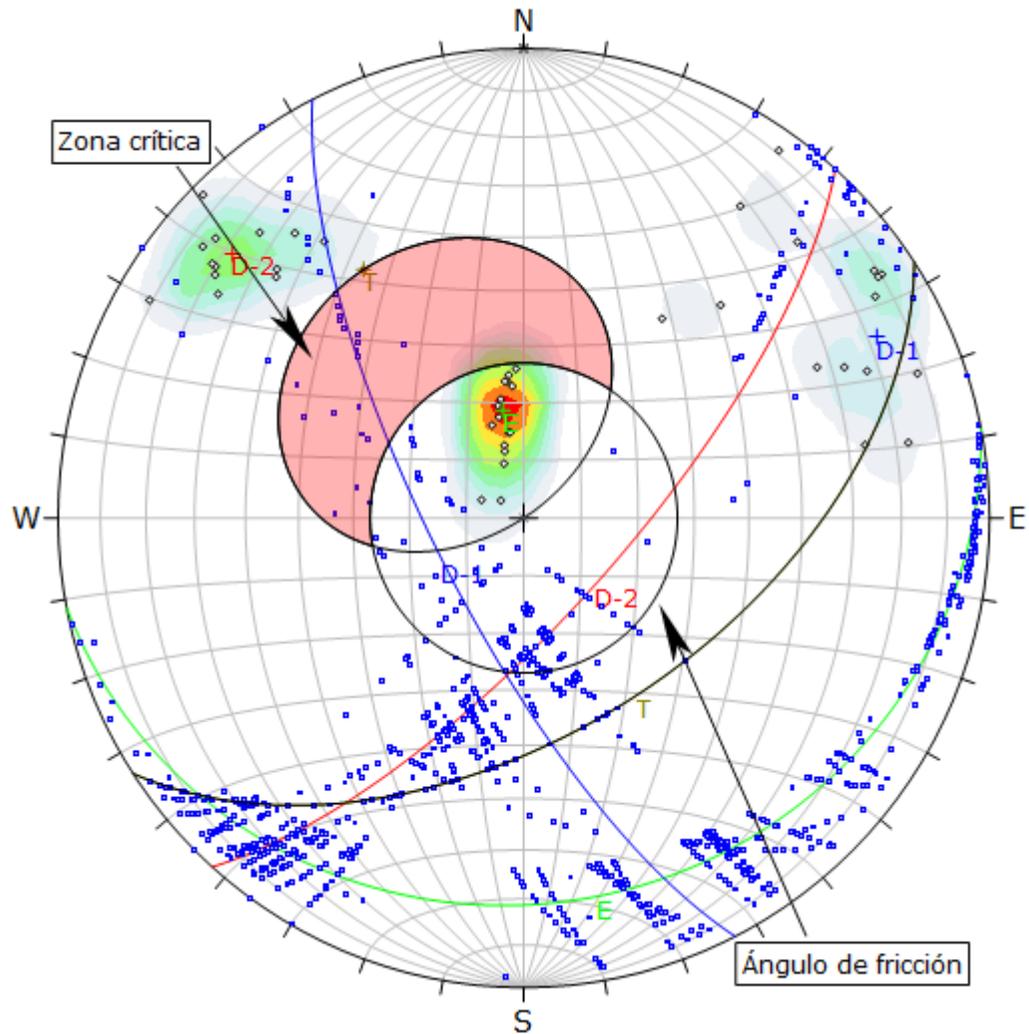
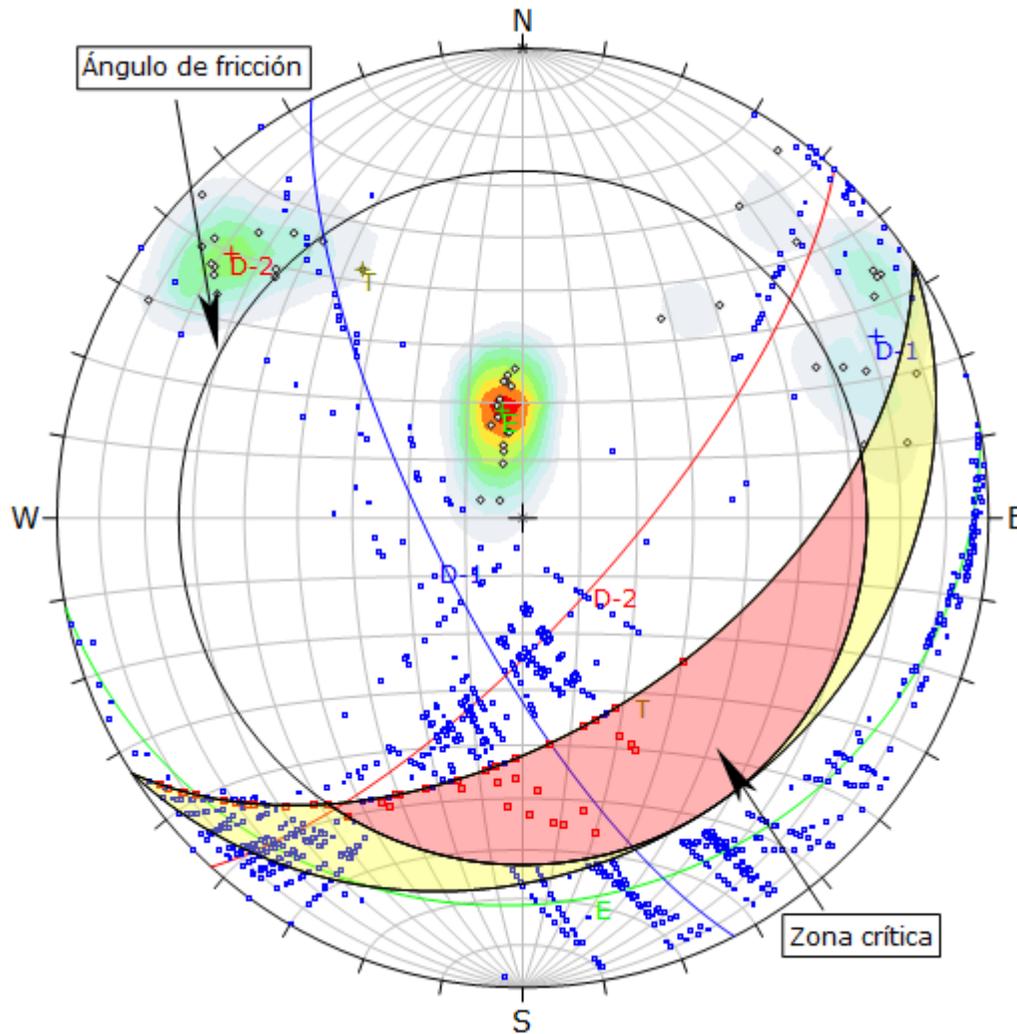


Figura 3.33. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-03.



| Symbol | Feature | | | |
|-----------------------|------------------------|-------|---------------|-------|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ◆ | Critical vectors | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 2.60 | | | |
| | 2.60 - 5.20 | | | |
| | 5.20 - 7.80 | | | |
| | 7.80 - 10.40 | | | |
| | 10.40 - 13.00 | | | |
| | 13.00 - 15.60 | | | |
| | 15.60 - 18.20 | | | |
| | 18.20 - 20.80 | | | |
| | 20.80 - 23.40 | | | |
| | 23.40 - 26.00 | | | |
| Maximun density | 25.32% | | | |
| Contour data | Polo vectors | | | |
| Contour distribution | Fisher | | | |
| Counting circle size | 1.00% | | | |
| Kinematic analysis | Planar siliding | | | |
| Slope dip | 53° | | | |
| Slope Dip direction | 147° | | | |
| Friction angle | 27° | | | |
| | Critical | Total | % | |
| Planar siliding (All) | 1 | 45 | 2.22% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 19° | 169° | E |
| 2 | ■ | 74° | 243° | D-1 |
| 3 | ■ | 73° | 132° | D-2 |
| 4 | ■ | 53° | 147° | T |
| Plot Mode | Pole vectors | | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | | |
| Intersections count | 990 | | | |
| Hemisphere | Lower | | | |
| Projection | Equal area | | | |

Figura 3.34. Probabilidad de ruptura planar es 2.22% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud. EG-03.



| Symbol | Feature | | |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.60 | | |
| | 2.60 - 5.20 | | |
| | 5.20 - 7.80 | | |
| | 7.80 - 10.40 | | |
| | 10.40 - 13.00 | | |
| | 13.00 - 15.60 | | |
| | 15.60 - 18.20 | | |
| | 18.20 - 20.80 | | |
| | 20.80 - 23.40 | | |
| | 23.40 - 26.00 | | |
| Maximun density | | 25.32% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Wedge sliding | |
| Slope dip | | 53° | |
| Slope Dip direction | | 147° | |
| Friction angle | | 27° | |
| | Critical | Total | % |
| Wedge sliding | 43 | 990 | 4.34% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 19° | 169° E |
| 2 | ■ | 74° | 243° D-1 |
| 3 | ■ | 73° | 132° D-2 |
| 4 | ■ | 53° | 147° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.35. Probabilidad de ruptura en cuña es 4.34% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. EG-03.

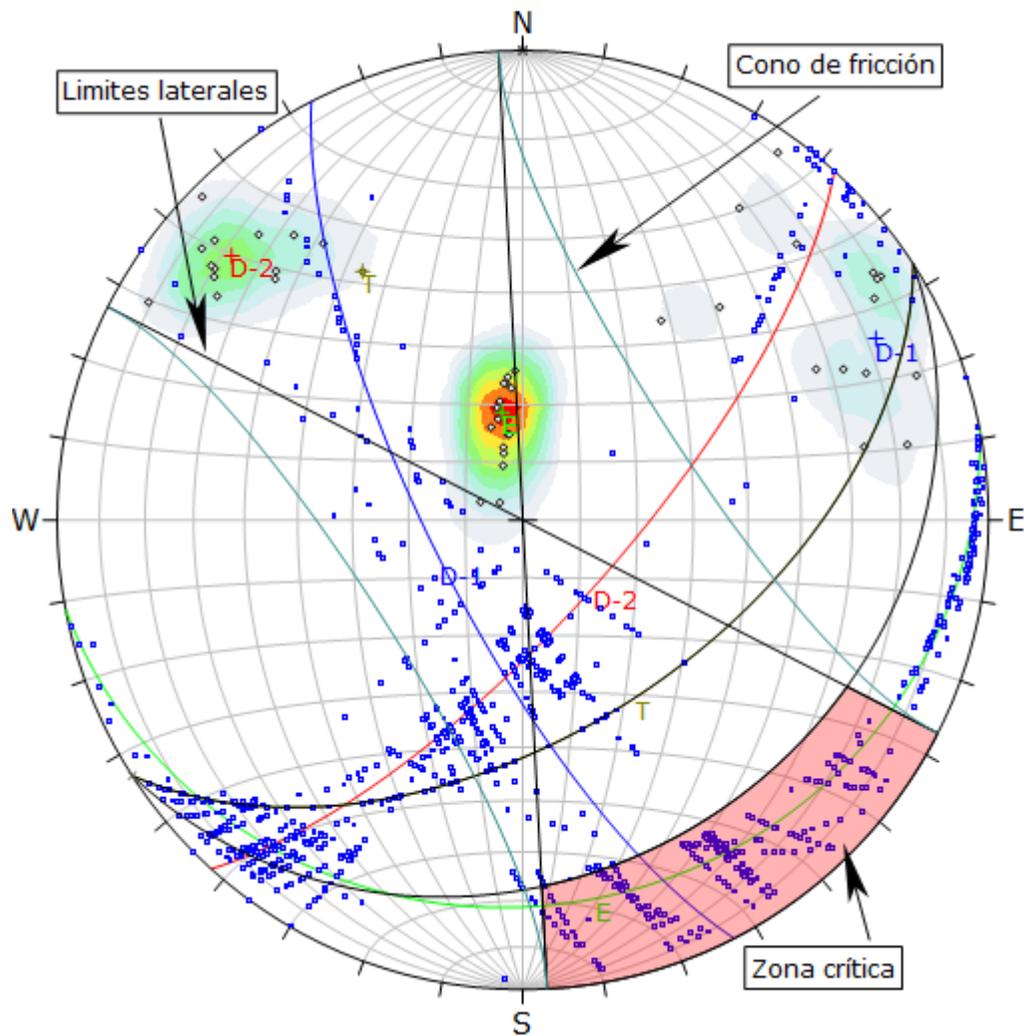


Figura 3.36. Probabilidad de ruptura por vuelco es 0.00% para el desbroce de roca, al favor del talud. EG-03.

| Symbol | Feature | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.60 | | |
| | 2.60 - 5.20 | | |
| | 5.20 - 7.80 | | |
| | 7.80 - 10.40 | | |
| | 10.40 - 13.00 | | |
| | 13.00 - 15.60 | | |
| | 15.60 - 18.20 | | |
| | 18.20 - 20.80 | | |
| | 20.80 - 23.40 | | |
| | 23.40 - 26.00 | | |
| Maximum density | | 25.32% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Flexural toppling | |
| Slope dip | | 53° | |
| Slope Dip direction | | 147° | |
| Friction angle | | 27° | |
| Lateral limits | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Flexural toppling (All) | 0 | 45 | 0.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 19° | 169° E |
| 2 | ■ | 74° | 243° D-1 |
| 3 | ■ | 73° | 132° D-2 |
| 4 | ■ | 53° | 147° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

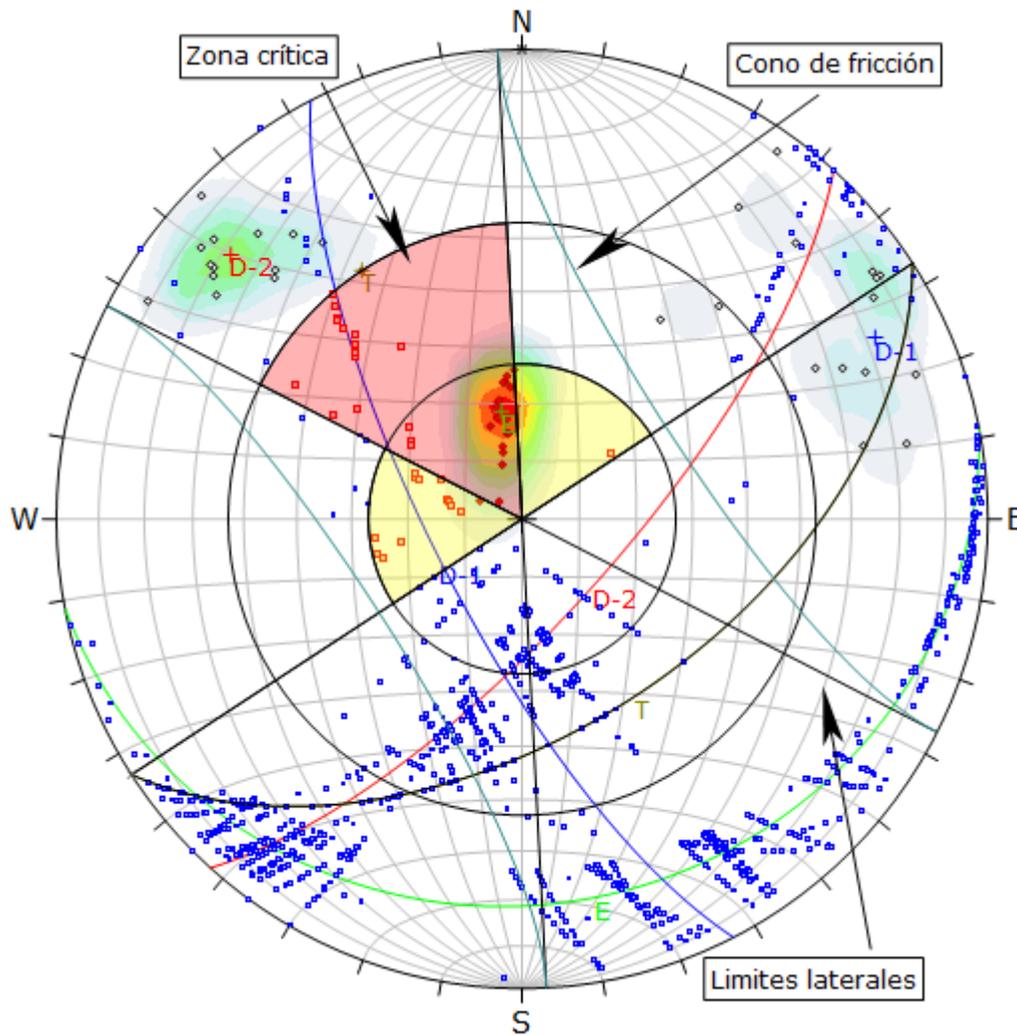


Figura 3.37. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 37.78% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia E a favor del talud. EG-03.

| Symbol | Feature | | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|-------|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ◆ | Critical vectors | | | |
| ■ | Critical intersection | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 2.60 | | | |
| | 2.60 - 5.20 | | | |
| | 5.20 - 7.80 | | | |
| | 7.80 - 10.40 | | | |
| | 10.40 - 13.00 | | | |
| | 13.00 - 15.60 | | | |
| | 15.60 - 18.20 | | | |
| | 18.20 - 20.80 | | | |
| | 20.80 - 23.40 | | | |
| | 23.40 - 26.00 | | | |
| Maximum density | 25.32% | | | |
| Contour data | Polo vectors | | | |
| Contour distribution | Fisher | | | |
| Counting circle size | 1.00% | | | |
| Kinematic analysis | Direct toppling | | | |
| Slope dip | 53° | | | |
| Slope Dip direction | 147° | | | |
| Friction angle | 27° | | | |
| Lateral milits | 30° | | | |
| | Critical | Total | % | |
| Direct toppling (Intersection) | 16 | 990 | 1.62% | |
| Oblique toppling (Intersection) | 15 | 990 | 1.52% | |
| Base plane (All) | 17 | 45 | 37.78% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 19° | 169° | E |
| 2 | ■ | 74° | 243° | D-1 |
| 3 | ■ | 73° | 132° | D-2 |
| 4 | ■ | 53° | 147° | T |
| Plot Mode | Pole vectors | | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | | |
| Intersections count | 990 | | | |
| Hemisphere | Lower | | | |
| Projection | Equal area | | | |

3.9.4 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA EG-04

Roca caliza compuesta por carbonato de calcio de color gris claro, ligeramente alteradas, con bloques completamente tabulares: 0.20 m. a 1.50 m., constituido por tres discontinuidades formando ruptura: Planar - 15.56%, cuña – 12.63%, vuelco – 6.67% y vuelco direccional - 28.89%, plasmando bajos porcentajes de ruptura: Planar, cuña y vuelco, a favor del talud para el desbroce de roca caliza, sin embargo, el vuelco direccional ayudará en la generación de escombros de roca. La estimación de la $\sigma_{ci} = 187.23$ MPa. categorizándole geomecánicamente por línea de detalle: RQD = 81.86% - Buena RMR = 67 - Buena y GSI = 62 – Buena.; con sección de corte: 10:1 / V:H, por la calidad de roca.

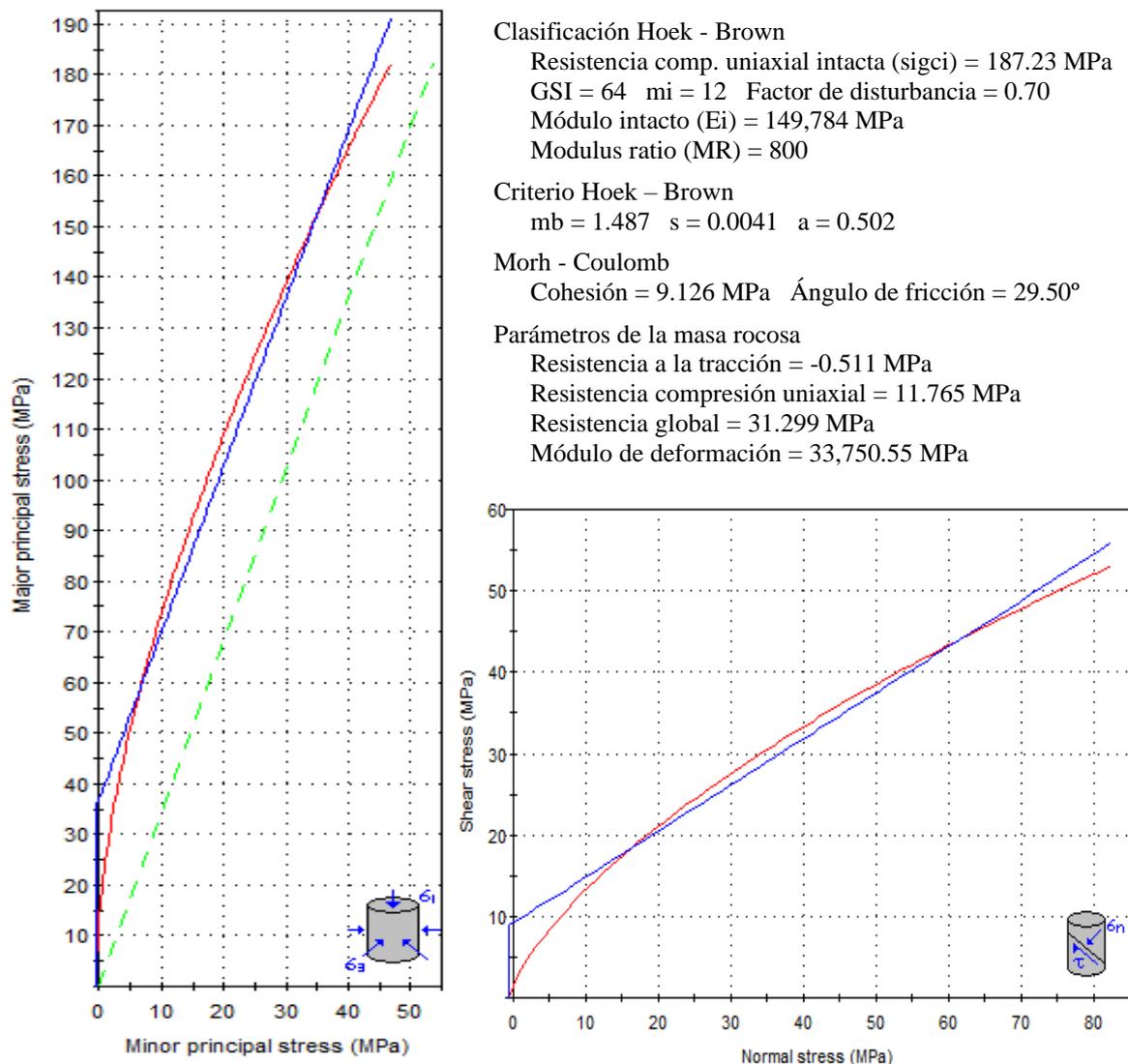
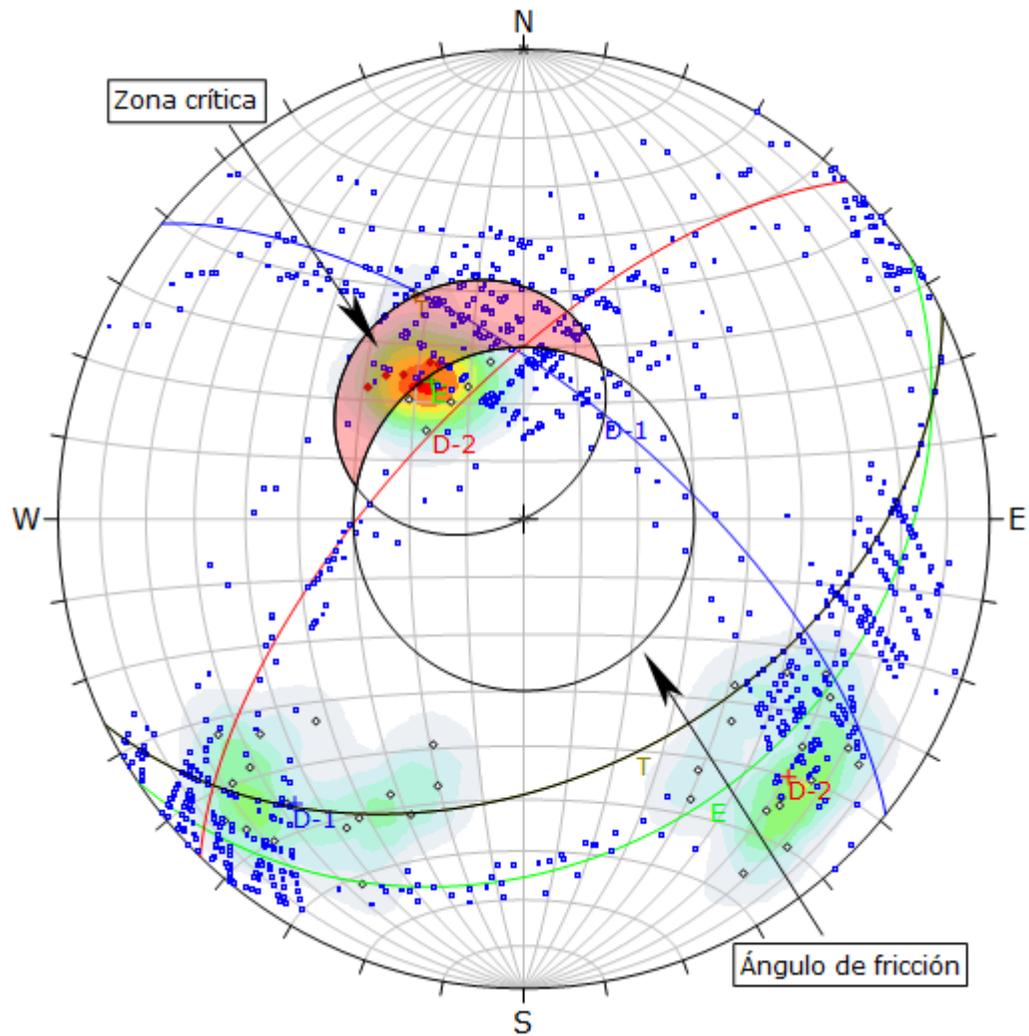
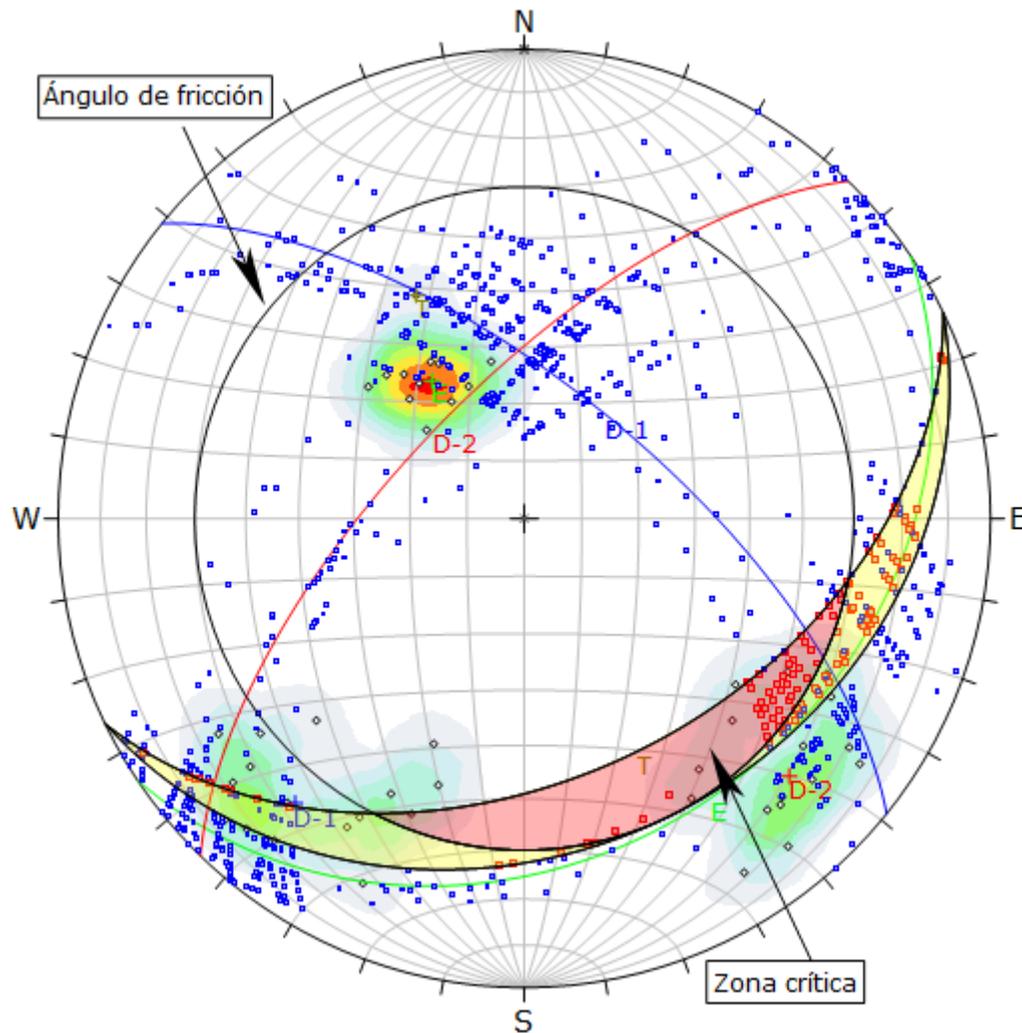


Figura 3.38. Método de la equivalencia de área, mediante teorías: M-C y H-B; aplicada al macizo rocoso – mediante el método generalizado. EG-04.



| Symbol | Feature | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 1.80 | | |
| | 1.80 - 3.60 | | |
| | 3.60 - 5.40 | | |
| | 5.40 - 7.20 | | |
| | 7.20 - 9.00 | | |
| | 9.00 - 10.80 | | |
| | 10.80 - 12.60 | | |
| | 12.60 - 14.40 | | |
| | 14.40 - 16.20 | | |
| | 16.20 - 18.00 | | |
| Maximun density | | 17.08% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic análisis | | Planar siliding | |
| Slope dip | | 44° | |
| Slope Dip direction | | 154° | |
| Friction angle | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Planar siliding (All) | 7 | 45 | 15.56% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 29° | 146° |
| 2 | ■ | 67° | 39° |
| 3 | ■ | 68° | 314° |
| 4 | ■ | 44° | 154° |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.39. Probabilidad de ruptura planar con 15.56% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud. EG-04.



| Symbol | Feature | | | |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|-----|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ■ | Critical intersection | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 1.80 | | | |
| | 1.80 - 3.60 | | | |
| | 3.60 - 5.40 | | | |
| | 5.40 - 7.20 | | | |
| | 7.20 - 13.00 | | | |
| | 9.00 - 10.80 | | | |
| | 10.80 - 12.60 | | | |
| | 12.60 - 14.40 | | | |
| | 14.40 - 16.20 | | | |
| | 16.20 - 18.00 | | | |
| Maximun density | | 17.08% | | |
| Contour data | | Polo vectors | | |
| Contour distribution | | Fisher | | |
| Counting circle size | | 1.00% | | |
| Kinematic análisis | | Wedge sliding | | |
| Slope dip | | 44° | | |
| Slope Dip direction | | 154° | | |
| Friction angle | | 30° | | |
| | Critical | Total | % | |
| Wedge sliding | 125 | 990 | 12.63% | |
| | Color | Dip | Dip direction | |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 29° | 146° | E |
| 2 | ■ | 67° | 39° | D-1 |
| 3 | ■ | 68° | 314° | D-2 |
| 4 | ■ | 44° | 154° | T |
| Plot Mode | | Pole vectors | | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | | Grid data planes | | |
| Intersections count | | 990 | | |
| Hemisphere | | Lower | | |
| Projection | | Equal area | | |

Figura 3.40. Probabilidad de ruptura en cuña con 12.63% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y E; en orientación indirecta. EG-04.

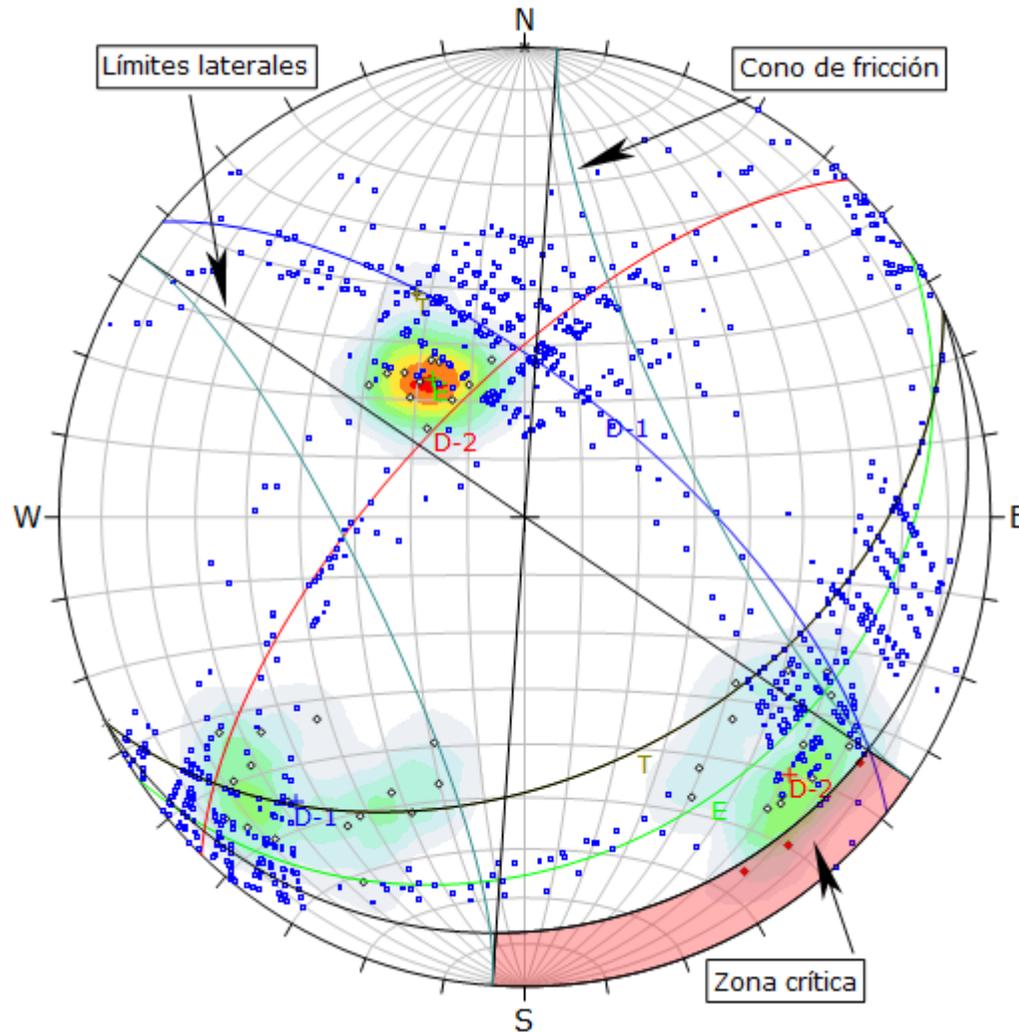


Figura 3.41. Probabilidad de ruptura por vuelco es 6.67% para el desbroce de roca, englobando al polo de familia: D-2; al favor del talud. EG-04.

| Symbol | Feature | | | |
|-------------------------|------------------------|-------|---------------|-------|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ◆ | Critical vectors | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 1.80 | | | |
| | 1.80 - 3.60 | | | |
| | 3.60 - 5.40 | | | |
| | 5.40 - 7.20 | | | |
| | 7.20 - 9.00 | | | |
| | 9.00 - 10.80 | | | |
| | 10.80 - 12.60 | | | |
| | 12.60 - 14.40 | | | |
| | 14.40 - 16.20 | | | |
| | 16.20 - 18.00 | | | |
| Maximun density | 17.08% | | | |
| Contour data | Polo vectors | | | |
| Contour distribution | Fisher | | | |
| Counting circle size | 1.00% | | | |
| Kinematic análisis | Flexural toppling | | | |
| Slope dip | 44° | | | |
| Slope Dip direction | 154° | | | |
| Friction angle | 30° | | | |
| Lateral limits | 30° | | | |
| | Critical | Total | % | |
| Flexural toppling (All) | 3 | 45 | 6.67% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 29° | 146° | E |
| 2 | ■ | 67° | 39° | D-1 |
| 3 | ■ | 68° | 314° | D-2 |
| 4 | ■ | 44° | 154° | T |
| Plot Mode | Pole vectors | | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | | |
| Intersections count | 990 | | | |
| Hemisphere | Lower | | | |
| Projection | Equal area | | | |

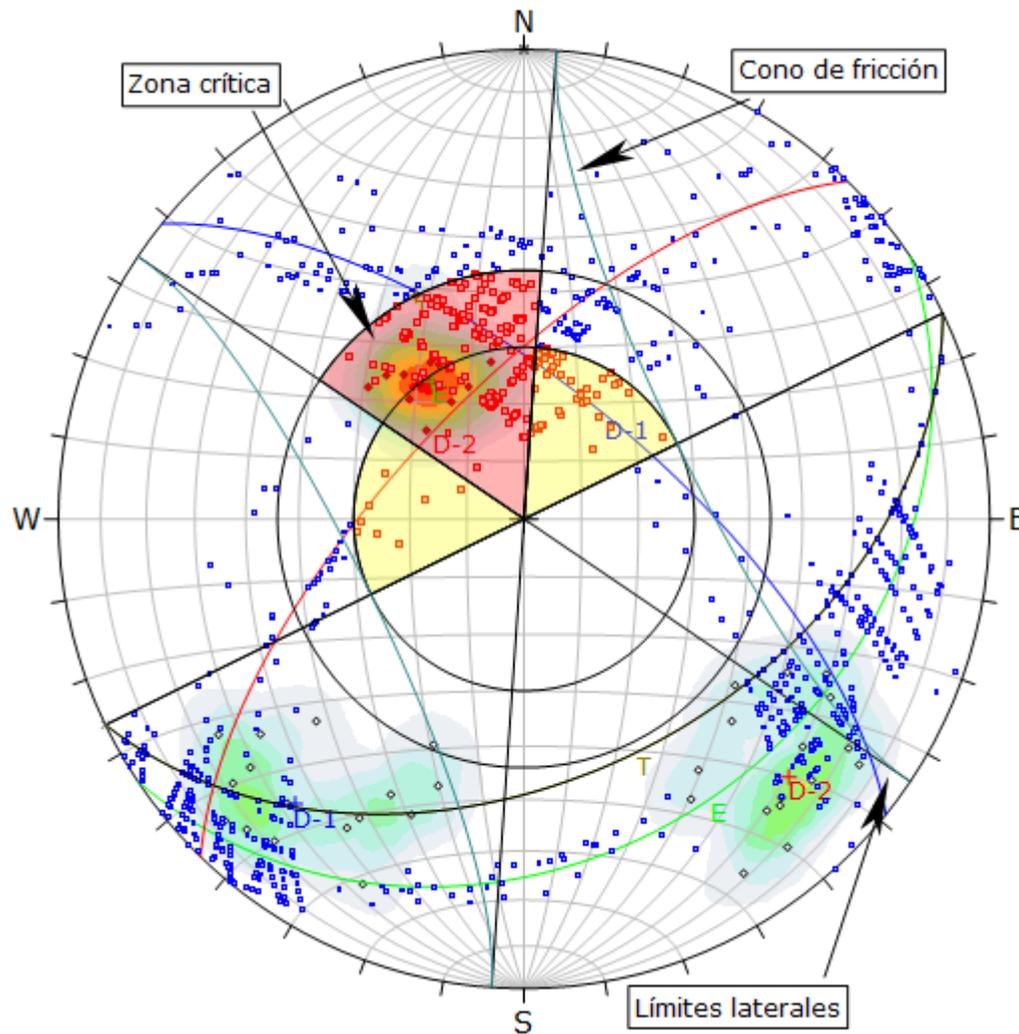


Figura 3.42. Probabilidad de ruptura por vuelco de base direccional es 28.89% para el desbroce de roca, englobando al polo de la familia E a favor del talud. EG-04.

| Symbol | Feature | | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|-------|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ◆ | Critical vectors | | | |
| ■ | Critical intersection | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 1.80 | | | |
| | 1.80 - 7.00 | | | |
| | 3.60 - 5.40 | | | |
| | 5.40 - 7.20 | | | |
| | 7.20 - 9.00 | | | |
| | 9.00 - 10.80 | | | |
| | 10.80 - 12.60 | | | |
| | 12.60 - 14.40 | | | |
| | 14.40 - 16.20 | | | |
| | 16.20 - 18.00 | | | |
| Maximum density | 17.08% | | | |
| Contour data | Polo vectors | | | |
| Contour distribution | Fisher | | | |
| Counting circle size | 1.00% | | | |
| Kinematic análisis | Direct toppling | | | |
| Slope dip | 44° | | | |
| Slope Dip direction | 154° | | | |
| Friction angle | 30° | | | |
| Lateral milits | 30° | | | |
| | Critical | Total | % | |
| Direct toppling (Intersection) | 167 | 990 | 16.87% | |
| Oblique toppling (Intersection) | 60 | 990 | 6.06% | |
| Base plane (All) | 13 | 45 | 28.89% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 29° | 146° | E |
| 2 | ■ | 67° | 39° | D-1 |
| 3 | ■ | 68° | 314° | D-2 |
| 4 | ■ | 44° | 154° | T |
| Plot Mode | Pole vectors | | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | | |
| Intersections count | 990 | | | |
| Hemisphere | Lower | | | |
| Projection | Equal area | | | |

3.10 DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

De acuerdo con la estructura masiva de caliza formada geológicamente, se propone la extracción de roca a tajo abierto mediante sistema de bancos por: Geomorfología y geoestructuras, con orientación $Az_T = N65^\circ$ de tajo del yacimiento litológico iniciando desde la cota: 2,931 msnm. hasta 2,973 msnm. siendo la parte baja y alta del área de explotación proyectando los siguientes parámetros de diseño: Altura de banco = 7.00 m., quebradura = 1.19 m., ancho de berma = 3.40 m., ancho rampa = 6.80 m., ángulo de banco talud = 80° y ángulo final de banco = 51° . Para dichas consideraciones se tomó en cuenta el tipo: Maquinaria, equipos y requerimientos de óxido de calcio (CaO) por el solicitante; utilizados actualmente por la empresa Cal Plus E.I.RL.

Tabla 3.11. Estimación de reservas no metálicas del proyecto para el Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.RL.

| ÁREA (m ² .) | PROFUNDIDAD DE EXPLOTACIÓN (m.) | VOLUMÉN ESTADO NATURAL (m ³ .) | TONELADAS Ton(métrica) |
|----------------------------|------------------------------------|---|---------------------------|
| 20,311.76 | 42.00 | 284,364.64 | 767,784.53 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| VIDA ÚTIL (AÑOS) | 19.69 |
|-----------------------------|-------|

Reservas : 767,784.53 TM
 Producción anual : 39,000 TM/año
 Producción mensual : 3,250 TM/mes
 Producción Diaria : 125 TM/día
 Días de trabajo : 26 días/mes
 Vida útil : 19.69 años

Los cálculos de vida útil proyectan reservas de 767,784.53 TM del sector 1 - Tajo IV, proyectan vida útil de 19.69 años, equivalente a 19 años 8 meses 8 días., con peso específico de la roca 2.70 Tm/m³.; proyectándose hasta el año 2,043 de producción de roca calcárea, en este sector del área proyectada. Sin embargo, el método de explotación se complementa con la utilización de

perforación y voladura (Anfo, fulminante y mecha lenta) utilizando taladros inclinados en contra del buzamiento de los estratos para mejores desplazamientos de bloques de roca desde la cara libre para la formación de la pila de escombros (Desbroce y seleccionamiento de la roca), para el abastecimiento de la planta de beneficio, obtener el óxido de calcio (CaO).

3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La realización de la tesis está basada en metodologías de investigación enfocadas a ingeniería minera del cartografiado geomecánico del basamento rocoso de roca caliza para definir el diseño geométrico del Tajo IV de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L., para brindar aportes a: Compañeros, alumnos, profesionales y otras especialidades a fines a la minería, enfocados a la geomecánica de taludes, así mismo aportando con conocimiento ingenieril de investigación por esta tesis realizada en función del desarrollo de las variables: Litología, geoestructuras, sismicidad, geomorfología, precipitación y diseño de tajo; siendo las variables importantes para el diseño de bancos del Tajo IV de producción de escombros de roca por banquetas o bancos de voladura.

3.11.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

No experimental: Está basada en la apreciación del basamento rocoso en su estado actual sin manipulación en su: Origen, formación, emplazamiento, etc.; aplicando técnicas observaciones de estado actual del yacimiento minero no metálico, la caracterización geomecánica de la roca caliza del Tajo IV de explotación para optimizar los escombros de roca caliza. Basados en la calidad roca y orientación del estrato o discontinuidades a favor del tajo, para el grado de fragmentación de roca, mediante la utilización de explosivos.

Correlacional: Fundamentada en la obtención de información de cada variable, para realizar correlaciones de información del cartografiado de las diferentes estaciones tomadas de campo, en función de valores: Cualitativos y cuantitativos, de cada variable planteada por la tesis, obteniendo información: Real, precisa y consistente, del área de la Tajo IV de explotación, del yacimiento minero.

Explicativo: Se realizó con el objetivo de: Comprender, analizar y estudiar el problema con mayor profundidad; basadas en la obtención de información puntual y consistente como: Tipo de roca, orientación de juntas, geomorfología, área de producción de roca, calidad de roca y sección de corte de producción de tajo; para mejor optimización de recuperación de escombros de roca caliza.

Deductivo: Se tomó en consideración la investigación partiendo del razonamiento del objetivo más general a lo particular; fundamentada por ciencias como: Matemática y lógica, basadas en la observación y planificación del tajo de explotación frente a los bancos del tajo. Así mismo fueron basadas por: Hechos y reglas, de los patrones y tendencias, del afloramiento rocoso mediante observaciones adquiriendo información: Cualitativa y cuantitativa, para obtener conclusiones y recomendaciones.

Inductivo: Estuvo basada en el proceso de razonamiento observacional de campo mediante cartografiados por cada variable: Dependiente e independiente, para llegar a conclusiones finales por los objetivos específicos, planteados y desarrollados por la investigación como: Cartografiado litológico-geoestructural, caracterización geomecánica y diseño geométrico del Tajo IV de explotación de la minería no metálica.

Interpretativo: Las interpretaciones fueron fundamentadas por etapas de procesamiento de información secuencial, partiendo de información: Cualitativa y cuantitativa, representada en la tesis mediante: Cuadros y gráficas, mostrando de manera resumida el comportamiento del basamento rocoso frente a condiciones de movimiento de tierras generados por la perforación y voladura del tajo de explotación.

3.11.2 POBLACIÓN

Está constituida por rocas carbonatadas de la Formación Cajamarca, delimitando una superficie de explotación de 20,311.76 m²., de roca estratificada a favor del talud para definir el diseño geométrico del Tajo IV.

3.11.3 MUESTRA

Está representada por las cuatro estaciones geomecánicas delimitadas por el área de explotación para obtener la calidad de roca caliza para el diseño de Tajo de explotación, mediante el desarrollo de variables: Dependientes e independientes, para mejores comportamientos del modelamiento numérico.

3.11.4 UNIDAD DE ANÁLISIS

Fueron constituidas por variables carácter científico ingenieril minero para el desarrollo del tajo IV de explotación como: Litología, geoestructuras, sismicidad geomorfología precipitación y diseño de tajo, para optimizar y estabilizar el frente de explotación del Tajo IV de mina no metálica.

3.11.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Recopilación de información: Está basada en la agrupación y recolección de información como: Artículos científicos, libros, simposium, paper, etc., que se relacionan con el tema de investigación a desarrollar; así mismo la utilización programas numéricos: Google Maps, Geocatmin, SASPlanet, AutoCad, ArGis, Global Mapper, RocData y Dips; para posteriores procesamientos y resultados de información que cada programa numérico. Así mismo se tuvo que considerar en esta etapa el número de salidas de campo de acuerdo con las brigadas programadas de avance y revisión de información por parte del asesor.

Observacional: Metodología utilizada en la investigación del yacimiento no metálico mediante la implicancia de observaciones directas en la ocurrencia y entono natural del tajo, sin intervenir ni modificar lo evaluado, en la zona de investigación.

Cartografiado de campo: Fue basada en planificaciones progresivas para la recopilar información: Cualitativa y cuantitativa de campo de acuerdo con el desarrollo de cada variable, mediante la correspondiente utilización del formato de

llenado de acuerdo con la información: Geológico, geoestructural y geomecánico, de la tesis planteada.

Procesamiento de información: Esta fundamentada en: Codificaciones, agrupaciones y tabulaciones, de información de acuerdo con las variables del desarrollo de la tesis, así mismo la utilización de programas numéricos como son: el RocData y Dips, que brindaran la consistencia final del procesamiento geomecánico del yacimiento no metálico del Tajo IV.

Descriptivo: Se basó en tener información: Cualitativa, siendo la primera etapa de obtención de información: Descriptiva, forma, volumen y clasificación; siendo complementada datos cuantitativos dando valoraciones numéricas que representan valores para: Mejorar, modelar y diseñar, las operaciones mineras del Tajo IV de explotación de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

Análisis e interpretación información: Fue de manera consistente de acuerdo con las etapas anteriores realizadas obteniendo información numérica de vital importancia para la empresa Cal plus E.I.R.L., para optimizar el diseño del tajo de explotación mediante obtención: Planos, tablas y figuras, que muestran información: Consistente y precisa, del yacimiento no metálico, para la producción de escombros de roca caliza.

3.11.6 EQUIPOS, MATERIALES Y SOPORTE COMPUTACIONAL

Los materiales, equipos y soporte computacional, fueron utilizados en todas las etapas, siendo progresivamente manipulados y en otros casos reiterados, por información adicional, sin embargo, fueron calibrados constantemente por cada etapa realizada por el procesamiento de campo y gabinete, como a continuación se muestra:

Equipos: GPS Garmin, Brújula Brunton, cámara fotográfica, lupa, picota, protactor, rayador, wincha, flexómetro, GPS diferencial y mira.

Materiales: Registro geológico-geomecánico, planos, portapapeles, ácido clorhídrico, libreta de campo, corrector, lapiceros, pintura, borrador, colores y plumones indelebles.

Soporte computacional: Google Maps, Geocatmin, SASPlanet, AutoCad, ArGis, Global Mapper, RocData y Dips.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 GEOMECÁNICA DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El río Arascorgue es el drenaje principal declarado por la Administración Local de Agua Chotano Llaucano, ubicada a una distancia 820 m. de las operaciones mineras extractivas del Tajo IV, con orientación S, en la intercuenca Alto Marañón IV, declarado actualmente como el río más contaminado superando los estándares de calidad ambiental (ECA); siendo localizado en la zona montañosa de la Cordillera Occidental del distrito Hualgayoc (naciente), en la microcuenca del río Hualgayoc-Arascorgue, con orientación NNE-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 nacimiento) 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 (Nacimiento 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.

Por consiguiente, hidrología está delimitada por la escorrentía superficial con orientación S, evacuando las aguas pluviales por las unidades morfogénicas desde pendientes: 0° - 45° , transportando sedimentos compuestos por: Limos y arcillas, así mismo la microcuenca con parámetros: Factor de forma (Ff) = 0.25 ligeramente achatada, índice de Gravelius (Kc) = 1.46 oval rectangular oblonga, densidad de drenaje 3.96 Km/Km² muy alta, área de microcuenca 0.257 km²., longitud de cauce 1.018 Km., con tiempo concentración (Tc) de agua 22.80 min, precipitación anual 559.39 mm/año, categorizándolo en máximas precipitaciones por año: bajas (2013 – 68.30 mm/año, 2014 – 54.30 mm/año, 2015 – 83.10 mm/año,

2016 – 63.80 mm/año), media (2018 – 144.20 mm/año, 2019 – 111.50 mm/año y 2020 – 139.40 mm/año) y alta (2017 – 198.10 mm/año, 2021 – 182.10 mm/año y 2022 – 189.10 mm/año), siendo los años: 2021 y 2022 de alta precipitación que afectarían la extracción de roca caliza

Litológicamente presenta afloramientos rocosos de la Formación Cajamarca del Cretácico Superior – Mesozoico, presentando espesor global desde: 600 m. a 700 m., de la edad Turoniana desde: 89.80 Ma. a 93.90 Ma. constituida por estratos o unidades sedimentarias de calizas gris claro a verduzcas macizas de espesor: 0.60 m. a 1.50 m., constituyendo niveles o capas: Horizontales a subhorizontales de espesores uniformes limitadas por superficies de estratificación de orientación (Az/Bz): N52°/19°SE. Sin embargo, la secuencia calcárea presenta estratos gruesos y resistentes (105.41 MPa a 204.59 MPa.), con fractura concoidea a ganchuda por su textura: Vidriosa a masiva de grano fino, presentando blocosidad: Tabular, cúbica a prismática, por su calidad regular a buena, con espesor litológico de superficie de rugosidad: Lisa a pulida, con abertura rellena de material arcilloso de color beige claro a crema de espesor: 1 mm. a 5 mm.; siendo en otros sectores con rellenos: Calcita y óxidos. Así mismo se evidenció litología Cenozoica – Cuaternaria del Holoceno conformado por el Depósito Deluvial de espesor: 0.25 m. a 2.50 m. distribuida de heterogéneamente sobre la superficie del basamento rocoso; compuesto por material fino Limo-arcilloso, de coloración castaño a rojo naranja, de consistencia firme, con humedad natural semiseca, con estructura fisurada, con tenacidad y plasticidad: Alta, reacciona con HCl, cementación moderada, resistencia media y dilatancia ninguna; clasificándolo como CH.

La geomorfología del Tajo IV de la superficie del basamento calcáreo es expuesta a la meteorización: Física, química y biológica; generando geformas de mayor incidencia como: Planicie, lomada, ladera y escarpa; delimitadas por formas semicirculares de acuerdo con la elevación de la pendiente topográfica, así mismo de acuerdo con la pendiente se evidenció acumulaciones de Depósitos Cuaternarios Deluviales constituyendo las planicies desde la cota: 2,889 msnm. a 2,893 msnm. Sin embargo, las lomadas están delimitadas desde la altitud: 2,893 msnm. a 2,906 msnm. formando una franja circular alrededor del cerro,

presentando afloramientos rocosos en mayor proporción con bajas acumulaciones de Depósitos Deluviales desde espesor: 0.40 m. a 0.85 m. cubriendo aun algunos sectores del basamento rocoso y unidades kársticas como: Dolinas, simas y lenares. Por otra parte, las laderas fluctúan desde la franja altitudinal: 2,906 msnm. a 2,932 msnm., siendo actualmente zona aun no explotada para la extracción de roca caliza, abundando unidades morfogenéticas kársticas como: Dolinas y lenares, con oquedades: Circulares, semicirculares a alargadas de diferentes dimensiones por el grado de disolución de la roca caliza; y las escarpas se ubican al NE de las instalaciones con buzamiento: 75° a 90°, siendo lugares inaccesibles por su alta pendiente, formando farallones calcáreos de 40 m. de altura, y longitud 2.50 Km.; constituido por basamento rocoso de buena calidad de espesor: 0.80 m a 1.20 m.

Así mismo la meteorización: Física, química y biológica, están: diluyendo y alterando a la roca calcárea formando geoformas kársticas como: Dolinas, simas y lenares. Ubicándose las dolinas en la parte alta de la ladera del tajo de explotación, presentando depresiones de amplitud: 1.80 m. a 2.50 m. de diámetro, formadas por la disolución de las rocas carbonatadas, siendo de forma: Circular, semicircular a alargadas; con profundidades: 0.40 m. a 0.95 m., así mismo los lenares presentan múltiples: Surcos, orificios y aristas agudas; por meteorización Fisicoquímica de la caliza CO_3Ca insoluble se transforma en bicarbonato calcio $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$; y finalmente las simas son conductos verticales con profundidad incierta ubicada en la parte cóncava de las dolinas siendo en muchos de los casos rellenada por Depósitos Deluviales.

Las geoestructuras de mayor incidencia están delimitadas por dos fallas regional: Inversa (Presenta orientación Az/Bz: N155°/36°SW, ubicada a una distancia 820 m. al SW de las operaciones mineras,) y Normal (Tiene orientación Az/Bz: N332°/72°NE, ubicada a una distancia 12.04 Km. al NE de las operaciones mineras), siendo desplazadas este conjunto de falla regionales por una falla dextral ubicada a una distancia 1,200 m. con alineamiento SW-NE, ubicada al S de las operaciones mineras, afectando al movimiento tectónico del cuadrángulo 14f-I, agrupando estas dos fallas sistemas de plegamientos asimétricos: Sinclinales y anticlinales, de orientación tectónica SSW-NNE, con eje WNW-ESE, variando su

Bz = 15° a 25°SW-NE. Por consiguiente, las estructuras menores están relacionadas con la grado de blocosidad siendo: Tabulares y cúbicas, por su: Espaciado, persistencia y apertura, por las discontinuidades D/DD: E = 33°/26°, D-1 = 69°/36°, D-2 = 52°/296°; generando fallamientos: Planares, cuñas, vuelcos y vuelco direccional, por polos e intersección de juntas, por superposición del ángulo de fricción, cono de fricción, límites lateral y envolvente de luz, definiendo la zona crítica, en función de la orientación del talud o tajo de explotación.

Tabla 4.1. Probabilidad de ruptura rocosa por software Dips del Tajo IV de explotación de roca de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Estación | Probabilidad de ruptura | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|---------|-------|---------|----------|-----------|---------|------------------|-------|
| | Planar | | Cuña | | Vuelco % | | | | |
| | % | Junta | % | Junta | Vuelco | Dirección | Oblicuo | Base direccional | Junta |
| E-1 | 33.33 | D-1/D-2 | 29.93 | D-1/D-2 | 0.00 | 2.53 | 0.71 | 28.89 | D-1 |
| E-2 | 20.00 | D-1/D-2 | 28.59 | D-1/D-2 | 0.00 | 0.00 | 1.92 | 51.11 | D-2 |
| E-3 | 2.22 | E | 4.34 | D-1/D-2 | 0.00 | 1.62 | 1.52 | 37.78 | E |
| E-4 | 15.56 | E | 12.63 | D-1/E | 6.67 | 16.87 | 6.06 | 28.89 | E |

| | | | | | | |
|--------------------------|------|--|----------|--|------|--|
| Condición de estabilidad | Baja | | Moderada | | Alta | |
|--------------------------|------|--|----------|--|------|--|

Tabla 4.2. Porcentaje de análisis cinemático por diagrama: Pi y beta, por software Dips - Tajo IV de explotación de roca de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Estación | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Numero de juntas | | Inestabilidad de junta |
|------------|------------------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
| | | | Críticas | Total | |
| E-1 | Planar | 33.33 | 15 | 45 | D-1/D-2 |
| | Cuña | 29.43 | 296 | 989 | D-1/D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Direccional | 28.89 | 13 | 45 | D-1 |
| E-2 | Planar | 20.00 | 9 | 45 | D-1/D-2 |
| | Cuña | 28.59 | 283 | 990 | D-1/D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Direccional | 51.11 | 23 | 45 | D-2 |
| E-3 | Planar | 2.22 | 1 | 45 | E |
| | Cuña | 4.34 | 43 | 990 | D-1/D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Direccional | 37.78 | 17 | 45 | E |
| E-4 | Planar | 15.56 | 7 | 45 | E |
| | Cuña | 12.63 | 125 | 990 | D-1/E |
| | Vuelco | 6.67 | 3 | 45 | D-2 |
| | Base direccional | 28.89 | 13 | 45 | E |

Los resultados obtenidos del modelo numérico Dips del análisis cinemático muestra probabilidades de ruptura en función de cada estación geomecánica: EG-01 (Presenta valores: 28.89% a 33.33%, siendo de moderada blocosidad la ruptura: Planar D-1/D-2, cuña D-1/D-2 y vuelco de base direccional D-1; y baja blocosidad la ruptura: Vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 0.00% a 2.53%), EG-02 (Presenta valores: 20% a 28.59%, siendo de moderada blocosidad la ruptura: Planar D-1/D-2, cuña D-1/D-2; vuelco de base direccional con 51.11% blocosidad alta D-2; y baja blocosidad la ruptura: Vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 0.00% a 1.92%), EG-03 (Presenta baja blocosidad la ruptura: Planar E, cuña D-1/D-2, vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 0.00% a 4.34% y moderada blocosidad de ruptura por vuelco de base direccional con 37.78% el E); y EG-04 (Presenta de baja blocosidad la ruptura: Planar E, cuña D-1/E, vuelco, vuelco dirección y vuelco oblicuo; desde 6.06% a 16.87%) y moderada blocosidad la ruptura por vuelco de base direccional con 28.89% el E); aumentando el grado escombros de roca en las estaciones geomecánicas: EG-01 y EG-02.

4.2 CARTOGRAFIADO LITOLÓGICO-GEOESTRUCTURAL

El cartografiado geomecánico por línea de detalle muestra rocas de calidad: Muy buena, buena y media, aplicando los parámetros geomecánicos: RQD_{67} , RMR_{89} y GSI_{11} , con estimación R5 – 3 golpes con el martillo geológico, $\sigma_{ci} = 105.41$ MPa a 204.59 MPa, en función: Blocosidad, alteración, rugosidad, persistencia, espaciado, abertura, relleno y agua; complementados con el programa matemático RocData (Criterios: Hoek - Brown y Morh – Coulomb), como: *mi*: 11 a 12, caracterizada por el roca tipo caliza con matriz micrita sedimentaria de textura fina; *D*: 0.70 a 1.00 está fundamentada por el grado de disturbancia de la cara libre del tajo, obtenido boques de caliza para producción de fragmentación o cuarteado y mecanismos mecánicos de extracción de la cara libre del tajo; por consiguiente: MR (500 a 800), E_i (74,190 MPa a 153,443 MPa) están relacionados ambos valores para obtener E_i en función $\sigma_{ci} * MR$, teniendo en consideración roca tipo caliza y textura; *mb*: 1.130 a 2.636 es el valor reducido del *mi* tomando en consideración las características de la roca; *s*: 0.0020 a 0.0357, muestra que la caracterización geomecánica es diferente 1, siendo rocas fracturadas y alteradas por agentes que afectan a la roca matriz. Por consiguiente, *a*: 0.501 a 0.504, el

reporte muestra que es un basamento rocoso discontinuo anisotrópico delimitado por diaclasas obtenido valores diferentes $1/2$. Así mismo la c (4.594 MPa a 13.940 MPa) y ϕ (27.29° a 33.96°), muestran valores que corresponden a la calidad de roca con el RMR_{89} ; y Em : 14,110.47 MPa a 50,000.73 MPa, MUESTRA que so rocas que tienden a deformarse cuando están sometidas a campos tensionales. Finalmente, la obtención de información se debe a la utilización del método de equivalencia de áreas.

Tabla 4.3. Resultados de caracterización geomecánica del área de explotación de Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Estación | σ_{ci} (MPa) | Clasificaciones empíricas | | | | | |
|----------|------------------------|---------------------------|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| | | RQD (%) | Calidad | RMR | Calidad | GSI | Calidad |
| E-1 | 204.59 | 94.67 | Excelente | 85 | Muy buena | 80 | Buena |
| E-2 | 148.38 | 80.43 | Buena | 72 | Buena | 67 | Buena |
| E-3 | 105.41 | 62.68 | Media | 58 | Media | 53 | Regular |
| E-4 | 187.23 | 81.86 | Buena | 67 | Buena | 62 | Buena |

4.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y DISEÑO DEL TAJO IV

El diseño de explotación del basamento masivo de calcáreo plantea la extracción de roca a tajo abierto mediante sistema de bancos por: Geomorfología, geoestructuras y emplazamiento litológico, con orientación $Az_T = N65^\circ$ desde la cota: 2,931 msnm. hasta 2,973 msnm. proyectando los siguientes parámetros de diseño: Altura de banco = 7.00 m., quebradura = 1.19 m., ancho de berma = 3.40 m., ancho rampa = 6.80 m., ángulo de banco talud = 80° y ángulo final de banco = 51° , tomando en consideración el perfil de: Maquinaria, equipos y requerimiento CaO a la empresa Cal Plus E.I.R.L. Así mismo presenta reservas de 767,784.53 TM del sector 1 - Tajo IV, proyectan vida útil de 19.69 años, equivalente a 19 años 8 meses 8 días complementa con la utilización de perforación y voladura para la formación de la pila de escombros y así obtener el óxido de calcio (CaO).

4.4 CONSTATACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante la caracterización geomecánica del Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L., en función del cartografiado geológico-geomecánico del basamento rocoso de la Formación Cajamarca, se evaluó en función de las variables: Litología, geomorfológica, geoestructuras y precipitación, aportando que el banco del tajo de explotación será a tajo abierto mediante sistema de bancos, estimando la calidad de roca $\sigma_{ci} = 105.41 \text{ MPa}$ a 204.59 MPa , y parámetros geomecánicos: RQD_{67} , RMR_{89} y GSI_{11} ; teniendo influencia directa con la orientación $N60^\circ/21^\circ SE$ (AZ/Bz), de la estratificación del diseño del tajo IV, siendo favorable para optimizar el diseño de explotación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado litológico está constituido por la Formación Cajamarca de calizas: Micrita (Flok, 1962) y mudstone (Dunham, 1962), de color gris claro con espesor: 0.60 m. a 1.50 m., de capas: Horizontales a subhorizontales de orientación (Az/Bz): N52°/19°SE. Así mismo presenta Depósito Aluvial de espesor: 0.25 m. a 2.50 m. distribuida de heterogéneamente compuesta por material fino Limo-arcilloso, de coloración castaño.

Las geoestructuras presentan una falla dextral ubicada a distancia 1,200m. de las operaciones mineras con alineamiento SW-NE, ubicada al S de las instalaciones, agrupando plegamientos asimétricos: Sinclinales y anticlinales, de orientación SSW-NNE; y estructuras menores formando blocosidad: Tabular y cúbica, por las juntas D/DD: E = 33°/26°, D-1 = 69°/36°, D-2 = 52°/296°.

La caracterización geomecánica reporta rocas de calidad: Muy buena, buena y media, con parámetros geomecánicos: RQD₆₇, RMR₈₉ y GSI₁₁, como: EG-01 ($\sigma_{ci} = 204.59$ MPa, RDQ = 94.67% Excelente, RMR = 85 Muy buena, GSI = 80 Buena y $\phi = 33.96^\circ$), EG-02 ($\sigma_{ci} = 148.38$ MPa, RDQ = 80.43% Buena, RMR = 72 Buena, GSI = 67 Buena y $\phi = 32.84^\circ$), EG-03 ($\sigma_{ci} = 105.41$ MPa, RDQ = 62.68% Media, RMR = 58 Media, GSI = 53 Regular y $\phi = 27.29^\circ$) y EG-04 ($\sigma_{ci} = 187.23$ MPa, RDQ = 81.86% Buena, RMR = 67 Buena, GSI = 62 Buena y $\phi = 29.50^\circ$).

El diseño de explotación del basamento masivo de calcáreo será a tajo abierto mediante sistema de bancos con orientación $Az_T = N65^\circ$ desde la cota: 2,931 msnm. hasta 2,973 msnm. con parámetros de diseño: Altura de banco = 7.00 m., quebradura = 1.19 m., ancho de berma = 3.40 m., ancho rampa = 6.80 m., ángulo de banco talud = 80° y ángulo final de banco = 51°.

5.2 RECOMENDACIONES

A los investigadores futuros de las carreras de ingeniería de minas o carreras afines, deberá complementar los estudios con ensayos triaxiales, para obtener resultados de las constantes elásticas de la roca y así mejorar la inseguridad de los bancos.

La empresa debe implementar un programa de capacitación y concienciación sobre el uso correcto de EPP y la importancia de la seguridad en el lugar de trabajo y así mismo establecer los procedimientos claros para la delimitación de zonas de trabajo, incluyendo la señalización de áreas restringidas y la designación de responsables para garantizar el cumplimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berrocal, M. 2015. Estabilidad de Excavaciones Subterráneas. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Bieniawski, Z. 1976. Rock Mass Classifications. Trans. Instrn. Metall.
- Bieniawski, Z. 1989. Clasificación de masa rocosa ingenieril. New York- Universidad del Estado de Pensilvania: Edición: Jhon Wiley & Sons. Recuperado de:
<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=pejDUvjwPdMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=engineering+rock+mass+classifications+bieniawski+1989+pdf&ots=4TmcQz1YTt&sig=3z82jx-PjZrtBSmTu8WRiprA5Q#v=onepage&q&f=false>
- Bye, A., y Bell, F. 2011. Evaluación de estabilidad y diseño de taludes en la mina a cielo abierto Sandsloot, Sudáfrica. International journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 38 (2001) págs. 449-466. Recuperado de:
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2868/1/Cordova-Estudio_de_estabilidad_de_taludes.pdf.
- Dávila, J. 2011. Diccionario geológico. INGEMMET. Lima – Perú. Arth Grouting S.A.C.
- Deere, D. 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mech. And Rock Engrg., 1, págs. 107-116.
- 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 Bambamarca Perú, 2022. Consultado 24 jun.2022. Recuperado de:
<https://es.weatherspark.com/y/19982/Clima-promedio-en-Bambamarca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Dunham, R. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional textura*. En: Ham, W. E. (ed.) *Classification of carbonate rocks*. A

- Symposium. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108–121
- Ergueta, M. 2014. Análisis de estabilidad de taludes en roca caso práctico: Talud izquierdo del vertedor de la C.H. La Yesca. (Tesis posgrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de estudios superiores Acatlán.
- Fernández, V. 2021. Factibilidad de un plan de minado en la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, distrito de Baños del Inca (Tesis de pregrado). Universidad Continental. Recuperado de:
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10413#:~:text=Se%20concluye%20que%20es%20factible,importancia%20para%20la%20industria%20minera%2C>
- Folk, R. (1962). *Spectral subdivision of limestone types*. En: Ham, W. E. (ed.) Classification of carbonate rocks. A Symposium. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 62-84.
- Gavilanes, H., y Andrade, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito – Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- García, J. 2018. Minería a cielo abierto.
- Gómez, A. 2013. Seguridad en la explotación de minas a cielo abierto.
- González De Vallejo, L. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid - España: Prentice Hall.
- 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, H. 2006. Métodos de minería a cielo abierto. Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas.
- IIMP. 2019. Guía de minería a cielo abierto. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú
- Jaimes, F., Navarro, J.; y Santos, A. 2013. Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 14-f cuadrante-I. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Recuperado de:
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

- Jaiswal, A., VermaA., y Singh, T. 2023. Evaluación de la estabilidad de taludes mediante clasificación del macizo rocoso y análisis cinemático de algunos de los principales taludes a lo largo de NH-1A desde Ramban hasta Banihal, Himalaya noroccidenta. *International journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 16 (2024) págs. 167-182.
- Lisle, R., y Lesión, P. 2002. *Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingenieros civiles*, 2da. edición.
- López, C. 2024. Comportamiento geomecánico del tajo de explotación de la empresa Calera MV S.R.L. provincia Hualgayoc, departamento de Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- López, E. 2016. Estudio geotécnico y diseño de talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado de:
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_8ca5a13d64868a64dd9fcaed763e5b88
- López, J 2015. *Canteras y explotaciones mineras*. Editorial Reverte.
- Lozano, M., Ochoa, H., y Camacho, U. 2012. Estudio geomecánico para el diseño minero a cielo abierto del yacimiento de carbón en Rondón Boyacá. *L'esprit Ingenieur*. Tunja-Colombia V3 pp.49-60, enero-diciembre 2012.
- Niemeyer, R. 1999. *Apuntes de geología estructural primera parte: estructuras frágiles*. Antofagasta – Chile. Recuperado de:
https://www.ucursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/geologia_estructural_-_hans_niemeyer.pdf
- Nichols, E. 1976. *Surface Mining*. SME – AIME, Nueva York
- Osinermin. 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.
- Paredes, G. 2019. Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera el arbolito – Juliaca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11799>
- Pérez, J. 2018. *Minería de carbón: técnicas y tecnología*.

- Ramírez, O., y Alejano, M. 2013. Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes. Universidad Politécnica de Madrid y en la de Vigo, en el Master Internacional. Recuperado de:
http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Ramírez, O., De La Cuadra, I., Laín, H., y Grijalbo, O. 2008. Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea. Instituto geológico y minero de España.
- Read, J., y Stacey, P. 2009. Guidelines for: Open pit slope design. Austria: CSIRO PUBLISHING – CRC.
- Revollar, O. 2021. Diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de Sociedad Mineta de Responsabilidad Limitada Yale II (Tesis de pregrado) Universidad Continental.
- Ritchie, A. 1963. Evaluation of Rockfall and Its Control. Highway Research Record, N°. 17, pp. 13-28
- Rivera, H. 2005. Geología general. Lima – Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rodríguez, J. 2019. Estudio geotécnico para tajo, proyecto Corocchohuayco - Cuzco – Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Universidad del Perú, Decana de América. Recuperado de:
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10418>
- Rodríguez, J. 2007. Caracterización de macizos rocosos. Facultad de geología (Petrología y geoquímica). Universidad de Oviedo.
- Strabler, A., y Strabler, A. 1994. Geografía física. Barcelona – España: Ediciones Omega S.A.
- Senamhi. 2023. Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación San Bambamarca. Recuperado de:
<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>
- 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.
- Turpo J. 2018. Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera – Moisés Randy 2010 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Moquegua.

- Vallejo, C. 2011. Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sostenimiento de labores Mineras subterráneas. XI Congreso Peruano de Geología. Lima – Perú.
- Wilson, J. 1984. Boletín N°31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Wyllie, D., y Mah, C. 2004. Ingeniería civil y minería de taludes rocosos. Ingeniería de taludes rocosos. Reino unido – Londres. Spon Press - Grupo Taylor & Francis.

ANEXOS

A. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

B. CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO

C. PLANOS

D. SECCIÓN DE MINADO DE TAJO

CARTA N° 00001-2024



SEÑOR: Rubén Quiliche Ortiz
EX. Alumno de la UNC – (Facultad de Ingeniería de Minas)
CAJAMARCA

ASUNTO: Respuesta a Solicitud de autorización para realizar Tesis.

REFERENCIA: SOLICITUD

Sr. Rubén Quiliche Ortiz, reciba un cordial saludo a nombre la empresa **CAL PLUS E.I.R.L** con **RUC 20496076011**, recibida su **SOLICITUD: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS EN EL TAJO IV**; se concede el permiso para realizar tesis en el tajo ya mencionado con el tema: **“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN – EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. – APAN BAJO – HUALGAYOC - CAJAMARCA”**, para optar el grado de Ingeniero de Minas.

Sin otro particular, me despido, aprovechando la oportunidad para reiterar a Usted las muestras de mi consideración y estima.

Bambamarca 01, de febrero del 2024.

Atentamente:

EMPRESA CALERA CALPLUS E.I.R.L.

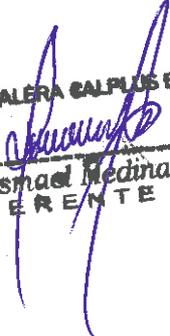

Nilson Esmel Medina Soto
GERENTE

Tabla 5.2. Registro geológico-geomecánico EG-02.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO | | | | EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | | | | | | | | | | | | BENIAWSKY RMR (1989) Superficie | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|------------|--------------|---|---------------|--------------|--|-----------------|----------------------|-----------|--------|-------------|--------|-------|--------------|------------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|------------------------|--------------|--------------|------------|
| UBICACIÓN | | | | Tajo IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CÓDIGO | E-2 | | | TRAMO | - | DE | - | A | - | | | - | | | | | | | | | | | | | | |
| RESPONSABLE | Rubén Quiliche Ortiz | | | HOJA N° | 2 | DE | - | - | | | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA | WGS | 84 | ZONA 17S | EJECUTADO POR Rubén Quiliche Ortiz | | | | | | | | | | | | FECHA | 24/07/2023 | | | | | | | | | |
| DIS. Nro | DATA GPS | | | MACIZO ROCOSO | | | PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ESTE (m.) | NORTE (m.) | COTA (msnm.) | LITOLÓGIA FORMAC. | METEORIZACIÓN | GRADO FRACT. | GSI | TIPOS | RESIST. COMP. UNIAJ. | RQD TRAMO | | ORIENTACIÓN | | | ESPACIADO(m) | PERSIST. (m) | ABERTURA (mm) | RUGOS. | RELLENO | | ALTERAC. METEOR. | AGUA | CALIDAD DE INFORMACIÓN | | | |
| | | | | | 1=Fresco | 1=Alto | 1=Bloq-Regul. | E=Estratificada | σ_{ci} | ND | 13 | DIRECCIÓN | | | 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. | D=Diaclasa | | | | | | | L | 1.6 | 2= 2-0.6 | 2= 1-3 | 2= <0.1 | 2=Rugosa | 2=Qz | 2=Duro<5mm | 2=Lig. Alt. | 2=Lig. Húm. | 2=Lec. Apar. | |
| | | | | | 3=Mod | 3=Bajo | 3=Bloq-Capas | F=Fract-Intenso | Prom. Golpes | λ | 8.1250 | Z/R | | | 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. | | | |
| | | | | | 4=Alt. Met. | 4=Bajo | 4=Fract-Intenso | mf=Microfalla | | | | | | | 3 Golp | γ_p | DIP | | | 4= 0.2-0.06 | 4= 10-20 | 4= 1-5 | 4=Ondulad.-lisa | 4=Óxidos | 4=Suave<5mm | 4=Muy Alt. |
| | | | | | 5=Compl. | | Agregar MB,B,M,P,MP | C=Contacto | DD | | | 5= <0.06 | 5= >20 | 5= >5 | | | | | | 5=Suave | 5=Roca Tritur. | 5=Suave>5mm | 5=Descomp. | 5=Flujo | | |
| | | | | | | | | | | | | 6=Bx | | | 7=Panizo | | | 8=Veta | | | 9=Epsonita | | | 10=Aragonito | | |
| 1 | 770456.72 | 9255228.30 | 2938.00 | Ks-Ca | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 55 | 17 | 145 | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 73 | 12 | 163 | 3 | 3 | 4 | 5 | 1 | 5 | 2 | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 59 | 10 | 149 | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 68 | 12 | 158 | 4 | 3 | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 70 | 14 | 160 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 67 | 13 | 157 | 4 | 3 | 3 | 5 | 1 | 5 | 2 | | | | | |
| 8 | | | | | 2 | 2 | 3 | E | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 56 | 15 | 146 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | |
| 9 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 60 | 18 | 150 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 65 | 11 | 155 | 4 | 3 | 3 | 5 | 1 | 5 | 2 | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 57 | 20 | 147 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 63 | 22 | 153 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 61 | 13 | 151 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 53 | 24 | 143 | 3 | 3 | 3 | 5 | 1 | 5 | 2 | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 59 | 12 | 149 | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 | 5 | 1 | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 353 | 83 | 83 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 350 | 85 | 80 | 4 | 1 | 3 | 4 | - | 1 | 1 | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 325 | 71 | 55 | 4 | 1 | 3 | 4 | - | 1 | 2 | | | | | |
| 19 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con pátinas de óxidos de color amarillento en la superficie | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 336 | 68 | 66 | 4 | 1 | 4 | 3 | 10 | 2 | 1 | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 348 | 75 | 78 | 4 | 1 | 2 | 5 | - | 1 | 2 | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 329 | 80 | 59 | 4 | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 347 | 74 | 77 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 23 | | | | | 2 | 2 | 2 | Disc-1 | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 332 | 70 | 62 | 4 | 1 | 3 | 4 | 10 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 24 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 327 | 76 | 57 | 4 | 1 | 4 | 3 | 10 | 2 | 2 | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 330 | 81 | 60 | 4 | 1 | 4 | 3 | 10 | 2 | 1 | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 341 | 74 | 71 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 337 | 73 | 67 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 346 | 76 | 76 | 4 | 1 | 2 | 5 | 3 | 2 | 2 | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 341 | 79 | 71 | 4 | 1 | 2 | 5 | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 328 | 80 | 58 | 4 | 1 | 4 | 3 | 10 | 2 | 1 | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 26 | 80 | 116 | 4 | 1 | 1 | 4 | - | 1 | 1 | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 31 | 81 | 121 | 4 | 1 | 1 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 18 | 75 | 108 | 4 | 1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 32 | 83 | 122 | 4 | 1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 23 | 72 | 113 | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 36 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 18 | 79 | 108 | 3 | 1 | 1 | 4 | - | 1 | 1 | | | | | |
| 37 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 12 | 80 | 102 | 4 | 1 | 1 | 4 | - | 1 | 1 | | | | | |
| 38 | | | | | 2 | 2 | 2 | Disc-2 | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 33 | 69 | 123 | 4 | 1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 39 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 30 | 73 | 120 | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 22 | 64 | 112 | 3 | 1 | 1 | 5 | - | 1 | 1 | | | | | |
| 41 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 29 | 60 | 119 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 42 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 14 | 75 | 104 | 4 | 1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 43 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 20 | 79 | 110 | 3 | 1 | 1 | 4 | - | 1 | 1 | | | | | |
| 44 | | | | | | | | | R5 (148.38MPa) | 80.43 | | 25 | 80 | 115 | 4 | 1 | 1 | 4 | - | 1 | 1 | | | | | |
| | | | | | | | | Talud | | | | 30 | 78 | 120 | | | | | | | | | | | | |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

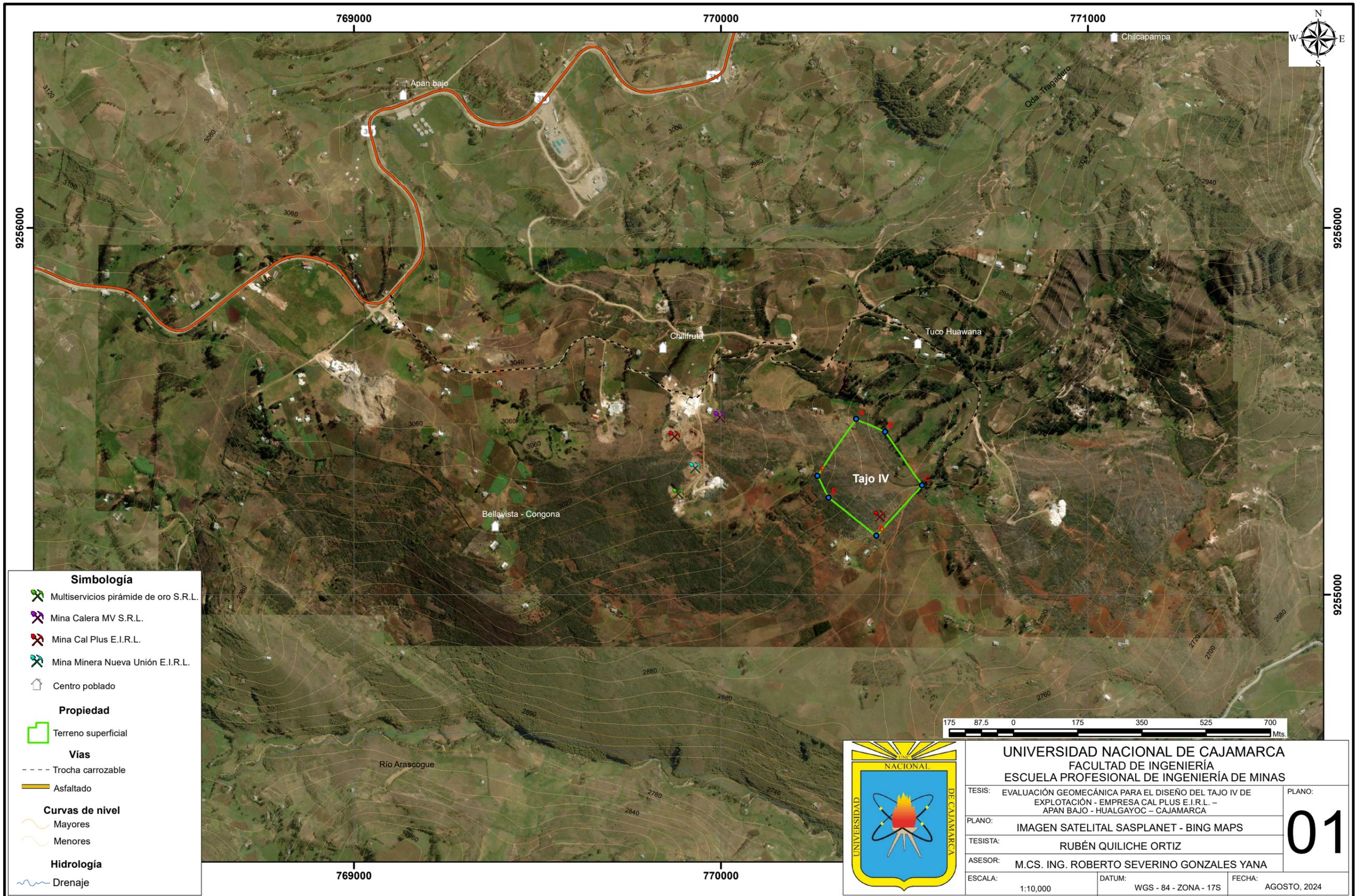
Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

Tabla 5.3. Registro geológico-geomecánico EG-03.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO | | | | TESIS | EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | | | | | | | | | | BENIAWSKY RMR (1989) Superficie | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---------------------|--------------|-------------------|---|--------------|-----|-----------------|----------------------|-----------|-----|-------------|-----|---|------------------------------------|--------------|---------------|----------------------|-------------|-----------|------------------|------------|------------------------|---|
| CÓDIGO | | | | UBICACIÓN | Tajo IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESPONSABLE | | | | TRAMO | - | DE | - | A | - | - | - | - | - | - | | | | | - | - | - | | | |
| SISTEMA | | | | HOJA N° | 3 | DE | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | | - | - | - | - | | |
| | | WGS | | 84 | | ZONA 17S | | EJECUTADO POR | | | | | | | | | | Rubén Quiliche Ortiz | | FECHA | | 24/07/2023 | | |
| 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 | σ_{ci} | ND | 26 | DIRECCIÓN | | | 1= >2 | 1= <1 | 1= Nada | 1=Muy Rug. | 1=Arcilloso | 1=Ninguna | 1=Inalterada | 1=Seco | 1=Lec. Real | |
| | | | | | | | | D=Diaclasa | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | Fn=F.Normal | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2=Lev. Met. | 2=Mediano | 2=Blq-Irreg. | Fi=F.Inversa | L | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3=Mod | 3=Bajo | 3=Blq-Capas | Fd=F.Directa | Prom. Golpes | λ | 13.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4=Alt. Met. | 4=Fract-Intens | mf=Microfalla | SE=Sobrees. | 3 Golp | γ _p | | Z/R | DIP | DD | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5=Compl. | | Agregar MB,B,M,P,MP | C=Contacto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 770478.15 | 9255262.96 | 2940.00 | Ks-Ca | 1 | 3 | 2 | E | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 71 | 17 | 161 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | | |
| 2 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 87 | 26 | 177 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | 2 | 2 |
| 3 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 83 | 24 | 173 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | | | | |
| 4 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 70 | 10 | 160 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | | | | |
| 5 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 80 | 15 | 170 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | | | | |
| 6 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 82 | 24 | 172 | 3 | 3 | 3 | 5 | 11 | 5 | 2 | | | | | |
| 7 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 75 | 13 | 165 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | |
| 8 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 79 | 21 | 169 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | | | | |
| 9 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 81 | 15 | 171 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1 | | | | | |
| 10 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 74 | 12 | 164 | 3 | 3 | 3 | 5 | 11 | 5 | 2 | | | | | |
| 11 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 85 | 23 | 175 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | | | | | |
| 12 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 76 | 18 | 166 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1 | | | | | |
| 13 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 77 | 20 | 167 | 2 | 3 | 3 | 4 | 11 | 5 | 2 | | | | | |
| 14 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 84 | 25 | 174 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1 | | | | | |
| 15 | | | | R5 (105.41MPa) | | | | | 62.68 | 125 | 85 | 215 | 3 | 1 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | |
| 16 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 160 | 79 | 250 | 4 | 2 | 5 | 4 | 11 | 5 | 1 | | | | | | | | | |
| 17 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 155 | 65 | 245 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 18 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 135 | 72 | 225 | 3 | 1 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 19 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 146 | 82 | 236 | 4 | 2 | 4 | 4 | 11 | 5 | 1 | | | | | | | | | |
| 20 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 125 | 70 | 215 | 3 | 1 | 5 | 4 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 21 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 169 | 73 | 259 | 3 | 2 | 5 | 4 | 11 | 5 | 2 | | | | | | | | | |
| 22 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 157 | 69 | 247 | 4 | 2 | 4 | 4 | 11 | 5 | 2 | | | | | | | | | |
| 23 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 146 | 81 | 236 | 4 | 1 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 24 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 148 | 78 | 238 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 25 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 145 | 81 | 235 | 4 | 2 | 5 | 4 | 11 | 5 | 1 | | | | | | | | | |
| 26 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 168 | 64 | 258 | 3 | 1 | 4 | 4 | 11 | 5 | 2 | | | | | | | | | |
| 27 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 153 | 60 | 243 | 4 | 1 | 4 | 4 | 11 | 5 | 1 | | | | | | | | | |
| 28 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 45 | 87 | 135 | 3 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 29 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 38 | 73 | 128 | 3 | 1 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 30 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 51 | 67 | 141 | 3 | 1 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 31 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 30 | 82 | 120 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 32 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 39 | 74 | 129 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 33 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 45 | 64 | 135 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 34 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 40 | 79 | 130 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 35 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 36 | 70 | 126 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 36 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 54 | 62 | 144 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 37 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 42 | 78 | 132 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 38 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 44 | 63 | 134 | 3 | 2 | 4 | 5 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 39 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 39 | 75 | 129 | 3 | 1 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 40 | | | | R5 (105.41MPa) | 62.68 | 47 | 72 | 137 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | | Talud | | | | | 57 | 53 | 147 | | | | | | | | | | | | | |

Diseño Original: M.Sc. Víctor 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.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.
- Centro poblado

Propiedad

- Terreno superficial

Vías

- Trocha carrozable
- Asfaltado

Curvas de nivel

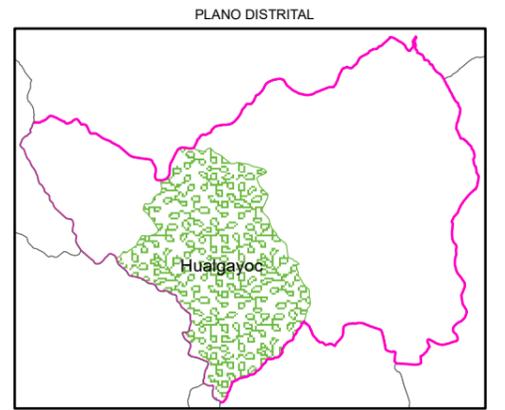
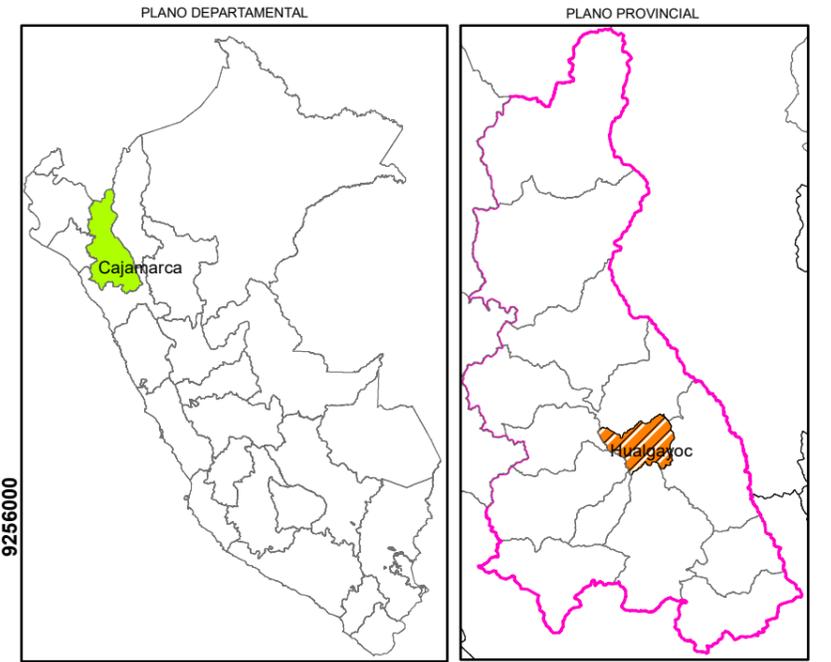
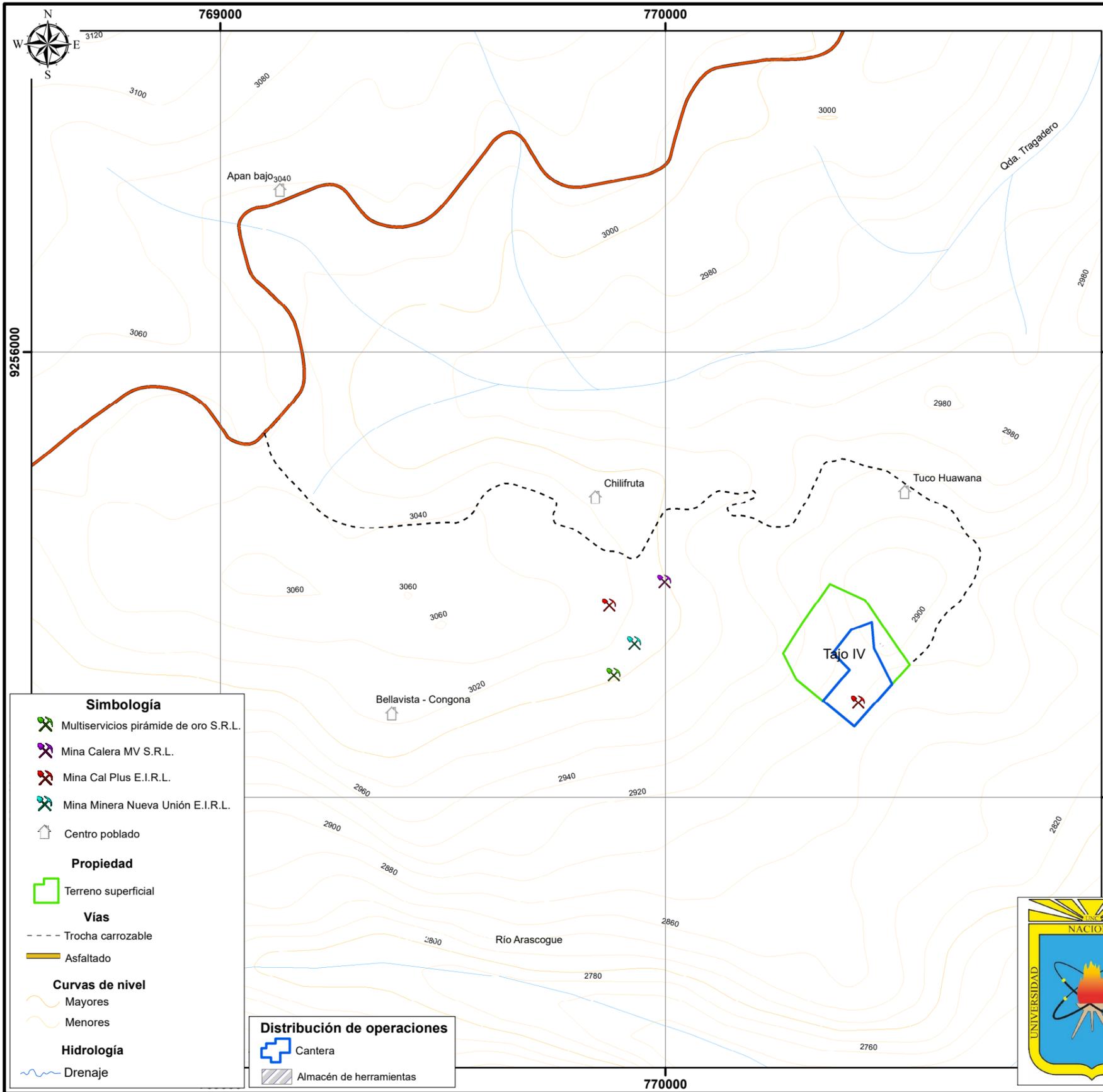
- Mayores
- Menores

Hidrología

- Drenaje



| | | |
|---|------------------------------|---------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESISTA: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | | PLANO: |
| PLANO: IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS | | 01 |
| TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:10,000 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: AGOSTO, 2024 |



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

- Distribución de operaciones**
- Cantera
 - Almacén de herramientas



| | | |
|---|------------------------------|---------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | | PLANO: |
| PLANO: MDT - MDE - UBICACIÓN | | 02 |
| TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:10,000 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: AGOSTO, 2024 |

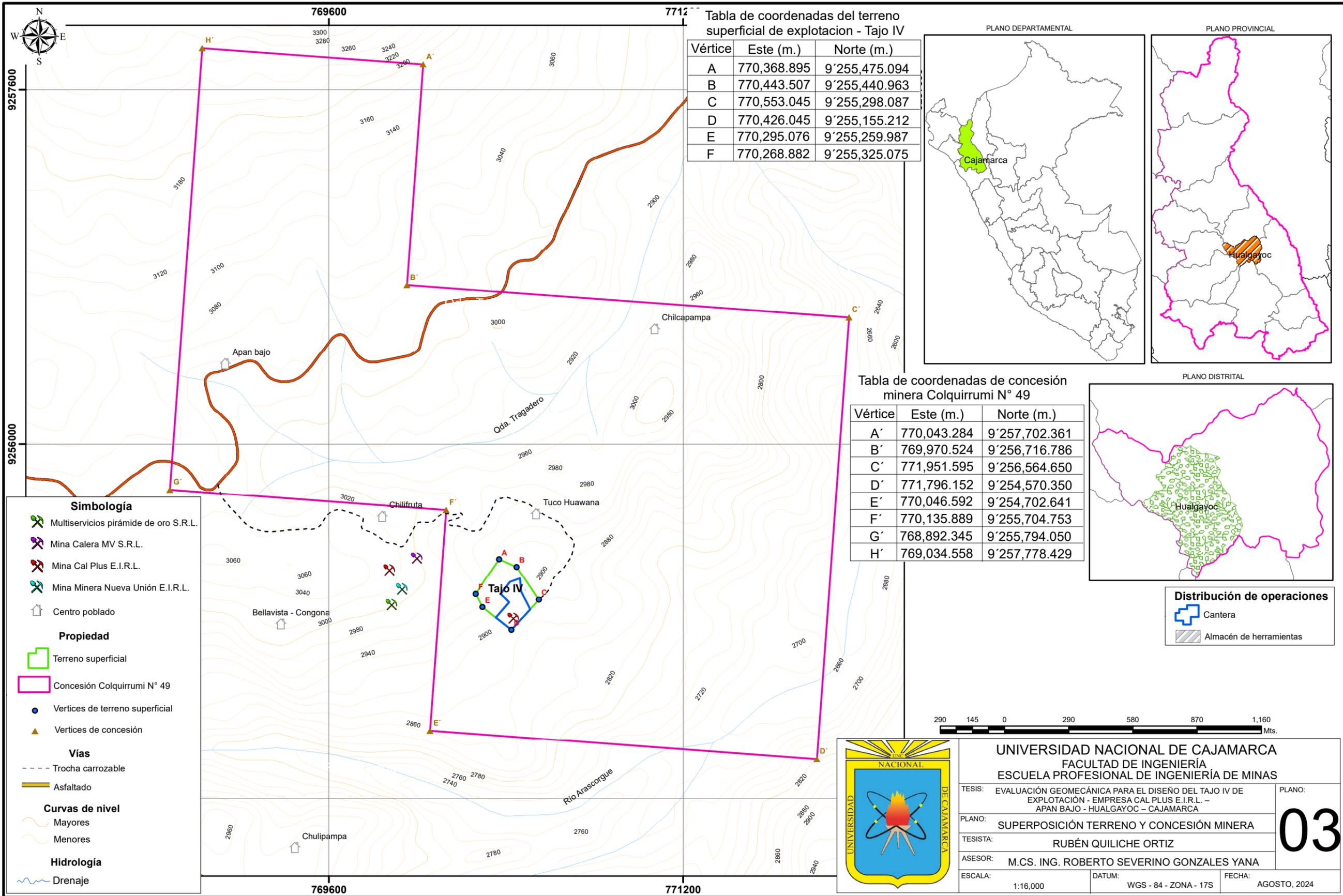


Tabla de coordenadas del terreno superficial de explotación - Tajo IV

| Vértice | Este (m.) | Norte (m.) |
|---------|-------------|---------------|
| A | 770,368.895 | 9'255,475.094 |
| B | 770,443.507 | 9'255,440.963 |
| C | 770,553.045 | 9'255,298.087 |
| D | 770,426.045 | 9'255,155.212 |
| E | 770,295.076 | 9'255,259.987 |
| F | 770,268.882 | 9'255,325.075 |

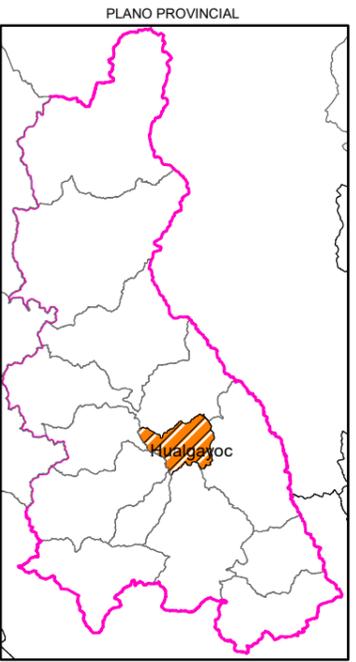
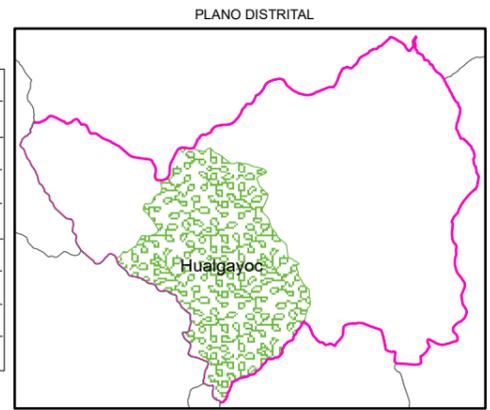


Tabla de coordenadas de concesión minera Colquirrumi N° 49

| Vértice | Este (m.) | Norte (m.) |
|---------|-------------|---------------|
| A' | 770,043.284 | 9'257,702.361 |
| B' | 769,970.524 | 9'256,716.786 |
| C' | 771,951.595 | 9'256,564.650 |
| D' | 771,796.152 | 9'254,570.350 |
| E' | 770,046.592 | 9'254,702.641 |
| F' | 770,135.889 | 9'255,704.753 |
| G' | 768,892.345 | 9'255,794.050 |
| H' | 769,034.558 | 9'257,778.429 |



- Simbología**
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 - Mina Calera MV S.R.L.
 - Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.
 - Centro poblado
- Propiedad**
- Terreno superficial
 - Concesión Colquirrumi N° 49
 - Vertices de terreno superficial
 - Vertices de concesión
- Vías**
- Trocha carrozable
 - Asfaltado
- Curvas de nivel**
- Mayores
 - Menores
- Hidrología**
- Drenaje

- Distribución de operaciones**
- Cantera
 - Almacén de herramientas



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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA

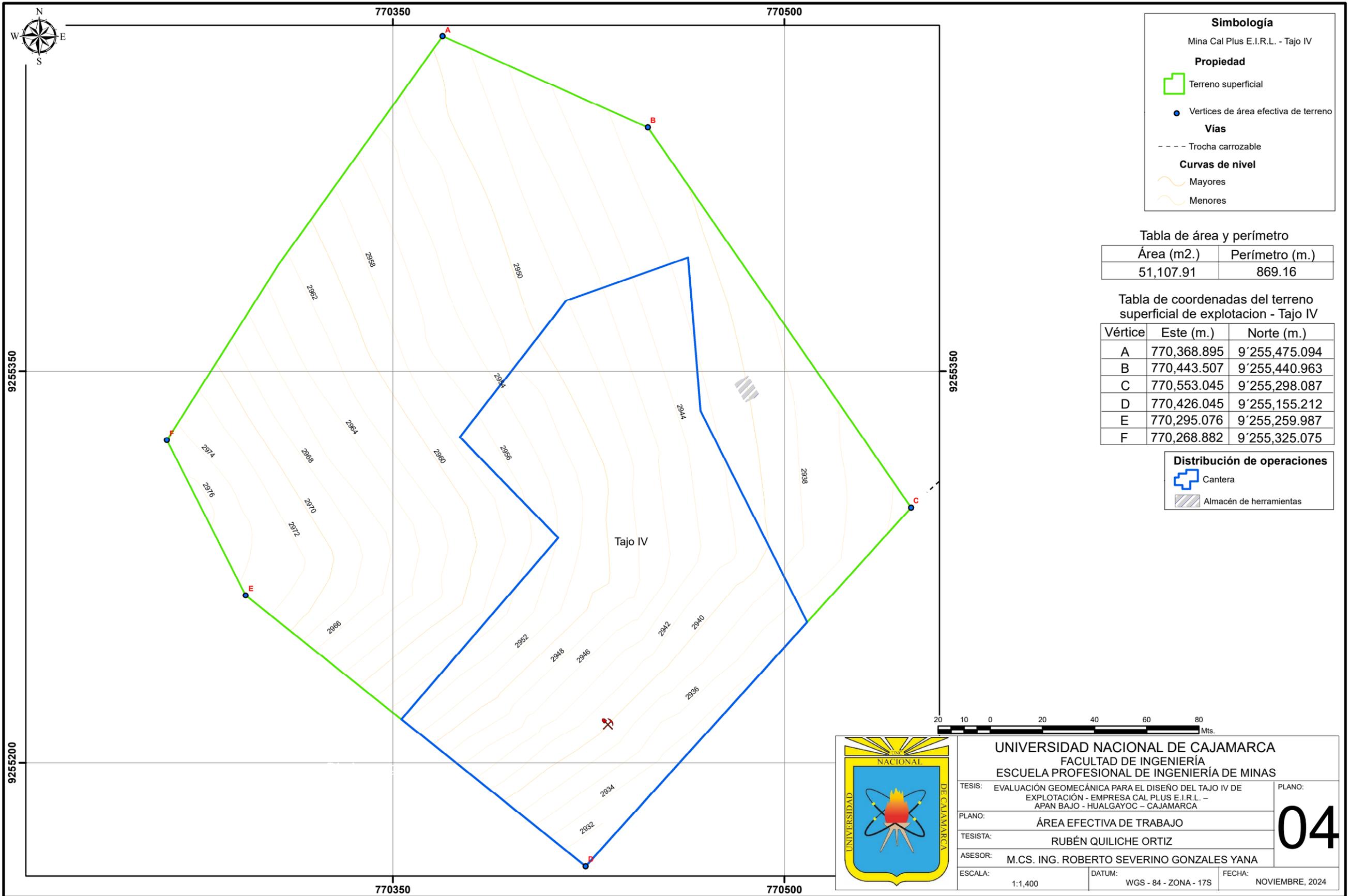
PLANO: SUPERPOSICIÓN TERRENO Y CONCESIÓN MINERA

TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ

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

ESCALA: 1:16,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: AGOSTO, 2024

03



Simbología

Mina Cal Plus E.I.R.L. - Tajo IV

Propiedad

- Terreno superficial
- Vertices de área efectiva de terreno

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Tabla de área y perímetro

| Área (m2.) | Perímetro (m.) |
|------------|----------------|
| 51,107.91 | 869.16 |

Tabla de coordenadas del terreno superficial de explotación - Tajo IV

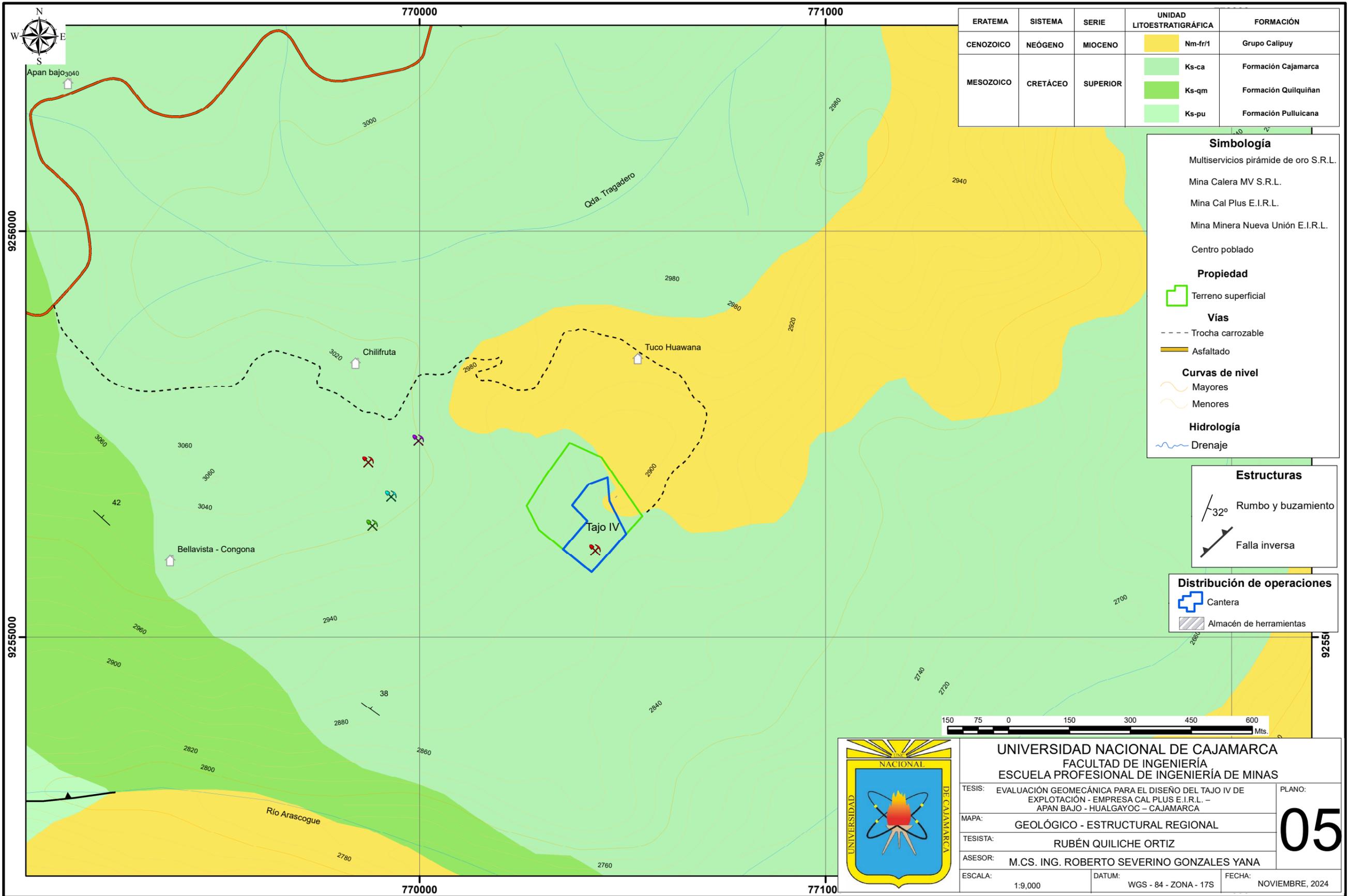
| Vértice | Este (m.) | Norte (m.) |
|---------|-------------|---------------|
| A | 770,368.895 | 9'255,475.094 |
| B | 770,443.507 | 9'255,440.963 |
| C | 770,553.045 | 9'255,298.087 |
| D | 770,426.045 | 9'255,155.212 |
| E | 770,295.076 | 9'255,259.987 |
| F | 770,268.882 | 9'255,325.075 |

Distribución de operaciones

- Cantera
- Almacén de herramientas



| | |
|---|------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | |
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | PLANO: |
| PLANO: ÁREA EFECTIVA DE TRABAJO | 04 |
| TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | |
| ESCALA: 1:1,400 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S |
| | FECHA: NOVIEMBRE, 2024 |



| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | FORMACIÓN |
|-----------|----------|----------|---------------------------|----------------------|
| CENOZOICO | NEÓGENO | MIOCENO | Nm-fr/1 | Grupo Calipuy |
| MESOZOICO | CRETÁCEO | SUPERIOR | Ks-ca | Formación Cajamarca |
| | | | Ks-qm | Formación Quilquiñan |
| | | | Ks-pu | Formación Pullucana |

Simbología

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

Propiedad

- Terreno superficial

Vías

- Trocha carrozable
- Asfaltado

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Hidrología

- Drenaje

Estructuras

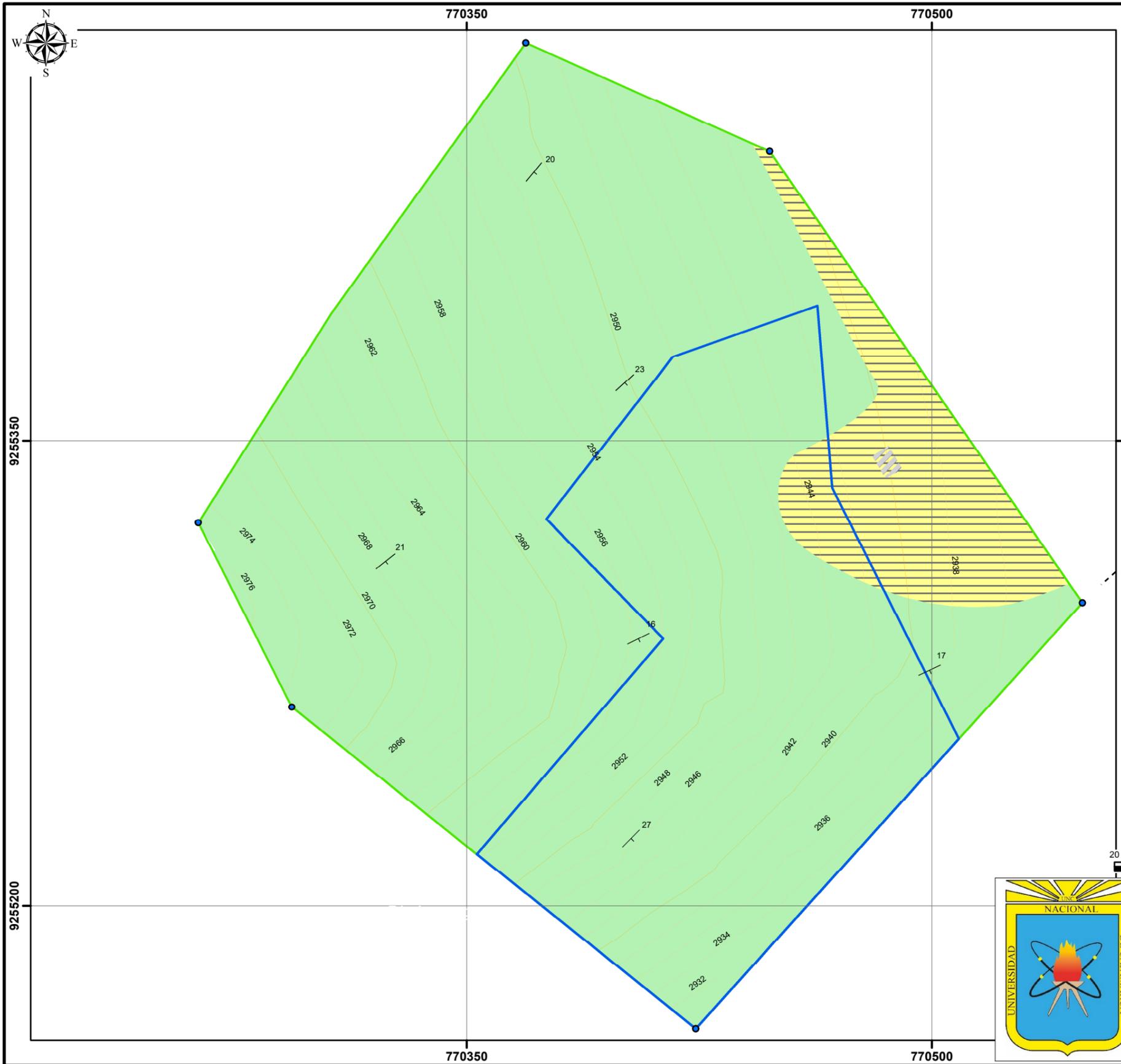
- Rumbo y buzamiento (32°)
- Falla inversa

Distribución de operaciones

- Cantera
- Almacén de herramientas



| | | |
|---|------------------------------|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | PLANO: | |
| MAPA: GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL | 05 | |
| TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:9,000 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | |
| | FECHA: NOVIEMBRE, 2024 | |



Simbología

Mina Cal Plus E.I.R.L. - Tajo IV

Propiedad

- Terreno superficial
- Vertices de área efectiva de terreno

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

LEYENDA

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA | FORMACIÓN |
|-----------|-------------|----------|--------------------------|-------------------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Q-de | DEPÓSITO DELUVIAL |
| MESOZOICO | CRETÁCEO | SUPERIOR | Ks-ca | FM. CAJAMARCA |

Estructuras

- 32° Rumbo y buzamiento

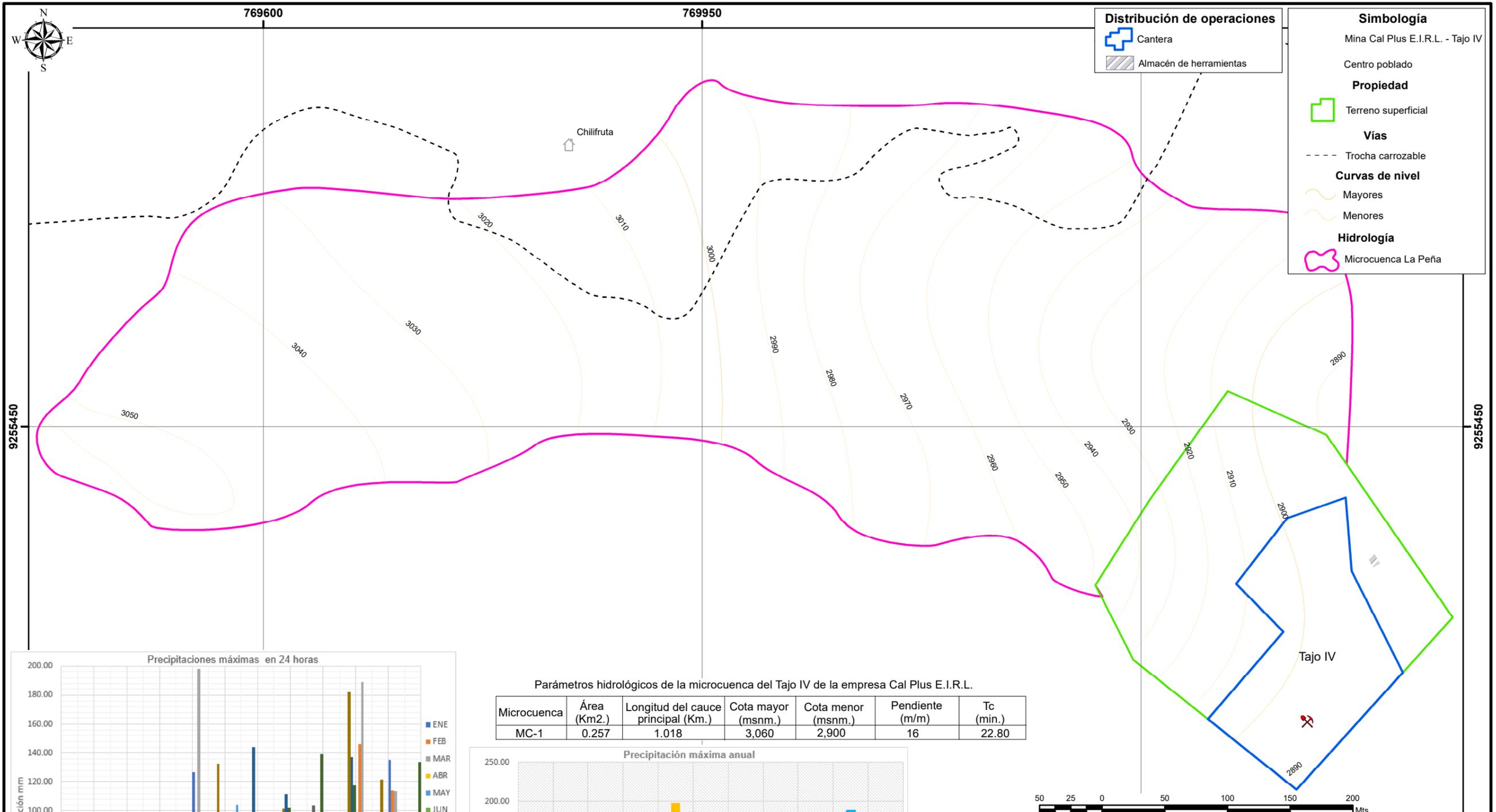
Distribución de operaciones

- Cantera
- Almacén de herramientas



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

| | |
|---|-------------------------------|
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | PLANO: 06 |
| PLANO: GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL | |
| TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | |
| ESCALA: 1:1,400 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S |
| | FECHA: NOVIEMBRE, 2024 |



Distribución de operaciones

- Cantera
- Almacén de herramientas

Simbología

Mina Cal Plus E.I.R.L. - Tajo IV

Centro poblado

Propiedad

- Terreno superficial

Vías

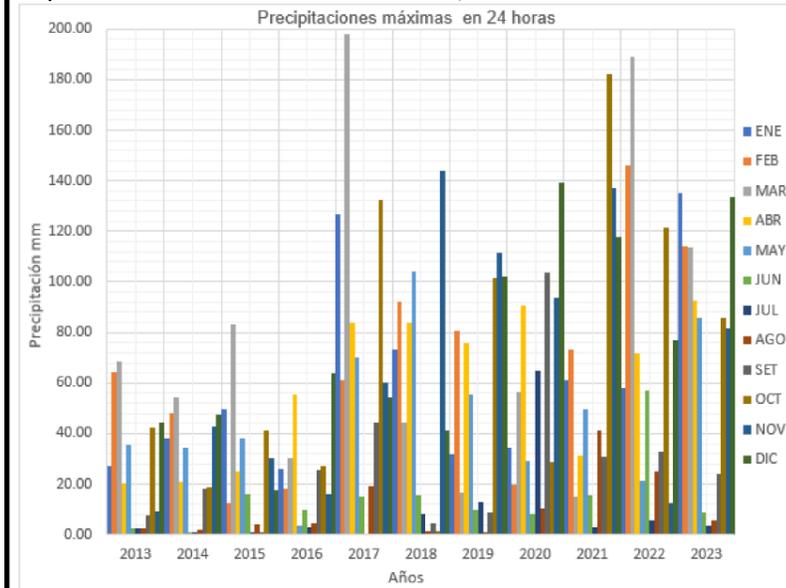
- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

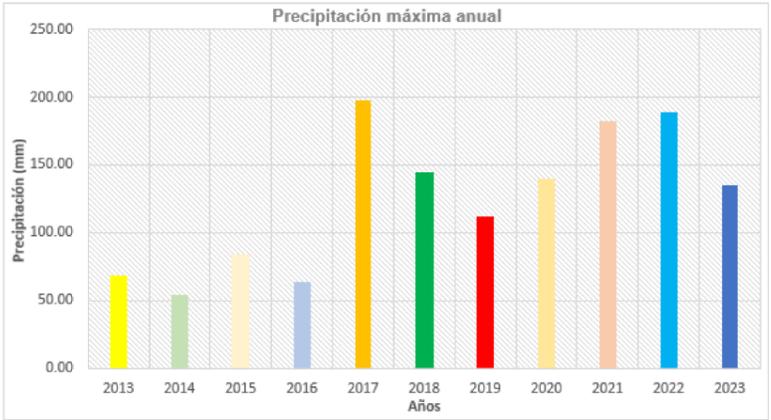
Hidrología

- Microcuenca La Peña



Parámetros hidrológicos de la microcuenca del Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Microcuenca | Área (Km ² .) | Longitud del cauce principal (Km.) | Cota mayor (msnm.) | Cota menor (msnm.) | Pendiente (m/m) | Tc (min.) |
|-------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------|
| MC-1 | 0.257 | 1.018 | 3,060 | 2,900 | 16 | 22.80 |



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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA

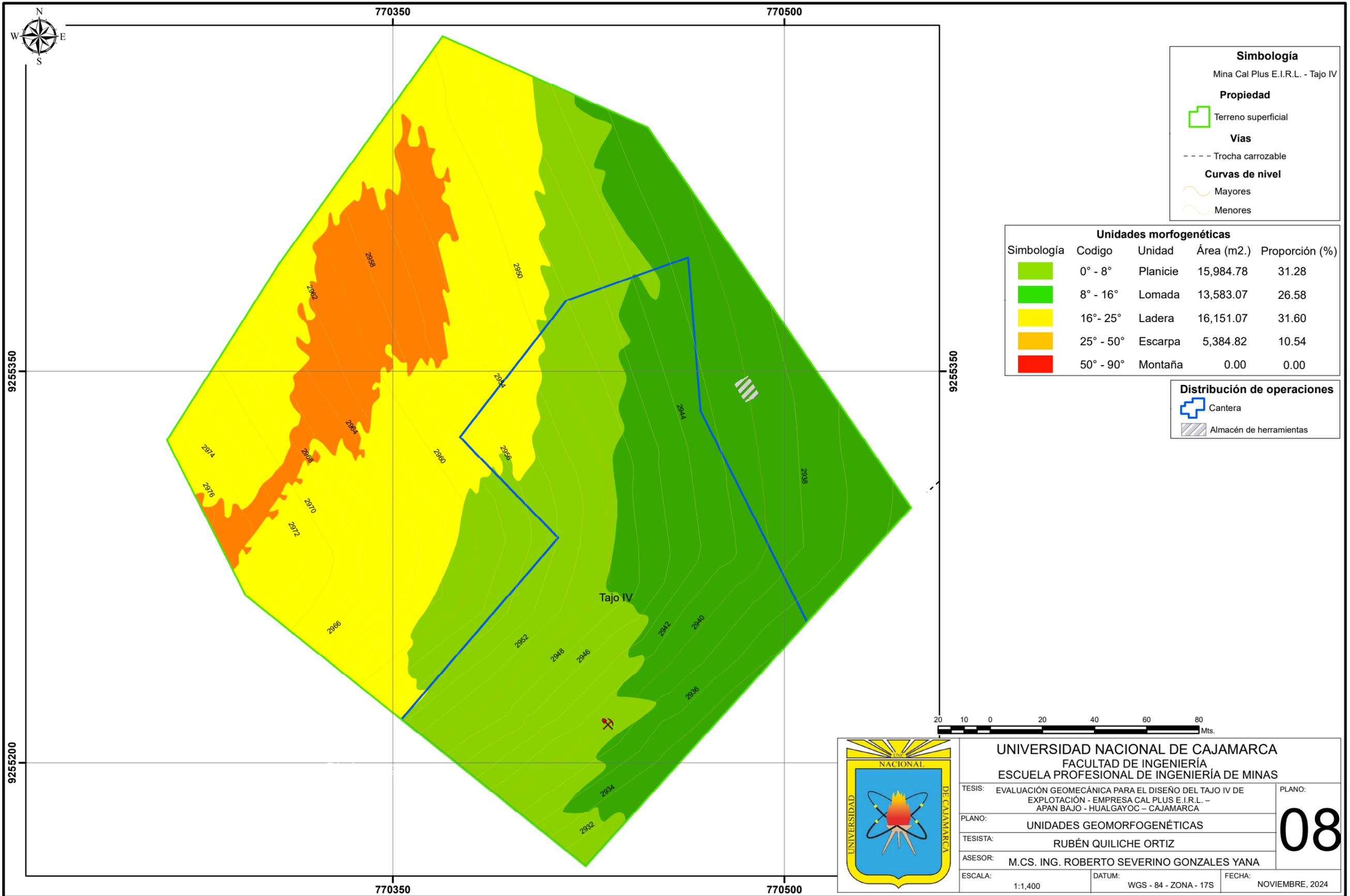
PLANO: CUENCA HIDROLÓGICA

TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ

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

ESCALA: 1:3,230 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: NOVIEMBRE, 2024

07



Simbología
Mina Cal Plus E.I.R.L. - Tajo IV

Propiedad
 Terreno superficial

Vías
 Trocha carrozable

Curvas de nivel
 Mayores
 Menores

Unidades morfogenéticas

| Simbología | Codigo | Unidad | Área (m2.) | Proporción (%) |
|------------|-----------|----------|------------|----------------|
| | 0° - 8° | Planicie | 15,984.78 | 31.28 |
| | 8° - 16° | Lomada | 13,583.07 | 26.58 |
| | 16° - 25° | Ladera | 16,151.07 | 31.60 |
| | 25° - 50° | Escarpa | 5,384.82 | 10.54 |
| | 50° - 90° | Montaña | 0.00 | 0.00 |

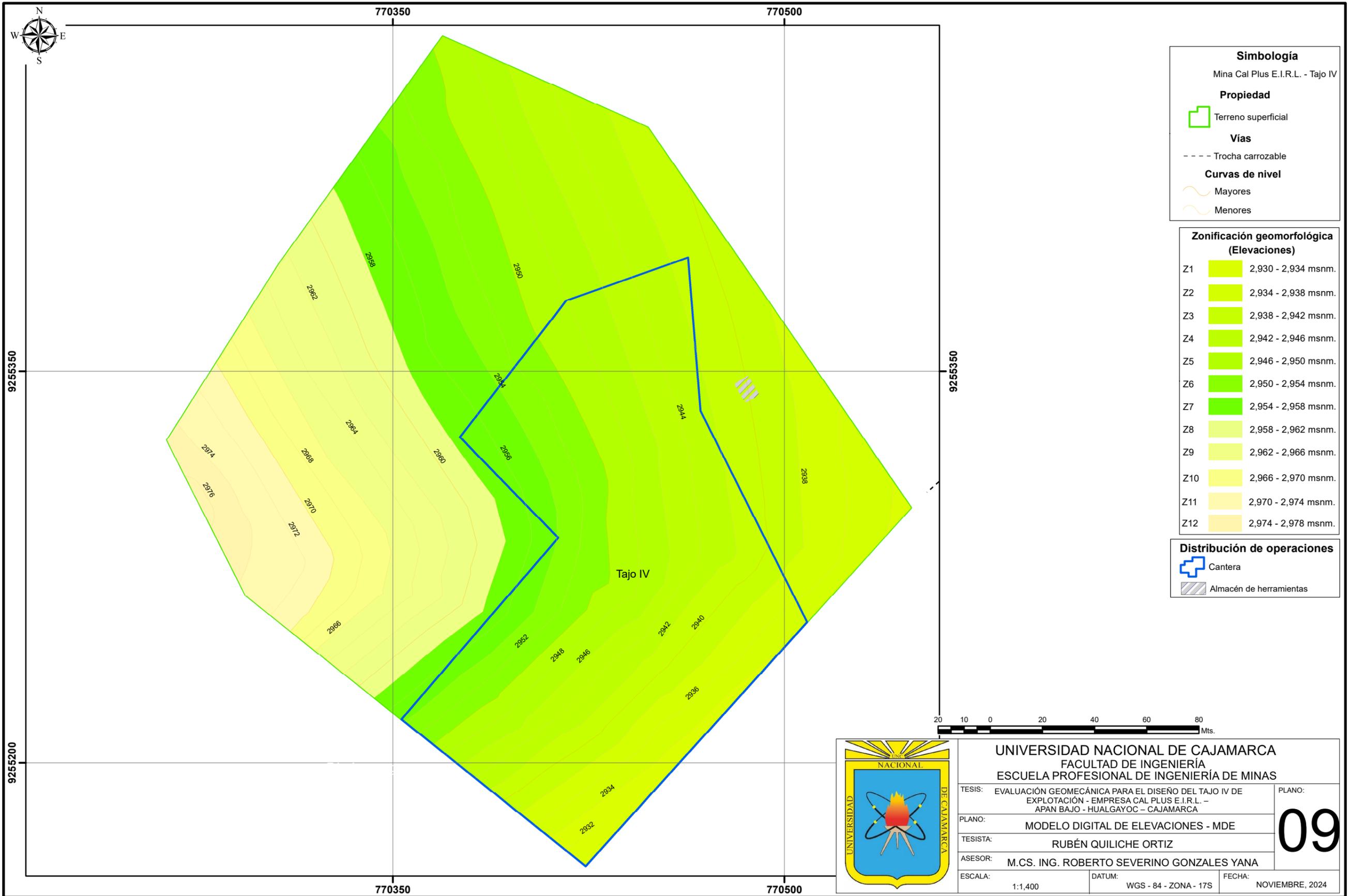
Distribución de operaciones

Cantera

Almacén de herramientas



| | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | PLANO: | 08 |
| PLANO: UNIDADES GEOMORFOGENÉTICAS | TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | ESCALA: 1:1,400 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S |
| | | FECHA: NOVIEMBRE, 2024 |



Simbología
Mina Cal Plus E.I.R.L. - Tajo IV

Propiedad
 Terreno superficial

Vías
 Trocha carrozable

Curvas de nivel
 Mayores
 Menores

Zonificación geomorfológica (Elevaciones)

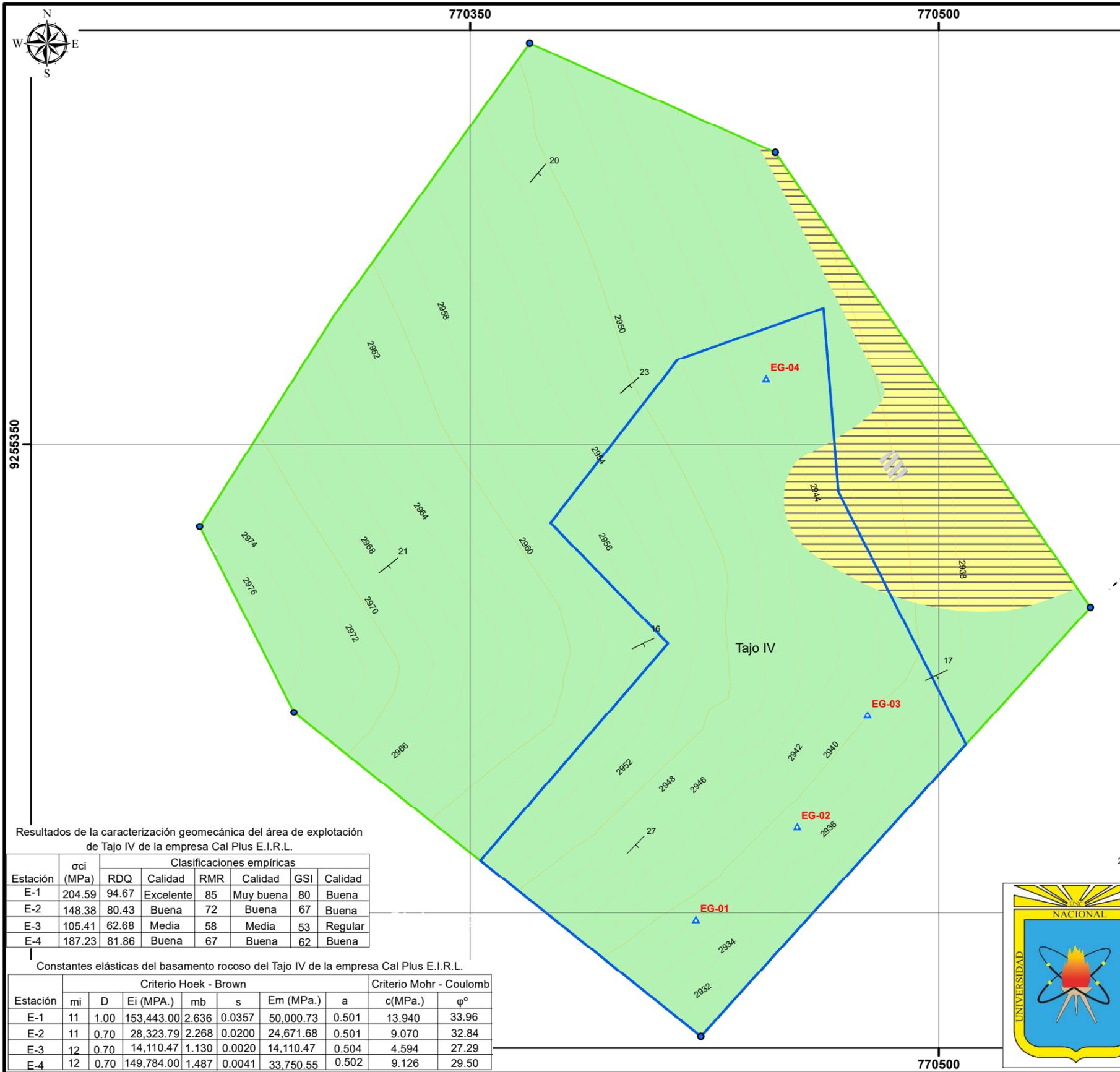
| | |
|-----|---------------------|
| Z1 | 2,930 - 2,934 msnm. |
| Z2 | 2,934 - 2,938 msnm. |
| Z3 | 2,938 - 2,942 msnm. |
| Z4 | 2,942 - 2,946 msnm. |
| Z5 | 2,946 - 2,950 msnm. |
| Z6 | 2,950 - 2,954 msnm. |
| Z7 | 2,954 - 2,958 msnm. |
| Z8 | 2,958 - 2,962 msnm. |
| Z9 | 2,962 - 2,966 msnm. |
| Z10 | 2,966 - 2,970 msnm. |
| Z11 | 2,970 - 2,974 msnm. |
| Z12 | 2,974 - 2,978 msnm. |

Distribución de operaciones

Cantera
 Almacén de herramientas



| | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | PLANO: | 09 |
| PLANO: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES - MDE | TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | ESCALA: 1:1,400 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S |
| | | FECHA: NOVIEMBRE, 2024 |



Distribución de operaciones

- Cantera
- Almacén de herramientas

Simbología

- Estación geomecánica
- Mina Cal Plus E.I.R.L. - Tajo IV
- Propiedad**
- Terreno superficial
- Vertices de área efectiva de terreno
- Vías**
- Trocha carrozable
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores

LEYENDA

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | FORMACIÓN |
|-----------|-------------|----------|---------------------------|-------------------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Q-de | DEPÓSITO DELUVIAL |
| MESOZOICO | CRETÁCEO | SUPERIOR | Ks-ca | FM. CAJAMARCA |

Estructuras

32° Rumbo y buzamiento

Porcentaje de análisis cinemático por diagrama: Pi y beta, por software Dips - Tajo IV de explotación de roca de la empresa Cal plus E.I.R.L.

| Estación | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Número de juntas | | Inestabilidad de junta |
|----------|------------------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
| | | | Criticas | Total | |
| E-1 | Planar | 33.33 | 15 | 45 | D-1/D-2 |
| | Cuña | 29.43 | 296 | 989 | D-1/D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Base direccional | 28.89 | 13 | 45 | D-1 |
| E-2 | Planar | 20.00 | 9 | 45 | D-1/D-2 |
| | Cuña | 28.59 | 283 | 990 | D-1/D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Base direccional | 51.11 | 23 | 45 | D-2 |
| E-3 | Planar | 2.22 | 1 | 45 | E |
| | Cuña | 4.34 | 43 | 990 | D-1/D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Base direccional | 37.78 | 17 | 45 | E |
| E-4 | Planar | 15.56 | 7 | 45 | E |
| | Cuña | 12.63 | 125 | 990 | D-1/E |
| | Vuelco | 6.67 | 3 | 45 | D-2 |
| | Base direccional | 28.89 | 13 | 45 | E |

Resultados de la caracterización geomecánica del área de explotación de Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Estación | σci (MPa) | Clasificaciones empíricas | | | | | |
|----------|-----------|---------------------------|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| | | RDQ | Calidad | RMR | Calidad | GSI | Calidad |
| E-1 | 204.59 | 94.67 | Excelente | 85 | Muy buena | 80 | Buena |
| E-2 | 148.38 | 80.43 | Buena | 72 | Buena | 67 | Buena |
| E-3 | 105.41 | 62.68 | Media | 58 | Media | 53 | Regular |
| E-4 | 187.23 | 81.86 | Buena | 67 | Buena | 62 | Buena |

Constantes elásticas del basamento rocoso del Tajo IV de la empresa Cal Plus E.I.R.L.

| Estación | Criterio Hoek - Brown | | | | | | Criterio Mohr - Coulomb | | |
|----------|-----------------------|------|------------|-------|--------|-----------|-------------------------|---------|-------|
| | mi | D | Ei (MPa.) | mb | s | Em (MPa.) | a | c(MPa.) | φ° |
| E-1 | 11 | 1.00 | 153,443.00 | 2.636 | 0.0357 | 50,000.73 | 0.501 | 13.940 | 33.96 |
| E-2 | 11 | 0.70 | 28,323.79 | 2.268 | 0.0200 | 24,671.68 | 0.501 | 9.070 | 32.84 |
| E-3 | 12 | 0.70 | 14,110.47 | 1.130 | 0.0020 | 14,110.47 | 0.504 | 4.594 | 27.29 |
| E-4 | 12 | 0.70 | 149,784.00 | 1.487 | 0.0041 | 33,750.55 | 0.502 | 9.126 | 29.50 |



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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA

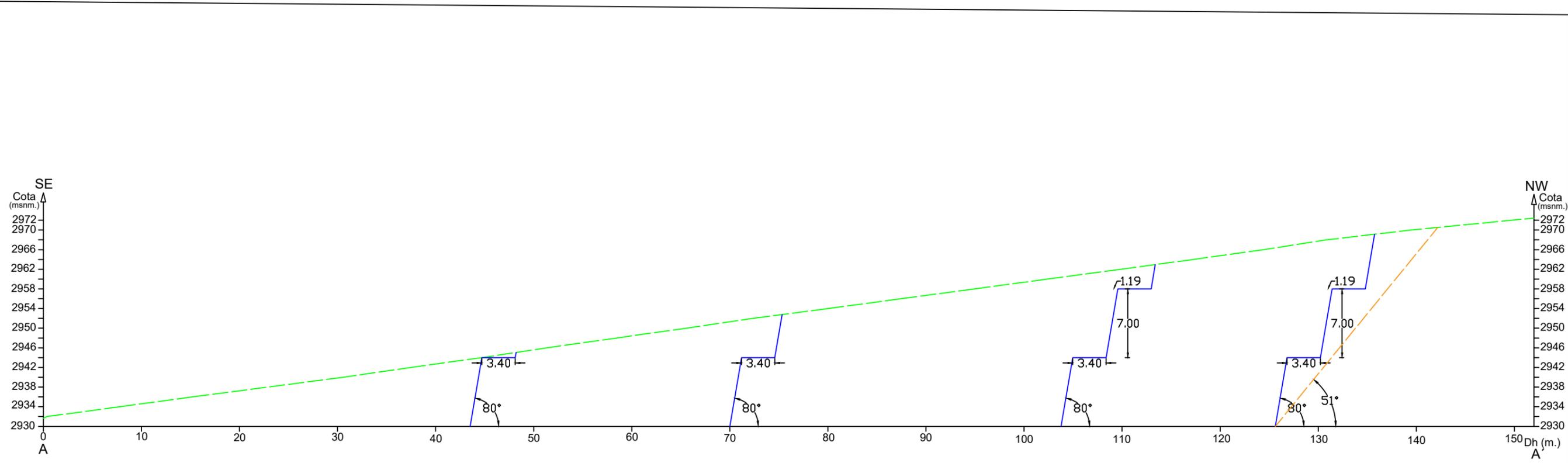
PLANO: **10**

PLANO: GEOMECÁNICO

TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ

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

ESCALA: 1:1,400 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: NOVIEMBRE, 2024



-  Sección de corte SE - NW
-  Topografía original
-  Sección proyectada del tajo



| | | |
|---|---------------------------------|-------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL TAJO IV DE EXPLOTACIÓN - EMPRESA CAL PLUS E.I.R.L. - APAN BAJO - HUALGAYOC - CAJAMARCA | | PLANO: S-01 |
| PLANO: SECCIÓN DE MINADO DE TAJO IV | | |
| TESISTA: RUBÉN QUILICHE ORTIZ | | |
| ASESOR: MCS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: Ev = 1: 410 Eh = 1: 1,400 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: OCTUBRE, 2024 |