

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**DIMENSIONAMIENTO DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS
PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD Y OPTIMIZAR LA
PRODUCTIVIDAD, ZONA NORTE DEL TAJO APUMAYO 1 – CIA
MINERA APUMAYO S.A.C. – AYACUCHO 2023**

PRESENTADO POR:

Br. GUERRERO SUAREZ, JOSE CARLOS

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

ASESOR:

MGT. RAIMUNDO MOLINA DELGADO

CUSCO – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del informe técnico titulado: "Dimensionamiento de los parámetros geométricos para mejorar la estabilidad del talud y optimizar la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho"

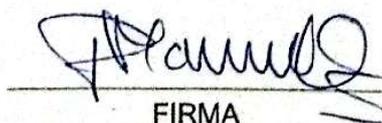
Presentado por José Carlos, Guerrero Suárez, con DNI 71710110 y código universitario Nro. 091547 para optar al Título Profesional de: INGENIERO DE MINAS. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: 10 % (diez por ciento).

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 09 de septiembre de 2024.



FIRMA

POST FIRMA: Ing. Raimundo Molina Delgado
DNI Nro.: 23912083

ORCID ID: 0000-0003-0291-2700

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.

2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:

<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:379714415?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

“Dimensionamiento de los parámetros geométricos para mejorar la estabilidad del talud y optimizar la

AUTOR

JOSÉ CARLOS GUERRERO SUÁREZ

RECUENTO DE PALABRAS

35942 Words

RECUENTO DE CARACTERES

186326 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

163 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.1MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 9, 2024 4:37 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 9, 2024 4:39 PM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Material citado
- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

Dedicatoria

A mi madre y hermana que son mi soporte e inspiración de perseverancia y constancia. A Dios, mis abuelos y mi padre que con seguridad desde el cielo guían mis pasos para superar las adversidades de la vida.

Agradecimiento

A los catedráticos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco de la escuela profesional de Ingeniería de Minas, que impartieron su experiencia y conocimiento.

Asimismo, a la empresa minera Apumayo S.A.C., Unidad Económica Apumayo, por permitirme desarrollar la presente tesis. Al Ing. Manuel Mongrut e Ing. Mafaela Lopinta, por darme la oportunidad de desempeñarme en el área de Geotecnia, importante para el desarrollo de la presente tesis y mi crecimiento profesional.

Índice General

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice General.....	iv
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras	xii
Índice de Acrónimos	xiv
Resumen.....	xv
Abstract	xvi
Introducción.....	xvii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del Problema	1
1.2. Identificación y Formulación de Problemas.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.4.1. Justificación de la Investigación	3
1.4.2. Delimitación de Investigación	4
1.5. Hipótesis de la Investigación	4

1.5.1. Hipótesis General	4
1.5.2. Hipótesis Específicas	5
1.6. Variables y su Operacionalización.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la Investigación	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	8
2.2. Bases Teóricas.....	14
2.2.1. Factor de Seguridad	14
2.2.2. Consideraciones Dinámicas, Método Pseudoestático – Sísmicas.....	14
2.2.3. Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes	15
2.2.4. Métodos Para Determinar el Factor de Seguridad	15
2.2.5. Litología	18
2.2.6. Índice Q.....	21
2.2.7. Criterio de Rotura de Mohr Coulomb	22
2.2.8. Criterio de Rotura de Hoek – Brown	23
2.2.9. Definición de términos	25
2.3. Marco Conceptual	27
2.3.1. Parámetros Geométricos.....	27
2.3.2. Taludes	30
2.3.3. Análisis de Estabilidad de Taludes	30
2.3.4. Estabilidad Física de taludes.....	31

2.3.5. Condición Estática	31
2.3.6. Condición Pseudoestática	31
2.3.7. SLIDE V 6.0	33
2.3.8. Napa Freática o Nivel Freático	33
2.3.9. Factor de Seguridad	34
2.3.10. Resistencia al corte	34
2.3.11. Producción	34
2.3.12. Productividad	34
2.3.13. Estructuras Geológicas	35
2.3.14. Tipos de Rotura de las Estructuras Geológicas.....	36
2.3.15. Mecánica de Suelos	39
2.3.16. Mecánica de Rocas	40
2.3.17. Geotecnia.....	40
2.3.18. Geomecánica.....	41
2.3.19. Deslizamientos	41
2.3.20. Talud	41
2.3.21. Análisis Crítico	41
CAPÍTULO III	42
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.1. Enfoque de la Investigación.....	42
3.2. Nivel de Investigación	42
3.3. Diseño de Investigación.....	43
3.4. Población, Muestra y Muestreo	43

3.4.1. Población	43
3.4.2. Muestra	43
3.4.3. Muestreo	43
3.5. Técnicas e Instrumentos de Captura de Información	44
3.5.1. Técnicas de Captura de Información	44
3.5.2. Instrumentos de Captura de Información	44
3.6. Procesamiento de Datos	44
3.7. Presentación de Análisis de Resultados	45
CAPÍTULO IV	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Recolección y Análisis de Datos	46
4.1.1. Caracterización Geológica	47
4.1.2. Hidrología	51
4.1.3. Hidrogeología	51
4.1.4. Sismicidad	54
4.2. Investigaciones Geotécnicas	56
4.2.1. Caracterización del Macizo Rocoso	56
4.2.2. Estaciones Geomecánicas	56
4.2.3. Perforaciones Geotécnicas	59
4.2.4. Distribución de Discontinuidades	62
4.2.5. Aspectos Estructurales	66
4.3. Clasificación de la Masa Rocosa	66
4.4. Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa	68

4.4.1. Dominio Estructural DE-IIIB (RF - SM)	69
4.4.2. Dominio Estructural DE-IVA (SCP, SGM, SGC y PRO).....	69
4.4.3. Dominio Estructural DE-VIB (C, SC, SA y SGD).....	70
4.5. Resistencia de la Roca	70
4.5.1. Resistencia de la Roca Intacta	70
4.5.2. Resistencia de las discontinuidades	81
4.5.3. Resistencia del macizo rocoso	82
4.6. Análisis de Estabilidad Física y Diseño de Taludes.....	83
4.6.1. Generalidades	83
4.6.2. Sectorización de los Taludes de Tajo.....	83
4.6.3. Secciones de Análisis	86
4.6.4. Identificación de Mecanismo de Falla (Análisis Cinemático)	89
4.6.5. Análisis de Estabilidad de Taludes de Banco.....	90
4.6.6. Análisis de Estabilidad de Taludes Finales	91
4.6.7. Diseño de Taludes	98
4.6.8. Resultados de los Análisis de Estabilidad	105
4.6.9. Instrumentación Geotécnica	107
4.6.10. Instrumentación Topográfica Actual	107
4.6.11. Instrumentación Propuesta	108
4.6.12. Influencia de la Estabilidad de Taludes en la Productividad.....	108
4.7. Contratación de Hipótesis	125
4.7.1. Hipótesis Estadísticas (nula y alterna).....	125
V. CONCLUSIONES.....	129

VI. RECOMENDACIONES	131
VII. BIBLIOGRAFÍA	132
VIII. ANEXOS.....	136

Índice de Tablas

Tabla 1 Variables y su operacionalización	5
Tabla 2 Clasificación de RQD	21
Tabla 3 Clasificación del macizo rocoso determinado del total de Ratings	21
Tabla 4 Factores de Zona.....	33
Tabla 5 Estaciones geomecánicas registradas en los taludes del tajo por SIASMIN.....	57
Tabla 6 Estaciones geomecánicas registradas en los taludes del tajo por GEOSERVICE ..	58
Tabla 7 Registro de la calidad a partir de sondajes geotécnicos – Tajo Apumayo 1	59
Tabla 8 Sistemas de discontinuidades estructurales (Rumbo y buzamiento – Dirección de Buzamiento y buzamiento)	63
Tabla 9 Criterio para la clasificación de la masa rocosa	67
Tabla 10 Calidad de la masa rocosa por tipo de alteración.....	68
Tabla 11 Resultados de los ensayos de dureza con el Martillo Schmidt	72
Tabla 12 Resultados de los ensayos de carga puntual y resistencia compresiva uniaxial ...	73
Tabla 13 Resultados de los ensayos de compresión uniaxial	76
Tabla 14 Resultados de los ensayos de constantes elásticas	77
Tabla 15 Resultados de los ensayos de compresión triaxial.....	79
Tabla 16 Resultados de los ensayos de propiedades físicas.....	80
Tabla 17 Resultados de los ensayos de corte directo	82
Tabla 18 <i>Parámetros de resistencia de la masa rocosa</i>	82
Tabla 19 Criterios de análisis	86
Tabla 20 Resultados del análisis cinemático por sectores de diseño	90
Tabla 21 Resultados del análisis de estabilidad de bancos	91
Tabla 22 <i>Valores y criterios típicos del Factor de Seguridad y probabilidad de falla</i>	94
Tabla 23 Factores de Seguridad - Diseño Topográfico Ampliado.....	105
Tabla 24 Factores de Seguridad - Diseño Topográfico Ampliado con Medidas de Estabilización	106

Tabla 25 Resumen de hitos de control topográfico existentes.....	107
Tabla 26 Resumen de instrumentación geotécnica propuesta	108
Tabla 27 Precios Unitarios según desplazamientos y condiciones climáticas.....	110
Tabla 28 Resumen de Capacidades Operativas	111
Tabla 29 Costos de Perforación	112
Tabla 30 <i>Costos de Voladura</i>	117
Tabla 31 Costos de Carguío.....	122

Índice de Figuras

Figura 1 Métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud.....	15
Figura 2 Métodos de la masa Total.....	16
Figura 3 División de la masa deslizante en dovelas	17
Figura 4 División de rebanadas para aplicar el equilibrio límite	18
Figura 5 Clasificación GSI, Hoek y Brown I	19
Figura 6 Clasificación GSI, Hoek y Brown II	20
Figura 7 Envolvente de Mohr Coulomb (a) esfuerzos tangenciales vs normales. (b) esfuerzos principales	22
Figura 8 Valores para mi para roca intacta	24
Figura 9 Envolvente de Hoek-Brown (a) Esfuerzos principales. (b) Esfuerzo tangencial vs normal	25
Figura 10 Parámetros geométricos de un talud de mina.....	27
Figura 11 Gráfico de controles del ángulo de talud inter rampa.....	30
Figura 12 Zonificación Sísmica del Perú.....	32
Figura 13 Dirección de Buzamiento	35
Figura 14 Falla Circular	36
Figura 15 Falla Plana.....	37
Figura 16 Diagrama de Falla Planar	37
Figura 17 Rotura en Cuña	38
Figura 18 Rotura en Cuña	38
Figura 19 Falla por Vuelco.....	39
Figura 20 Diagrama de metodología empleada.....	45
Figura 21 <i>Litología del área de estudio</i>	48
Figura 22 <i>Alteraciones en el área de estudio</i>	50
Figura 23 <i>Monitoreo Piezométrico Histórico del Tajo Apumayo 1</i>	52
Figura 24 Sección hidrogeológica NW-SE Tajo Apumayo 1	53

Figura 25 Diagrama estereográfico de contornos y círculos mayores – Sector Norte Superior	64
Figura 26 Diagrama estereográfico de contornos y círculos mayores - Sector Norte y Este	65
Figura 27 Diagrama estereográfico de contornos y círculos mayores - Sector Sur Oeste....	66
Figura 28 Alteraciones y sectores de análisis	84
Figura 29 Sección geotécnica 1-1'	87
Figura 30 Sección geotécnica 2-2'	87
Figura 31 Sección geotécnica 3-3'	88
Figura 32 Sección geotécnica 4-4'	88
Figura 33 Datos de entrada para la determinación del F.S.....	95
Figura 34 Determinación del F.S Mediante el método de Morgentern- Price	95
Figura 35 Resultado final con un FS = 1.041.....	98
Figura 36 <i>Esquema de diseño de ancho de rampa</i>	105
Figura 37 Área de echado propuesto como medida de estabilización.....	106
Figura 38 Configuración geométrica de taludes de banco e interrampa.....	107
Figura 39 Posible bloque deslizado para caso práctico	109

Índice de Acrónimos

AND	: Andesita
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BX	: Brecha
BXH	: Brecha hidrotermal
C	: Alteración clay
Cgl	: Conglomerado
E	: Este
FS	: Factor de seguridad
GPS	: Global Positioning System
GSI	: Geological Strength Index
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
Ja	: Alteración de las diaclasas
Jn	: Número de familias de diaclasas
Jr	: Rugosidad de las superficies de las discontinuidades
Jw	: Coeficiente reductor
MEM	: Ministerio de Energía y Minas
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
N	: Norte
NE	: Noreste
NF	: Nivel Freático
NQ-b-to	: Grupo Barroso
NW	: Noroeste
O	: Oeste
PN-t-bh	: Grupo Tacaza
PRO	: Propilítico
Q-co	: Depósitos Coluviales
Q-re	: Suelos Residuales
RCS	: Resistencia a la Compresión Simple
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
SA	: Sílice Alunita
SAC	: Sílice Alunita Clay
SC	: Sílice Clay
SE	: Sureste
SGD	: Sílice Granular Deleznable
SM	: Sílice Masiva
SMR	: Slope Mass Rating
SO	: Suroeste
SRF	: Factor reductor de esfuerzo
SRF	: Stress Reduction Factor
SW	: Suroeste
TUF	: Tufo

Resumen

Mediante la presente investigación se busca evaluar la injerencia que posee un adecuado análisis de estabilidad de taludes en el Tajo Apumayo (Tika), en la Unidad Minera Apumayo, para tal efecto dicho estudio tiene como objetivos determinar los parámetros geométricos para mejorar la estabilidad de taludes y optimizar la productividad operativa en la zona norte del Tajo Apumayo 1. Para tal efecto las consideraciones para realizar este análisis es compilar información geotécnica existente, estudios previos como perforaciones diamantinas, mapeos geotécnicos, resultados de ensayos de laboratorio y corridas en softwares que ayudan a entender y estimar adecuadamente estos análisis, el inadecuado manejo o uso de estos parámetros podría implicar inestabilidades en los taludes o tajo final, comprometiendo la seguridad de los equipos, personas y perjudicando el normal desempeño de actividades, disminuyendo la productividad operativa. Es así que en este estudio se considera un tipo de investigación aplicada, puesto que emplea conocimientos y teorías esenciales, un nivel descriptivo y explicativo ya que realiza una descripción detallada de las posibles soluciones generadas, así como un diseño no experimental. Así mismo se usa la metodología de equilibrio límite, realizando un seccionamiento mediante dovelas o rebanadas para la obtención de datos más certeros. Concluyendo que para realizar un adecuado análisis es importante la determinación de parámetros geométricos en función a las alteraciones encontradas, puesto que su comportamiento es indistinto y se debe realizar una zonificación adecuada mediante sectorizaciones, así mismo realizar iteraciones con distintos ángulos de talud es importante ya que se puede estimar F.S idóneos que garanticen la estabilidad y la importancia del apoyo con software como el SLIDE V6.0 es importante ya que se optimiza mucho tiempo en el diseño y análisis de los mismos, por otra parte la inadecuada toma de datos y posterior análisis pueden traer consecuencias adversas como embrollar la optimización operativa que se viene brindando para la adecuada operatividad del ciclo de minado.

Palabras clave: Estabilidad, taludes, análisis, optimización.

Abstract

This research aims to evaluate the impact of an adequate slope stability analysis at the Apumayo Pit (Tika) in the Apumayo Mining Unit. The objectives of this study are to determine the geometric parameters to improve slope stability and optimize operational productivity in the northern area of the Apumayo Pit 1. The considerations for this analysis include compiling existing geotechnical information, previous studies such as diamond drilling, geotechnical mapping, laboratory test results, and software simulations that help to understand and adequately estimate these analyses. Improper handling or use of these parameters could lead to slope or final pit instabilities, compromising the safety of equipment, personnel, and negatively impacting normal activities, thus reducing operational productivity.

This study employs an applied research type, using essential knowledge and theories, with a descriptive and explanatory level as it provides a detailed description of the possible solutions generated, as well as a non-experimental design. The limit equilibrium methodology is used, performing a sectioning through slices or segments to obtain more accurate data. Concluding that to perform an adequate analysis, it is important to determine geometric parameters based on the alterations found, as their behavior is indistinct, and an appropriate zoning through sectorizations should be done. Additionally, iterations with different slope angles are important as they can estimate suitable Safety Factors (F.S.) that guarantee stability. The support of software like SLIDE V6.0 is significant as it optimizes much time in the design and analysis, while inadequate data collection and subsequent analysis can bring adverse consequences such as entangling operational optimization aimed at ensuring the proper mining cycle operability.

Keywords: Stability, slopes, analysis, optimization.

Introducción

En esta investigación se pretende realizar un análisis de estabilidad de taludes adecuado para garantizar la estabilidad de los componentes y no comprometer así la seguridad y proceso operativo del tajo, considerando que se ha encontrado material de baja resistencia tales como clay o arcillas, posible afección por presencia del nivel freático y dimensionamientos inadecuados del pit, es así que se realiza la compilación de información geotécnica existente, estudios previos como perforaciones diamantinas, mapeos geotécnicos, resultados de ensayos de laboratorio y corridas en softwares que ayudan a entender y estimar adecuadamente estos análisis, de esta forma garantizamos que la extracción sea segura, de fácil acceso para los trabajadores y equipos de minado, incidiendo en optimizar la productividad operativa. Por lo que se tiene como objetivo determinar el diseño geométrico para mejorar la estabilidad del talud y analizar la optimización de la productividad en el tajo, habiéndose tenido limitaciones como las condiciones climáticas, conflictos sociales y obtención de datos de laboratorio en tiempos prolongados. Con respecto a la estructura de la investigación se organizó de la siguiente forma:

En el primer capítulo, se analizará el planteamiento del problema, descripción del problema, objetivos, hipótesis y análisis situacional geotécnico de los taludes.

En el segundo capítulo, se detalla el marco teórico, marco contextual. Considerando los enfoques más preponderantes sobre la geotecnia de la zona.

En el tercer capítulo, se detallará la metodología de la investigación considerando el enfoque, nivel y diseño de investigación, así como la población, muestra y muestreo.

En el cuarto capítulo, se verán los resultados obtenidos, información recopilada y discusiones sobre las derivaciones e iteraciones obtenidas.

Finalmente se formuló conclusiones de acuerdo a los objetivos establecidos, así como recomendaciones y bibliografía usada, culminando con la presentación de anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

La actividad minera es considerada como una actividad de alto riesgo debido a las condiciones propias de su operación. Durante el proceso operativo del Tajo Apumayo 1, se observó la presencia de material de baja resistencia (“clay” o arcilla y sílice granular deleznable) en los taludes y posible afectación por presencia del nivel freático, condiciones que deben ser controladas al ejecutar el diseño del tajo Apumayo 1 (TIKA).

Ante tales condiciones, es conveniente realizar el análisis de estabilidad de taludes en el tajo Apumayo (TIKA), de propiedad de la compañía minera Apumayo S.A.C. Puesto que se presentan distintas alteraciones y condiciones específicas, en tal sentido es importante generar los análisis correspondientes y plantear alternativas con factores de seguridad adecuados.

La estabilidad de taludes no solo está relacionada de manera directa con la preservación de la geometría de las paredes de un tajo, sino también, con la continuidad de la explotación misma, con la seguridad de los trabajadores y la preservación de maquinaria e instalaciones mineras, por tal motivo un buen análisis de estabilidad de taludes permitirá evitar deslizamientos e implicancias negativas en la actividad.

Existen diversas causas que pueden conllevar al deslizamiento o inestabilidad de un talud, en tal efecto para nuestra investigación consideraremos la deficiencia de un adecuado sistema de drenaje, la heterogeneidad en la composición de materiales, las discontinuidades existentes, condiciones pseudoestáticas y el dimensionamiento geométrico del banco y taludes.

Se ve por conveniente en el estudio propuesto determinar los parámetros geotécnicos de los materiales implicados tales como suelos y rocas, con el objetivo de obtener los parámetros geométricos óptimos del talud, para el diseño del tajo Apumayo 1, de la mina Apumayo. Así como la consideración de condiciones pseudoestáticas, puesto que por la ubicación de la zona es imperante un análisis exhaustivo que nos ayude a tener un control oportuno y adecuado para garantizar la continuidad del ciclo de minado y garantizar la seguridad del personal, de forma que no afecte la productividad.

1.2. Identificación y Formulación de Problemas

1.2.1. Problema General

¿Cuál será el diseño geométrico adecuado para mejorar la estabilidad del talud y optimizar la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es el diseño geométrico adecuado para mejorar la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho?
- b) ¿Cuáles son los factores de seguridad adecuados para garantizar la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho?
- c) ¿Cómo optimizar la productividad estabilizando los taludes y bancos, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el diseño geométrico para mejorar la estabilidad del talud y analizar la optimización de la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar el diseño geométrico adecuado para mejorar la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.
- b) Determinar los factores de seguridad adecuados para garantizar la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.
- c) Optimizar la productividad estabilizando los taludes y bancos, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

1.4.1. Justificación de la Investigación

Concerniente a la justificación teórica, en la presente investigación permitirá considerar adecuadamente las influencias que tienen los parámetros geotécnicos, el nivel freático y un análisis pseudoestático para una adecuada determinación de los parámetros geométricos, que permitirán garantizar la estabilidad de taludes del tajo Apumayo 1, de tal forma que las actividades del ciclo de minado no se vean comprometidas y se dé la continuidad esperada para un proceso continuo y eficiente. Así mismo poder fortalecer los conocimientos científicos y teóricos sobre estabilidad de taludes con las distintas aplicaciones que influyen en su determinación.

Cumpléndose con los objetivos de la presente investigación, la justificación práctica permitirá contribuir con la Compañía Minera Apumayo S.A.C. y se beneficiará asegurando la continuidad del ciclo de minado, cumpliendo con sus metas de producción mensual, y reduciendo los costos de operación según el plan mensual y anual establecido. Así también

para la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, es un aporte importante para la formación en el área de geotecnia, teniendo un material de consulta con las consideraciones pertinentes para establecer un adecuado análisis de estabilidad de taludes.

Por último, con respecto a la metodología se optó por considerar la metodología de estabilidad de taludes por equilibrio límite, considerando la simulación y determinación del factor de seguridad haciendo uso de distintos softwares de la casa Rocscience, mediante dovelas en distintas secciones que se presentarán adjuntas, así como la injerencia que posee una adecuada caracterización del macizo rocoso, clasificación de suelos, monitoreo geotécnico y consideraciones sísmicas por la zonificación que presenta, a partir de los cuales podremos dimensionar adecuadamente los bancos y taludes, prevenir posibles deslizamientos y garantizar la operatividad del ciclo de minado y optimizar la productividad.

1.4.2. Delimitación de Investigación

1.4.2.1. Delimitación Espacial.

La presente investigación se realizó en la U.M. Apumayo, el cual está ubicado entre los distritos de Chaviña y Sancos, provincia de Lucanas, región Ayacucho. Específicamente este estudio se realizó en el tajo Apumayo 1.

1.4.2.2. Delimitación Temporal.

La investigación se realizó desde el 2023 y fue concluida el 2024, es importante resaltar que, dentro de este periodo, se presentaron complicaciones, por lo que el lapso de tiempo se prolongó respecto al previsto.

1.5. Hipótesis de la Investigación

1.5.1. Hipótesis General

Determinando adecuadamente el diseño geométrico se mejora la estabilidad de taludes y realizando un adecuado análisis se optimizará la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- a) Con una adecuada determinación del diseño geométrico se mejora la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.
- b) Determinando adecuadamente los factores de seguridad se garantiza la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.
- c) Realizando un adecuado análisis de estabilidad de taludes y bancos, se optimiza la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

1.6. Variables y su Operacionalización

Tabla 1 Variables y su operacionalización

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
X: Independiente • Parámetros Geométricos • Parámetros Geotécnicos	Diseño Geométrico	Ancho de berma	m
		Ancho de banco	m
		Altura de banco	m
		Ángulo del talud de banco	°
		Ángulo de talud final del tajo	°
	Nivel Freático	Nivel piezométrico	m
Propiedades Geotécnicas	Cohesión, ángulo de fricción, peso específico	Pa, °, N/m ³	
Y: Dependiente • Productividad • Estabilidad de taludes	Eficiencia operativa	Producción	TM
		Costos	\$
	Factor de Seguridad	Factor de seguridad Estático	Adimensional
		Factor de seguridad Pseudo estático	Adimensional

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Morales & Valiente (2017), en su investigación de pregrado denominada “**Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes, en la Institución Social Jardín Infantil Lipaya, casco urbano Barranquilla**”, presentada a la **Universidad de Cartagena; Colombia**. Menciona como **objetivo** evaluar geotécnicamente la estabilidad de los taludes donde se localiza el jardín social Lipaya al suroccidente de la ciudad de Barranquilla, mediante el análisis de los factores de seguridad por los métodos de equilibrio límite usando el software Slide v. 5.0 para determinar el nivel de riesgo de la zona y diseñar conceptualmente obras de mitigación y control. Los factores de seguridad hallados en dicha investigación respecto a las superficies de falla varían entre 0.8 y 1.3. Con respecto a la **metodología** aplicada se ha realizado un análisis exhaustivo de la información de topografía, geotecnia y sismicidad, geomorfología, hidrología, evaluación de monitoreo y geología, para así determinarse un modelo geológico – geotécnico mediante condiciones de análisis se realizó un modelamiento en el software Slide a partir del cual se pudieron determinar los factores de seguridad correspondientes mediante el análisis de equilibrio límite. Así se obtuvo los siguientes resultados: de acuerdo a los parámetros obtenidos se realizó la modelación para obtener los factores de seguridad por medio de cada método de equilibrio límite descrito (Bishop, Jambu,

Jambu Simplificado, Ordinario-Fellenius y Spencer) y simulando cada una de las condiciones Estado Natural (EN), Saturado sin Sismo (SS), No Saturado Con Sismo (NS) y Saturado con Sismo (SC). Se observa que los métodos utilizados muestran un alto grado de inestabilidad en la zona, la categoría de inestabilidad de los taludes de la zona varía de media a alta, lo que corrobora los resultados obtenidos con el movimiento presente en la zona de estudio. En los valores máximos se encontró que los métodos más representativos son los de Bishop y Spencer, para categorizar el área de estudio se utilizaran análogamente estos dos métodos, debido a que son los más completos para satisfacer totalmente el equilibrio de esfuerzo y momento. De tal forma que se **concluye** que de acuerdo a los resultados de la instrumentación instalada en el talud de la zona se determinó que la profundidad máxima aproximada de la superficie de falla es de 5 m lo cual permitió comprobar los resultados de la modelación, además se registró un aumento máximo en el nivel piezómetro de 2.70 m lo cual indica una inminente disminución del esfuerzo efectivo y por ende de la resistencia al cortante del suelo. Además, la categorización con respecto a la inestabilidad y a la ocurrencia de deslizamientos en masa de la zona de estudio para un evento crítico en el cual se presente saturación total del suelo y presencia de movimientos sísmicos corresponde a un nivel de riesgo alto, cuyo factor de seguridad es menor que la unidad.

Svetlana Melentijevic, (2005), **en su tesis doctoral, denominada “Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada”, presentado a la Universidad Politécnica de Madrid, España.** Menciona que como objetivo fue investigar la estabilidad de taludes en macizos rocosos, y desarrollar un procedimiento de cálculo que sea sencilla de utilizar basándose en un criterio de rotura no lineal y en leyes de fluencia no asociada. Es decir, incorporando los factores clave que condicionan la rotura en un medio rocoso. Con respecto a la **metodología** de cálculo, en la práctica geotécnica el método de equilibrio límite se ha utilizado mucho para el análisis rutinario de estabilidad de taludes. Cuando se necesitan predicciones relacionadas con las deformaciones se acude al método de elementos finitos. Sin embargo, el método de equilibrio

límite tiene la ventaja de su simplicidad y que provee el factor de seguridad como índice de estabilidad límite tiene la ventaja de su simplicidad y que provee el factor de seguridad como índice de estabilidad. Para la roca fracturada ambos métodos (método de equilibrio límite y método de elementos finitos) se pueden aplicar dentro de las limitaciones de sus hipótesis fundamentales, y las herramientas de cálculo hoy en día disponibles pueden hacer coincidir los resultados. Específicamente, si el macizo rocoso se puede aproximar como medio continuo, estos métodos pueden ser coincidentes. De todos modos, el comportamiento del macizo rocoso depende de la geometría (existencia) de discontinuidades como fracturas, juntas, planos de estratificación o fallas, así que se deben considerar la interacción entre bloques individuales definidos por discontinuidades.

Es así que se obtuvieron los resultados siguientes: para deslizamientos planos, deslizamientos circulares, y al final se determinó para ambos casos de forma que se pueda acotar la influencia y diferencia entre ellos, se presentan mediante ábacos anexados que muestran gráficamente la influencia del ángulo de dilatación y facilitan una estimación rápida de la geometría del talud en función de las características resistentes del macizo rocoso y del coeficiente de seguridad que se selecciona. Entonces se **concluye**, manifestando que se han elegido cinco distintas funciones de distribución para comprobar su influencia en los valores del factor de seguridad (FS), tanto para deslizamiento plano como para deslizamiento circular. La diferencia obtenida es del orden de 1% y por ese motivo se ha empleado la más habitual en el ámbito de cálculos de estabilidad de taludes; la función de medio-seno.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cisneros (2023), en su tesis de pregrado denominada **“Reevaluación Geotécnica de la Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos Moderadamente Deformables Aplicada al Yacimiento Pierina, Huaraz, Ancash”**, presentada a la **Universidad Nacional de Ingeniería, Lima**. Indica que su estudio tiene como **objetivo** el analizar el comportamiento de taludes en las tobas argilizadas de Pierina para asegurar la estabilidad física del macizo durante el proceso de minado, para tal efecto hace uso de varias clasificaciones entre las más

importantes tenemos la clasificación GSI de Marinos y Hoek, (2000) y la de RMR de Bieniawski, (1976) las cuales se usaron para el análisis de estabilidad y la clasificación de macizos rocosos alterados, contrastando y relacionando los diversos resultados complementándolos unos con otros debido a que a pesar de ser similares hay algunos parámetros que no se toman en cuenta entre una clasificación y otra, además con el objetivo de ver hasta qué punto convergen buscando el equilibrio entre rentabilidad y estabilidad de los taludes, realizando el análisis de estabilidad, calculo el factor de seguridad y finalmente el monitoreo con todas las herramientas posibles tanto de análisis como de monitoreo y reducir al máximo las incertidumbres del estudio. No es posible definir una regla general o **metodología** para analizar macizos rocosos alterados debido a que la experiencia de diversos investigadores en la estabilidad de macizos rocosos considera que las condiciones operativas y el diseño del tajo juegan un papel importante al momento de la evaluación geotécnica del macizo. Sin embargo, algunas estimaciones de ingeniería para el caso de macizos rocosos alterados pueden no ser representativas por lo que es necesario adaptar y realizar todos los métodos posibles de clasificación geomecánica, monitoreo y análisis de estabilidad; de esta manera se llevará un adecuado control. Obteniendo los siguientes **resultados**: para el presente estudio los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad en condición pseudo estática arrojo valores menores a 1, que en teoría indica que si se llega a producir un movimiento sísmico luego del minado del talud, ocasionaría un deslizamiento, sin embargo se realizó el minado debido a que la probabilidad que se produzca el movimiento sísmico durante los 5 días que el talud estuviera expuesto era baja, además no era un talud final que quedaría expuesto por un tiempo prolongado, por el contrario se confino en menos de 5 días aprovechando en el plan de cierre de mina, llegando al objetivo de extraer de forma segura el mineral que iba a ser enterrado por el mismo plan de cierre de mina mencionado anteriormente. **Concluyendo** que la calidad de la roca está fuertemente denominada por el tipo de alteración presente, así mismo mediante el modelamiento numérico 3D se pudo inferir que, a menor espesor para la sección, el análisis de estabilidad arroja factores de seguridad

más bajos, por tal motivo los análisis de estabilidad realizados en 2D generan factores de seguridad menores a los realizados en 3D, también mencionar que en análisis realizados en 3D se obtiene mayores desplazamientos.

Cabellos & Samamé (2021), **en su tesis de pregrado denominada “Estudio Geotécnico para la Estabilidad de Taludes en la Mina de Hierro Olmos 8 HPM”, presentada a la Universidad César Vallejo, Chiclayo.** Dan a conocer en su investigación de pre grado tuvo como **finalidad** realizar un estudio geotécnico para la estabilidad de los taludes de la mina de hierro Olmos 8 HPM, la cual surgió de la observación de un problema vinculado a la inestabilidad de taludes. Para el recojo de información, se utilizaron técnicas de observación y documentales, aplicando instrumentos de guía de observación de campo, tablas geomecánicas y guía del método de ROFRAQ. Con respecto a la **metodología** la presente investigación es de tipo cuantitativa, porque permitió cuantificar el conjunto de datos que proporcionó el estudio geotécnico, realizando una clasificación geomecánica del macizo rocoso, pues de esta forma se pudo aplicar un análisis estadístico lo cual brindó las herramientas necesarias para lograr la estabilidad de taludes en la mina de hierro Olmos 8 HPM. Este trabajo contó con un diseño explicativo, en el cual se inició detallando la geología, realizando un modelo geomecánico de la zona de estudio donde se originó la inestabilidad del talud y una clasificación a través de tablas geomecánicas para estimar la calidad del macizo rocoso que conforma el talud.

Obteniendo los siguientes **resultados**: un tipo de roca III, de calidad regular, con presencia de facturación y alteración generando zonas inestables. Por otro lado, arrojó un SMR, reflejando el 86.66 % condición inestable y 13.33 % parcialmente estable, de las cuales es necesario aplicar medidas correctivas por la gran presencia de discontinuidades y roturas. Finalmente, resulto un ROFRAQ talud de 592.69 y un ROFRAQ básico de 37.99, esto nos da a entender que la mina cuenta con un riesgo alto de inestabilidad de taludes. Finalmente se realizó el estudio geotécnico, con el uso del software RS2 y GeoStudio, determinado el F.S real de 2.32 y un F.S modificado 3.08, logrando comprobar la hipótesis que, si se realiza un

estudio geotécnico, entonces se logrará la estabilidad de los taludes de la mina de hierro Olmos 8 HPM. **Concluyendo** que debido al estudio geotécnico y la aplicación del ROFRAQ, se logrará la estabilidad de taludes en la mina de hierro Olmos 8 HPM, donde la identificación de la geología y litología, la descripción de las discontinuidades y la clasificación del macizo rocoso jugaron un rol muy importante para su realización.

Así mismo, Condezo (2019), **en su tesis de pre grado denominada “Análisis de estabilidad de Taludes, empleando métodos aproximados de Dovelas, en depósitos de desmonte de mina Excélsor – Pasco”, presentada a la Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.** Menciona que posee como **objetivo** la evaluación de los resultados del análisis de estabilidad de taludes empleando los métodos aproximados de dovelas en depósito de desmonte de mina Excélsior Pasco, así mismo el **método** general de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicado, de nivel descriptivo– explicativo, diseño no experimental – transversal. La población estuvo conformada por los taludes de la progresiva 0+000 a 1+050 del depósito de desmonte de mina Excélsior Pasco, el tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional, y la muestra se seleccionó en tres zonas dentro de estas progresivas; S1 de la prog. 0+100 – 0+200, S2 prog. 0+800 – 0+900 y S3 prog. 0+900 a 1+050. Los **resultados** producto de los sondajes realizados posee las siguientes características: (S-1, residuos mineros, color beige a plomo, presencia de gravas 2”, bolones 6”, bloque 20”. Teniendo como clasificación SUCS GC - Grava arcillosa – después de haberse empleado el método de Fellenius mediante un análisis estático tiene un $FS=2.003$ y un análisis dinámico $FS=1.367$), (S-2, residuos mineros, color beige a plomo, presencia de bolones 10”, bloques 30”. Teniendo como clasificación SUCS ML – Limo de baja Plasticidad - después de haberse empleado el método de Fellenius mediante un análisis estático tiene un $FS=1.656$ y un análisis dinámico $FS=1.111$), (S-3, residuos mineros, color beige a plomo, presencia de gravas 2”, bolones 10”, bloque 30”. Teniendo como clasificación SUCS SM – Arena Limosa - después de haberse empleado el método de Fellenius mediante un análisis estático tiene un $FS=1.696$ y un análisis dinámico $FS=1.162$). La **conclusión** principal de esta investigación

fue que los resultados del análisis de estabilidad de taludes empleando los métodos aproximados de dovelas en depósito de desmonte de mina Excelsior – Pasco, son mayores a 1.5 para el análisis estático y 1.25 para el análisis sísmico. Así mismo, los valores hallados por el método de Bishop Simplificado son los más altos para factor de seguridad de acuerdo con el mínimo exigido por la Norma, y los resultados por Fellenius y Janbu, son los valores más bajos.

Romero (2018), en su tesis de pre grado denominada “**Geología y estabilidad de taludes en la mina Shougang**”, presentada a la **Universidad Nacional del Altiplano, Puno**. Menciona que tiene como **objetivo** determinar las características geológicas y evaluar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso de mina 2, 3 y 4 de Shougang, para determinar la estabilidad de taludes actuales proyectados frente a la explotación minera. Se han realizado investigaciones geotécnicas, evaluación geológica y evaluación geomecánica; de estas investigaciones en campo, se indica que el área de estudio carece de homogeneidad del macizo rocoso que conforman los taludes, existe una variabilidad de unidades litológicas y características geomecánicas del macizo, además de saber que el macizo rocoso está sujeto a diferentes procesos geológicos y procesos de deformación, que pueden afectar la estabilidad de taludes durante las operaciones mineras de explotación. Para determinar el análisis de estabilidad a nivel de bancos y taludes del tajo, se ha considerado todos los parámetros obtenidos de las investigaciones en campo, del procesamiento de datos mediante software e interpretación de resultados de los mismos; para el análisis a nivel de bancos se ha realizado análisis cinemático, así también dicho trabajo se realizó **metodológicamente** mediante un análisis cuantitativo, que comprometen la estabilidad física del macizo rocoso, donde se ejecutó una campaña de investigación en campo, asimismo se ha obtenido los **resultados** de los siguientes factores de seguridad mayores al mínimo admisible, en condición estática ($FS \geq 1.5$) y pseudo estático ($FS \geq 1.1$), a nivel de bancos los que condicionan la estabilidad, son el grado de diaclasamiento, propiedades de la roca y condiciones de la junta; finalmente para en análisis de estabilidad a nivel de taludes del tajo se han obtenido

factores de seguridad superiores al mínimo admisible, en condición estática ($FS \geq 1.5$) y pseudo estático ($FS \geq 1.1$), llegando a determinar que los taludes en la mina 2, 3 y 4 son estables en condiciones geométricas actuales y proyectadas, considerando la geometría de reposo del talud de 51° a 55° de inclinación, y para los bancos de los taludes con una inclinación promedio de 70° . **Concluyendo** que el análisis de estabilidad a nivel de bancos en el diseño existente y proyectado se concluye que en la mina 2, 3 y 4 los bancos son estables en el factor de seguridad estático y pseudo estático, sin embargo, en determinados sectores el factor de seguridad pseudo estáticos es menor a 1.1, donde se recomienda realizar un desquinche selectivo para eliminar bloques que podrían generar riesgo.

Mendoza (2016), en su tesis de pregrado denominada “Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay”, presentada a la Pontificia Universidad Católica del Perú”, Lima. Menciona que tiene por **objeto** realizar los cálculos de factores de seguridad y determinar los parámetros de diseño de taludes de suelos de más de 100 metros de altura empleando el análisis de equilibrio límite en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Esta tesis se limitó al análisis de taludes de suelos que se encuentran en la parte superficial del tajo y superan los 100 metros de profundidad. Estos taludes son considerados de gran altura debido a que la profundidad efectiva de excavación o desnivel supera los 100 metros. Para ello, se realizaron los análisis de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas considerando valores variables de poro presión (R_u) para los suelos debido al desconocimiento de la ubicación exacta de la línea piezométrica. Para la **metodología** aplicada en el desarrollo de esta tesis es necesario realizar un estudio de parámetros geotécnicos e hidrológicos de la zona de análisis, considerando previamente el estudio sísmico de la zona en estudio para así desarrollar el análisis mediante equilibrio límite. **Concluyendo** que, de todos los análisis realizados, se eligió aquella sección que superaba ligeramente los criterios de aceptabilidad, $FS > 1.3$ en condiciones estáticas y $FS > 1.0$ en condiciones pseudoestáticas. Las características de dicha sección eran: 37° de ángulo de banco, 28° de ángulo global, 10 m. de altura de banco y 4.2 m de ancho de banco, además

se incluyó una plataforma de 20 m de ancho a mitad del talud. Los factores de seguridad mínimo a nivel de banco resultan 1.937 y 1.419 a nivel global en condiciones estáticas; mientras que, en condiciones pseudoestáticas 1.525 a nivel de banco y 1.084 global. Todos elegidos de los tres métodos de cálculo de factores de seguridad.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Factor de Seguridad

El factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto, este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de la superficie supuesta de posible falla.

$$F.S = \frac{\Sigma \text{Resistencia al corte}}{\Sigma \text{Esfuerzo al cotante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S = \frac{\Sigma \text{Momentos resistentes}}{\Sigma \text{Momentos actuantes}}$$

El valor FS=1 señala la frontera en la cual un talud es o deja de ser estable. La necesidad de utilizar valores de FS>1 surge como consecuencia de los siguientes factores. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015)

2.2.2. Consideraciones Dinámicas, Método Pseudoestático – Sísmicas

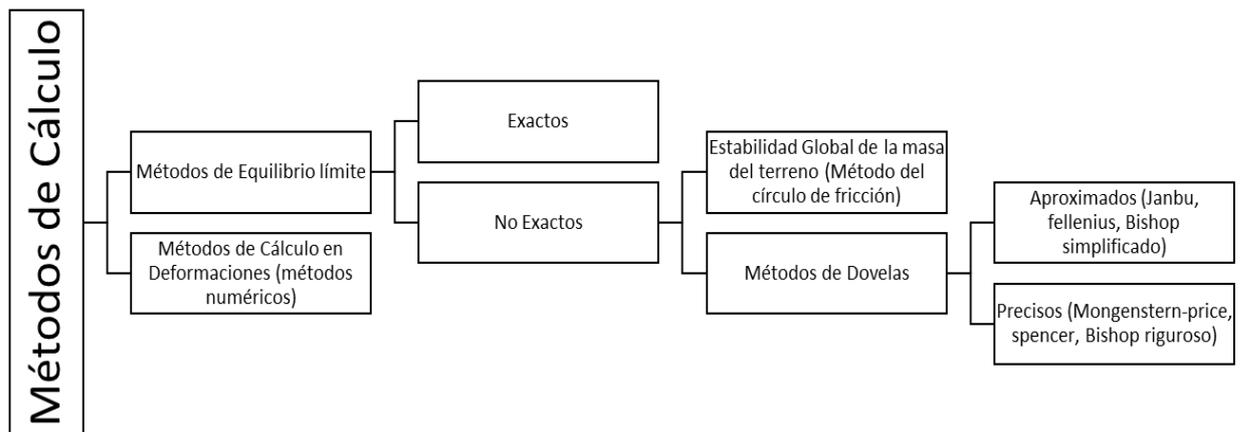
En el análisis pseudostático, se añade sobre todos los elementos en análisis una fuerza horizontal igual a K por el peso del elemento. Terzaghi (1959) propuso que “la aplicación de esta fuerza debería ser al medio de cada rebanada; sin embargo, existen otros autores que recomiendan aplicar la fuerza por encima del centro de las rebanadas basándose en que la aceleración aumenta de abajo hacia arriba.

2.2.3. Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Los métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud se pueden clasificar en dos grandes grupos: ver figura N°06

- Método tenso – deformacional
- Método de equilibrio límite

Figura 1 Métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud



2.2.3.1. Método de Equilibrio Límite

El método consiste en determinar el equilibrio de una masa activa de suelo, la cual puede ser delimitada por una superficie de ruptura circular, plana o poligonal. El método asume que la ruptura se da a lo largo de un plano, en el cual todos los elementos de esa superficie alcanzan simultáneamente el factor de seguridad $FS=1$. Al momento de la ruptura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie está movilizadada; mientras que el terreno se encuentra en equilibrio estático. Actualmente, este método es bastante utilizado debido a su sencillez y porque los factores de seguridad obtenidos son similares al real (Gercovich, 2015).

2.2.4. Métodos Para Determinar el Factor de Seguridad

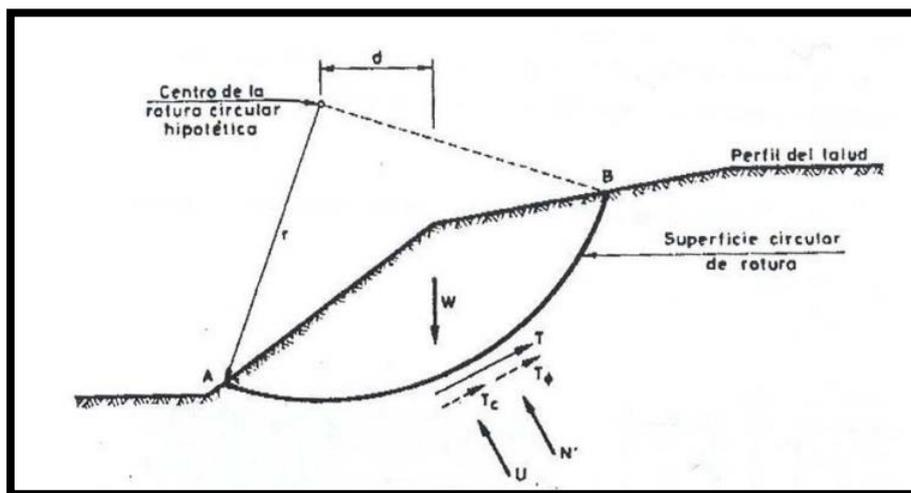
Los métodos más empleados para el análisis de fallas de taludes con geometría curva son el método de la masa total y el método de las rebanadas.

2.2.4.1. Métodos de la masa Total

La hipótesis de rotura circular en 2 dimensiones es muy utilizada en el caso de taludes de altura finita en donde no existe una zona que pueda definir la superficie de rotura.

Este método considera que la masa se mueve como un todo uniformemente. Las fuerzas que actúan sobre la superficie de equilibrio son el peso propio, W ; presión intersticial, U ; tensión tangencial, T ; y la tensión normal, N (Alonso, 2005).

Figura 2 Métodos de la masa Total



Nota. Adaptado de Alonso, 2005

2.2.4.2. Método de las Rebanadas

(Sackschewski, 2017) indicó que los métodos de dovelas son los que analizan la estabilidad del talud en una sola sección transversal, porque se realiza un cálculo en dos dimensiones.

La zona a estudiar, pero principalmente la potencial deslizable se divide en un número de dovelas que también pueden llamarse tajadas o fajas verticales, en las cuales se estudia el equilibrio de cada una de ellas.

Para determinar el número de tajadas se toma en cuenta la geometría del talud, y la precisión requerida. Cabe resaltar que entre mayor sea el número de tajadas, el resultado será más preciso.

Hoy en día los métodos de dovelas son muy usados debido a que se pueden aplicar a una gran variedad de problemas y tienen un grado razonable de exactitud. En este método se

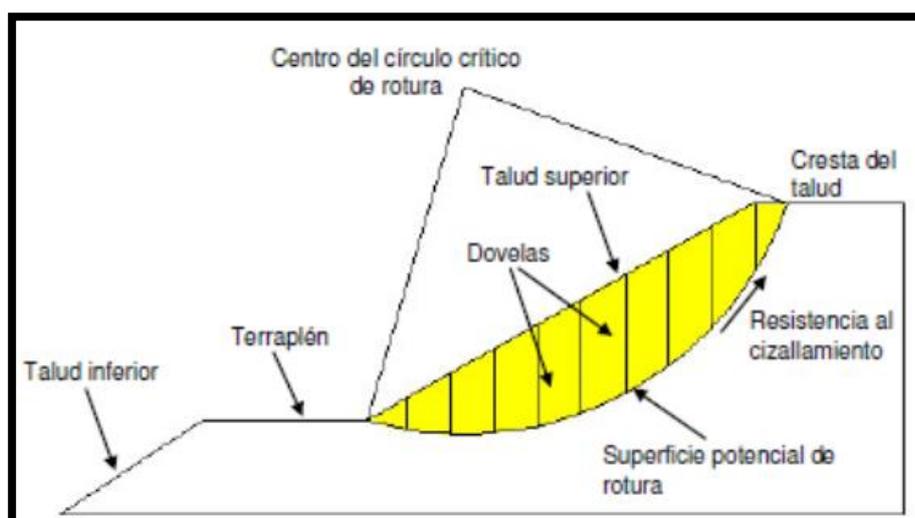
permite considerar la acción de las presiones intersticiales, los empujes que actúan sobre el talud, las diferentes características y en algunos casos son aplicables a cualquier forma de superficie de rotura (Herrera, 2003).

En lo que difieren los métodos de dovelas es en las fuerzas que actúan sobre las paredes de las fajas. Tal es así, que se conocen métodos aproximados como el método ordinario o de Fellenius, que consideran las fuerzas entre tajadas; los métodos simplificados de Bishop y de Janbu, que suponen que las fuerzas laterales entre dovelas son horizontales. Otros métodos de cálculo por dovelas son los métodos precisos, como los de Morgenstern-Price y Spencer, que utilizan una función para calcular las fuerzas entre dovelas.

Herrera (2003), clasifica a los métodos de las dovelas o rebanas en:

- Métodos aproximados: Fellenius, Janbu y Bishop simplificado, representan esta clasificación que básicamente son los que no cumplen todas las ecuaciones de la estática.
- Métodos precisos o completos: Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso, cumplen todas las ecuaciones de la estática.

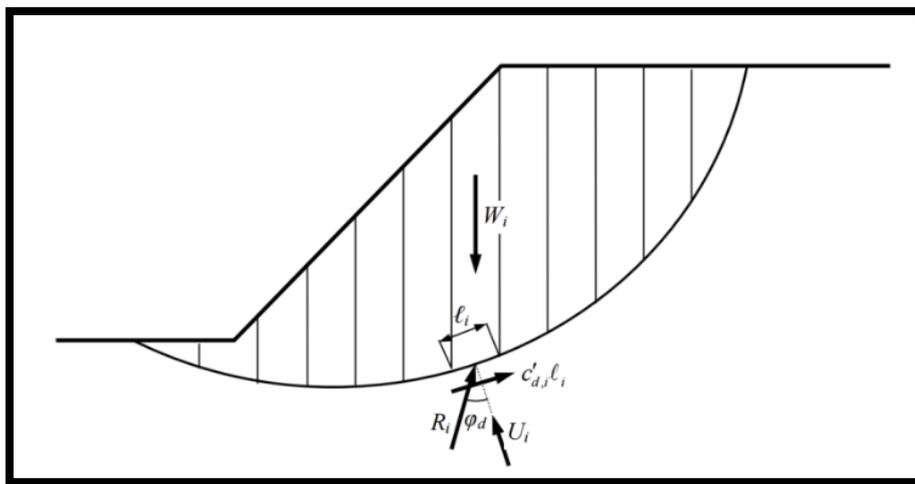
Figura 3 División de la masa deslizante en dovelas



Nota. Adaptado de Sackschewski, 2017, p. 35

Este método fue desarrollado con el objetivo de tener mayor precisión en cálculo del FS, para ello la masa de deslizamiento se divide en rebanadas verticales y cada una de ellas deberá satisfacer la condición de equilibrio. Entre las ventajas de este método se puede comentar que se tiene una mejor distribución de esfuerzos normales sobre la superficie de deslizamiento. Además, es aplicable a situaciones donde se tenga terreno heterogéneo. Para ello solo es necesario realizar una buena distribución de rebanadas. No obstante, la desventaja del método es que estáticamente es indeterminado (Alonso, 2005).

Figura 4 División de rebanadas para aplicar el equilibrio límite



Nota. Adaptado de Alonso, 2005

2.2.5. Litología

GonzalezdeVallejo (2003), sostiene que la geología define las características o propiedades del suelo o roca. Por lo tanto, para la caracterización de los macizos rocosos se cuenta con las siguientes clasificaciones:

2.2.5.1. GSI

Hoek & Brown (2002), "Han propuesto un índice geológico de resistencia GSI (Geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades"

Figura 5 Clasificación GSI, Hoek y Brown I

CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA		CONDICIÓN DEL FRENTE				
<p>Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.</p>		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
ESTRUCTURA						
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Nota. Adaptado de González de Vallejo et al., 2002 (Fig. 3.94)

Figura 6 Clasificación GSI, Hoek y Brown II

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

Nota. Caracterización de macizos rocosos en base a descripciones geológica

2.2.5.2. RQD

Deree(1967), RQD (rock quality designation), “se basa en la recuperación modificada de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo rocoso. Se cuenta solamente fragmentos iguales o superiores a 10 cm de longitud”.

$$RQD = \frac{\Sigma(\text{Longitud de fragmentos} \geq 10\text{cm})}{\text{Longitud total forada}} \times 100$$

Cuando no hay sondeos, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$RQD = 115 - 3.3J_v \text{ para } J_v > 4.5 \qquad RQD = 100 \text{ para } J_v \leq 4.5$$

J_v: número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m³. En la siguiente tabla se muestra la clasificación de R

Tabla 2 Clasificación de RQD

RQD	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Nota. “Índice de calidad de la roca RQD. Clasificaciones de los macizos rocosos según: Barton, Bieniawski, Hoek y Brown- 1967”

2.2.5.3. RMR

Bieniawski (1989), RMR (Rock Mass Rating), “es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando los ratings de cinco (5) parámetros: resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple, RQD (índice de calidad de la roca), frecuencia de las diaclasas (espaciamiento), agua dentro del macizo rocoso y condición de las diaclasas (abertura, persistencia, rugosidad y meteorización)”.

Tabla 3 Clasificación del macizo rocoso determinado del total de Ratings

Rating	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20
Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca Justa	Roca Mala	Roca muy Mala
Cohesión del Macizo Rcoso (Kpa)	400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Ángulo de Fricción Interna (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	<15

Nota. Adaptado de Universidad de los Andes, “Índice de calidad de la roca RQD. Clasificaciones de los macizos rocosos según: Barton, Bieniawski, Hoek y Brown”

2.2.6. Índice Q

Esta clasificación toma en cuenta el R.Q.D relacionándolo con diversos parámetros, que serán considerados a continuación y que están relacionados con la siguiente formula.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

RQD: Índice de calidad de la roca.

Jn: Número de familias de diaclasas.

Jr: Rugosidad de las superficies de las discontinuidades.

Ja: Alteración de las diaclasas.

Jw: Coeficiente reductor. Presencia del agua. SRF: Factor reductor de esfuerzo.

2.2.7. Criterio de Rotura de Mohr Coulomb

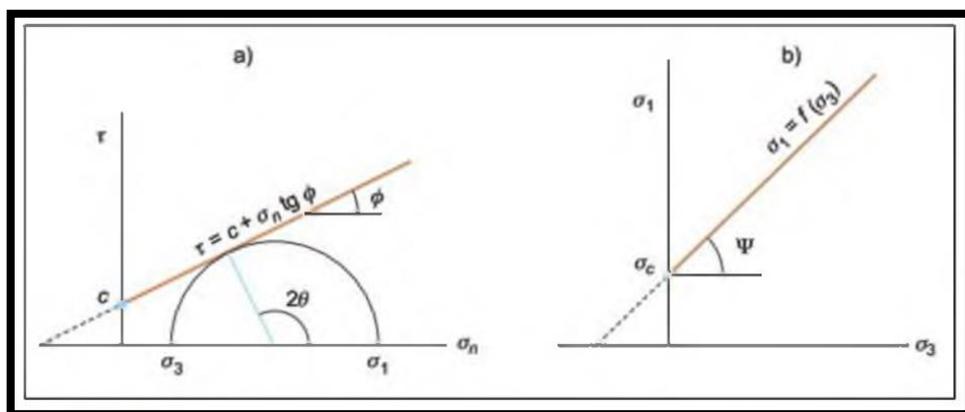
Según la teoría de Mohr los materiales se rompen debido a una combinación entre esfuerzo cortante y normal. Aprovechando esta teoría, Coulomb propuso un criterio de rotura para los suelos que relaciona tensiones efectivas y normales actuando en cualquier plano del suelo (GonzalezdeVallejo, 2003).

Esta relación se describe como:

$$\tau = c' + (\sigma_n - \mu)\tan(\varphi)$$

Donde τ es la resistencia al corte, c' la cohesión efectiva, σ_n la tensión normal, μ presión intersticial y φ el ángulo de fricción. (Figura 20)

Figura 7 *Envolvente de Mohr Coulomb (a) esfuerzos tangenciales vs normales. (b) esfuerzos principales*



Nota. Adaptado de Ferrer, 2003

La ecuación anterior representa una recta que normalmente es conocida como envolvente de falla o de rotura. En la siguiente imagen se pueden apreciar algunos aspectos muy importantes.

2.2.8. Criterio de Rotura de Hoek – Brown

Hoek & Brown (2002), este criterio Hoek-Brown, inicialmente, fue propuesto para el diseño de excavaciones subterráneas en macizos rocosos resistentes. A diferencia de Mohr Coulomb, este considera un criterio de rotura no lineal y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

Donde σ_1, σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor respectivamente, σ_{ci} la resistencia a compresión simple m_i y la constante de material para macizo rocoso. La resistencia a compresión simple se podrá calcular haciendo el valor de $\sigma_3 = 0$; mientras que la resistencia a tracción ($\sigma_1 = 0$ y $\sigma_3 = \sigma_1$) estará dada por la siguiente expresión:

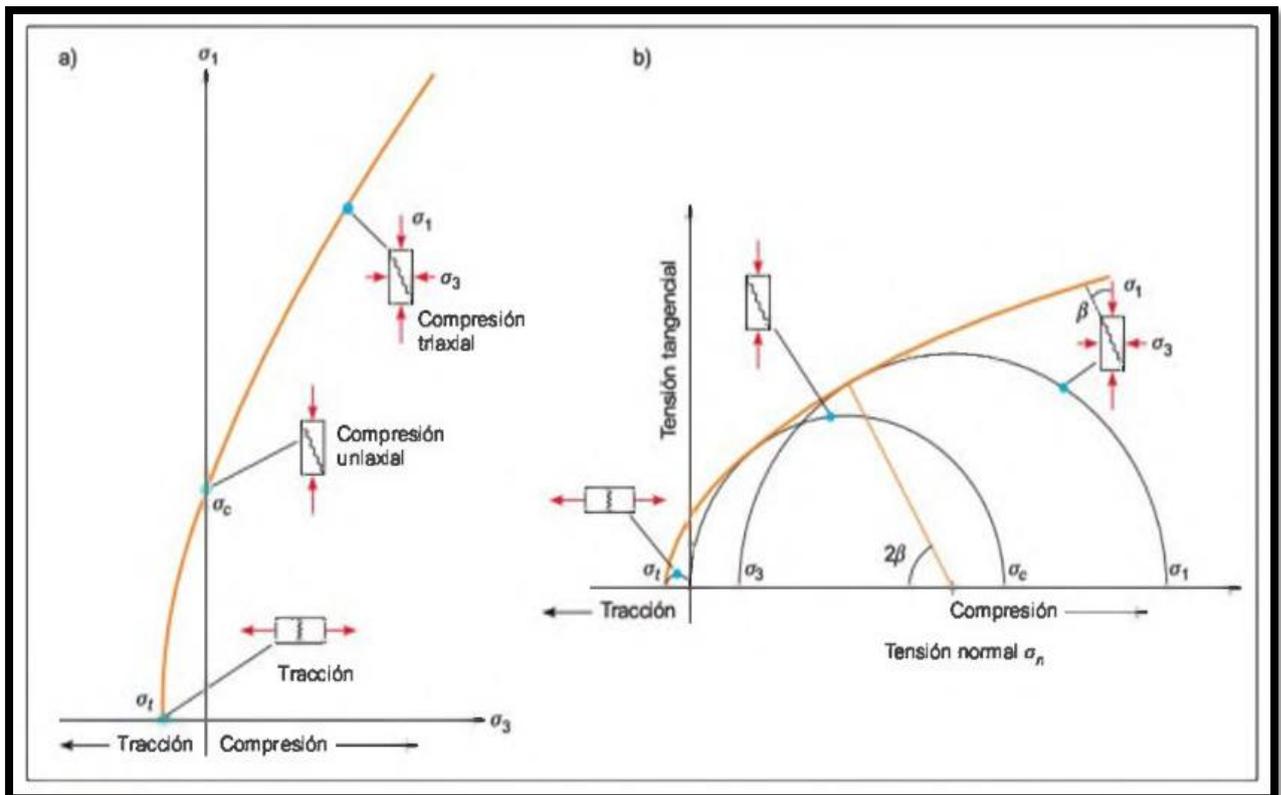
$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \sigma_{ci} (m_i - \sqrt{m_i^2 + 4})$$

Figura 8 Valores para m_i para roca intacta

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone 19 —— Greywacke —— (18)	Siltstone 9	Claystone 4
		Organic		—— Chalk —— 7 —— Coal —— (8-21)		
	Non-Clastic	Carbonate	Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8	
		Chemical		Gypstone 16	Anhydrite 13	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24	
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 25 - 31	Mylonites (6)	
	Foliated*		Gneiss 33	Schists 4 - 8	Phyllites (10)	Slate 9
IGNEOUS	Light		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
	Dark		Diorite (28)		Andesite 19	
		Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)		
		Norite 22				
	Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)	

Nota. Adaptado de Hoek, 2 000. Nótese que valores entre paréntesis son estimaciones

Figura 9 *Envolvente de Hoek-Brown (a) Esfuerzos principales. (b) Esfuerzo tangencial vs normal*



Nota. Adaptado de Ferrer, 2003

2.2.9. Definición de términos

Talud: Un talud es una pendiente de terreno, ya sea natural o creada por el hombre, con una inclinación que puede variar según las características del terreno y la estabilidad que se necesite.

Banco: Un banco es una sección horizontal de un yacimiento que se extrae en un nivel de profundidad específico. Imagina una serie de "escalones" gigantes en una mina a cielo abierto, donde cada escalón representa un banco.

Tajo Abierto: El tajo abierto es una técnica minera en la cual se realiza una excavación grande y al aire libre para extraer minerales valiosos. Es como una enorme cantera a cielo abierto, donde se van retirando capas de tierra y roca para llegar al yacimiento mineral.

Cohesión: Se refiere a la fuerza que mantiene unidas las partículas de un material. En el contexto de la geotecnia y la mecánica de suelos, es crucial para entender cómo se comportan los suelos y las rocas bajo diferentes condiciones. Por ejemplo, en un talud, la cohesión ayuda a prevenir deslizamientos.

Ángulo de Fricción: El ángulo de fricción es la medida de la resistencia al deslizamiento entre dos superficies en contacto. En términos geotécnicos, se refiere al ángulo en el cual un material granular, como la arena, comienza a deslizarse sobre sí mismo bajo una carga.

Peso Específico: Denominado también densidad relativa, es la relación entre el peso de un volumen específico de una sustancia y el peso del mismo volumen de agua a 4°C. Es una medida que refleja la "pesadez" de un material en comparación con el agua.

Falla: Una falla en talud ocurre cuando una pendiente se desestabiliza y parte del material se desliza hacia abajo, ya sea debido a factores naturales o humanos. Pueden ser causadas por varios factores como lluvias intensas, erosión, actividad sísmica o incluso por actividades de construcción.

Nivel Freático: Es la profundidad a la cual el suelo o la roca están completamente saturados de agua.

Piezómetros: Los piezómetros son instrumentos utilizados para medir la presión de los líquidos en el interior del suelo o las rocas. Se usan mucho en geotecnia e ingeniería civil para monitorear el nivel freático y la presión de agua en diferentes profundidades.

Pseudoestático: En minería, el análisis pseudoestático se refiere a un método para evaluar la estabilidad de taludes y otras estructuras bajo condiciones sísmicas. Básicamente, se incorpora una "fuerza sísmica" como una fuerza horizontal adicional en los cálculos, simulando los efectos de un terremoto.

Equilibrio Límite: Se refiere al estado en el cual una estructura o material está a punto de fallar o deslizarse debido a las fuerzas aplicadas.

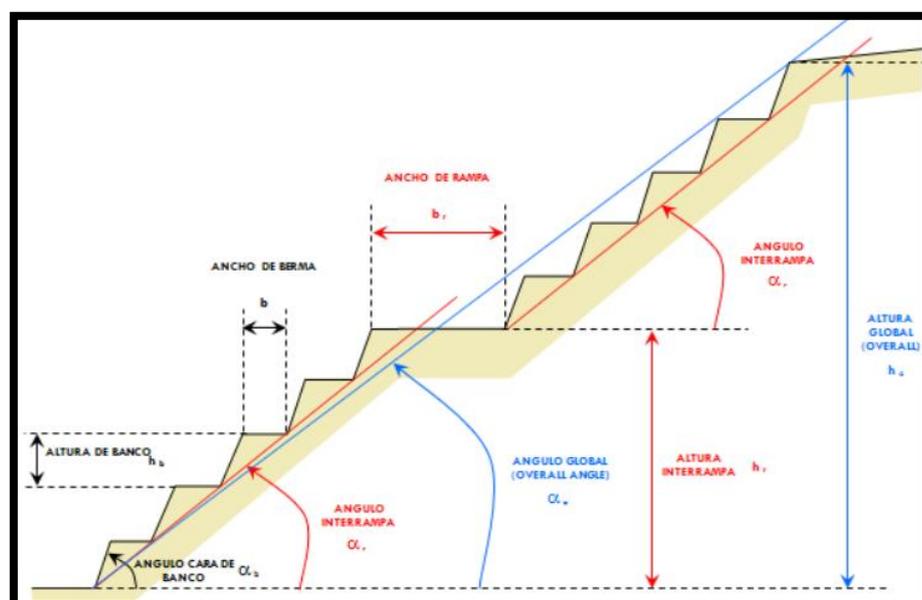
Productividad: La productividad mide la eficiencia con la que se utilizan los recursos para producir bienes o servicios. Básicamente, es una relación entre la cantidad producida y los recursos empleados, como el tiempo, el dinero, y el trabajo.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Parámetros Geométricos

Se conoce como parámetro al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación. Sin duda uno de los parámetros geométricos más significativos de la explotación de un tajo son los ángulos de talud, ya que en la explotación misma una de las restricciones operacionales más relevantes es garantizar la estabilidad de cada uno de los sectores comprometidos, para ello se requiere mantener una geometría de diseño óptima, es decir que permita un máximo beneficio económico en función de un mínimo factor de riesgos de que ocurra algún siniestro geomecánico (Vallejo, 2002).

Figura 10 Parámetros geométricos de un talud de mina



Nota. Adaptado de Galdámez, Vásquez, & Fiebig 2010

2.3.1.1. *Altura de banco*

Se refiere a la distancia vertical entre la cresta y la pata del banco. Esta medida es crucial en el diseño de minas y otras estructuras, ya que afecta la eficiencia y seguridad de las operaciones (Mendoza, 2014).

2.3.1.2. *Ancho de Banco*

“El ancho de banco es la distancia entre cresta de banco a cresta del banco inferior” (Mendoza, 2014).

2.3.1.3. *Ancho de Berma*

El ancho de berma es la distancia entre el pie del banco y la cresta del mismo inmediatamente inferior. Esta distancia queda definida por el volumen de los derrames producidos por las inestabilidades (Mendoza, 2014).

2.3.1.4. *Ángulo de Talud de Banco*

Se refiere a la inclinación de la cara del banco en una mina. Este ángulo es crucial para la estabilidad y seguridad de la operación minera, ya que una inclinación incorrecta puede llevar a deslizamientos o fallos en el banco. Se calcula como el cociente entre la altura del banco y la tangente del ángulo de la cara del banco (Mendoza, 2014).

2.3.1.5. *Altura Interrampa*

Esta altura está representada como la altura máxima o total entre rampas. Este valor es determinado de acuerdo a las características geotécnicas de los materiales.

2.3.1.6. *Ángulo Interrampa*

Es el ángulo que forma la horizontal y la línea que une todas las “patas” de los bancos. Este valor no corresponde a la inclinación geotécnica del talud; sin embargo, es empleado para la planificación minera.

2.3.1.7. *Ancho de Rampas*

Este valor está definido por aspectos operacionales como el tamaño de los equipos. Debe garantizar la libre transitabilidad de las máquinas. El artículo 262° del Decreto Supremo N° 024-2016-EM exige construir rampas de anchos mínimos de 3 veces el ancho del vehículo

más grande de la mina para el caso de vías de doble sentido; mientras que, de 2 veces de ancho para vías de un solo sentido. (DS-024-2016-EM)

2.3.1.8. *Ángulo Global*

Es el ángulo conformado por la horizontal y la línea imaginaria que une la pata del banco más inferior con la cresta del banco más superior.

2.3.1.9. *Altura Total*

Corresponde a la altura total del tajo, medido desde la pata del banco más inferior hasta la cresta del banco más superior.

Las alturas de los bancos, básicamente, se definen por criterios operativos. Pues se busca aprovechar el mayor porcentaje de eficiencia de los equipos de excavación.

Recalde (2 006) establece que las alturas de bancos de 10 m permiten aprovechar distintas ventajas como: mayor control sobre fragmentación, rapidez en ejecución de rampas entre bancos, menores niveles de vibraciones y mejores condiciones para restauración y tratamiento de taludes finales.

Por otro lado, los anchos de bermas se definen de acuerdo al criterio de Ritchie (1963), el cual fue modificado por Evans y Call (1992).

$$W = 0.2H + 2.0, \text{ para } H < 9.0\text{m}$$

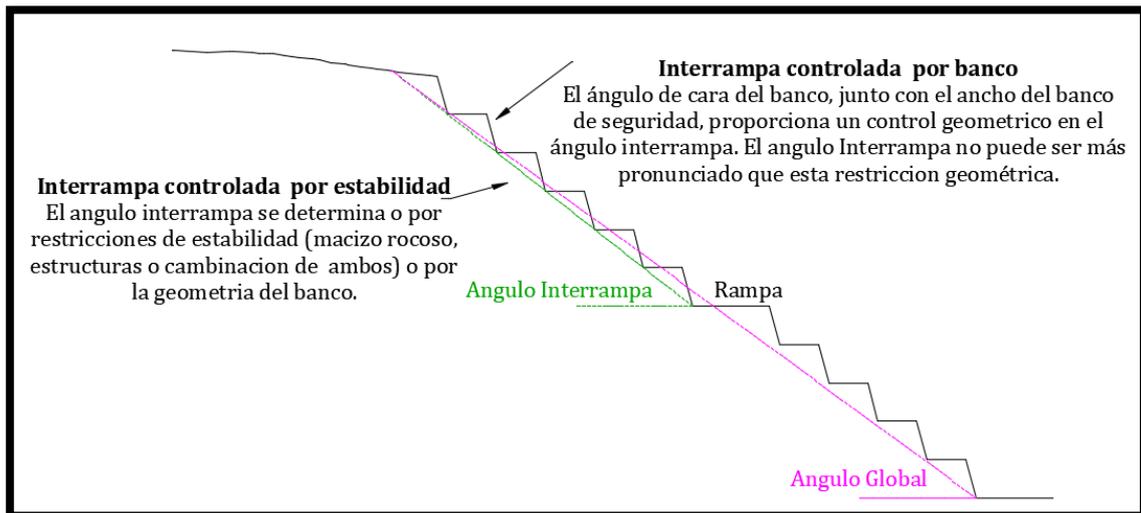
$$W = 0.2H + 4.5, \text{ para } H > 9.0\text{m}$$

Donde:

H = Altura de banco

El ángulo de talud del banco, junto con el ancho del banco de seguridad, proporciona un control geométrico en el ángulo inter-rampa. “El ángulo interrampa no puede ser más pronunciado que esta restricción geométrica. El ángulo inter-rampa se determina, por restricciones de estabilidad (macizo rocoso, estructura o una combinación de ambos) o por la geometría del banco”.

Figura 11 Gráfico de controles del ángulo de talud inter rampa



Nota. Adaptado Call & Savelly, 1990; Call, 1992

2.3.2. Taludes

Se denomina talud a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal. Los taludes pueden ser clasificados en taludes naturales, que básicamente son las pendientes naturales, y en taludes contruidos que pueden ser los terraplenes o los cortes de terreno (Gercovich, 2015).

2.3.3. Análisis de Estabilidad de Taludes

Das (2015), define la estabilidad de taludes como el proceso de realizar cálculos para comprobar la seguridad de los taludes naturales, taludes de excavaciones y terraplenes compactados, el cual también implica que se determine y se compare el corte que se desarrolla a lo largo de la superficie de ruptura más probable. Este análisis resulta una tarea compleja ya que la evaluación de las variables tales como la estratificación de suelo y sus parámetros de resistencia son trabajos que hacen de esta tarea formidable. Para Aguilar & Zuñiga (2015), los estudios que se realizan al evaluar la estabilidad de un talud serian: especificar la resistencia del suelo, implantar el perfil del talud y hallar las condiciones de filtración y agua subterránea, así como, calcular el factor de seguridad, este último determinará la superficie de falla crítica.

Para evaluar la estabilidad de un talud es necesario conocer la geometría de un talud, parámetros geológicos, la presencia de agua, presencia de grietas de tensión, dinámica por efectos sísmicos, propiedades del suelo; los cuales no son fáciles de cuantificar y para el cual se requiere un buen análisis para obtener resultados satisfactorios (Condezo Luna, 2019).

2.3.4. Estabilidad Física de taludes

La estabilidad de taludes en una explotación a cielo abierto tiene una importancia fundamental en lo que se refiere a la seguridad y rentabilidad de la misma, debiéndose considerar en las etapas iniciales del proyecto. Los factores más importantes que afecten a la seguridad de las operaciones son los siguientes:

- Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
- Colapso parcial de un banco.
- Colapso general del talud de la excavación.

Las recomendaciones, con relación al control y eliminación de tales riesgos, implican la adopción de las siguientes medidas:

- Diseño adecuado de bancos y plataformas para retener los desprendimientos de materiales.
- Determinación y mantenimiento adecuado de taludes generales seguros.
- Control de voladuras en el perímetro de la excavación, de cara a reducir los daños en el macizo remanente.
- Aplicación de sistema de drenaje de los macizos para reducir los esfuerzos originados por el agua (presiones neutras).
- Saneamiento sistemático y efectivo de materiales colgados.

2.3.5. Condición Estática

Hace referencia a la evaluación de estabilidad de los taludes en condiciones normales, los cuales permitirán una operación segura.

2.3.6. Condición Pseudoestática

Es la evaluación de estabilidad en la cual se toma en consideración la condición.

Así mismo para tal consideración es importante mencionar que existe una zonificación sísmica determinada que indica: El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, la zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica (Norma Técnica E.030).

Figura 12 Zonificación Sísmica del Perú



Nota. Adaptado de Norma Técnica E.030, Diseño Sismorresistente

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 4 Factores de Zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Nota. Adaptado de Norma Técnica E.030, Diseño Sismorresistente

2.3.7. SLIDE V 6.0

Actualmente, existe una infinidad de herramientas computacionales para el análisis de estabilidad de taludes. En esta oportunidad se eligió el software SLIDE versión 6.0 distribuido por la empresa Rocscience. El programa calcula los factores de seguridad para distintas geometrías, dibujadas por el propio usuario o importadas desde algún programa de dibujo. Se pueden analizar tanto suelos como rocas, por ello, el software incluye los criterios de rotura": Mohr-Coulomb; Hoek y Brown (1980); Hoek y Brown Generalizado (1995); Barton y Brandis. Por otro lado, incorpora las funciones de anisotropía y otras variaciones como condiciones de sobrecarga, estructuras de contención, suelo grampeado y geotextiles. Por otro lado, se puede seleccionar entre diversos métodos de análisis, tales como: Fellenius, Bishop Simplificado, Jambu generalizado y corregido, Spencer, Morgentern-Price, entre otros. Además, se pueden realizar análisis estadísticos de sensibilidad y probabilísticos.

2.3.8. Napa Freática o Nivel Freático

Las acumulaciones de aguas subterráneas de escasa profundidad son denominadas napas o capas freáticas. De estos acuíferos superficiales el hombre ha hecho uso para satisfacer su alimentación a través de fuentes de agua. Hemos de saber que estas napas freáticas tienen como contenedor o limitantes dos capas, una inferior, zona profunda, que es impermeable y la zona superior que puede o no ser impermeable. A estos límites se les conoce como nivel freático. Estas características de las napas freática están firmemente relacionadas con la impermeabilización y el mundo de la construcción. Es por ello que al

realizar una excavación es primordial realizar los estudios requeridos para examinar la profundidad de estas y si los trabajos son factibles (Kactus, 2022).

2.3.9. Factor de Seguridad

Hoek & Brown (2002), indica que el Factor de seguridad está definido como la relación entre las condiciones reales del talud y las condiciones que pueden presentar una falla. También se puede decir que es el cociente de la cohesión del terreno o el ángulo de rozamiento del talud actual y cohesión o ángulo de fricción requerido para que el talud pueda ser estable. Como también puede decirse que es la división de los momentos resistentes al deslizamiento y los que lo inducen.

2.3.10. Resistencia al corte

La resistencia al corte de un suelo se define como la resistencia por unidad de área que este ofrece a la falla o deslizamiento sobre un plano dentro de él (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

2.3.11. Producción

La producción es un proceso que involucra una serie de operaciones destinadas a transformar los materiales de una forma determinada para lograr un producto final deseado. Además, se refiere a la adición de valor a un bien o servicio a través de esta transformación. El objetivo principal de la producción es obtener y modificar los bienes de manera que sean adecuados para satisfacer las necesidades de los consumidores. Ejemplos de actividades de producción incluyen la extracción de minerales, la explotación de un pozo petrolero, el ensamblaje de un automóvil, entre otros. En esencia, la producción implica la creación y mejora de productos y servicios para su posterior distribución y consumo (N. Caba, 2016).

2.3.12. Productividad

La productividad es un indicador que mide la eficiencia productiva por cada factor de recurso usado, y conseguir el mayor rendimiento posible usando una cantidad mínima de recursos. Entonces cuanto menor sean los recursos necesarios para la producción de una misma cantidad, la productividad y la eficiencia serán mayores (Delsol, 2020).

2.3.13. Estructuras Geológicas

En los suelos residuales y rocas; la estratigrafía y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corrientes de agua subterránea. La presencia de estos planos de debilidad buzando hacia el frente del talud supone la existencia de planos de rotura y deslizamientos potenciales, y su orientación y disposición condiciona los tipos, modelos y mecanismos de inestabilidad (GonzalezdeVallejo, 2003).

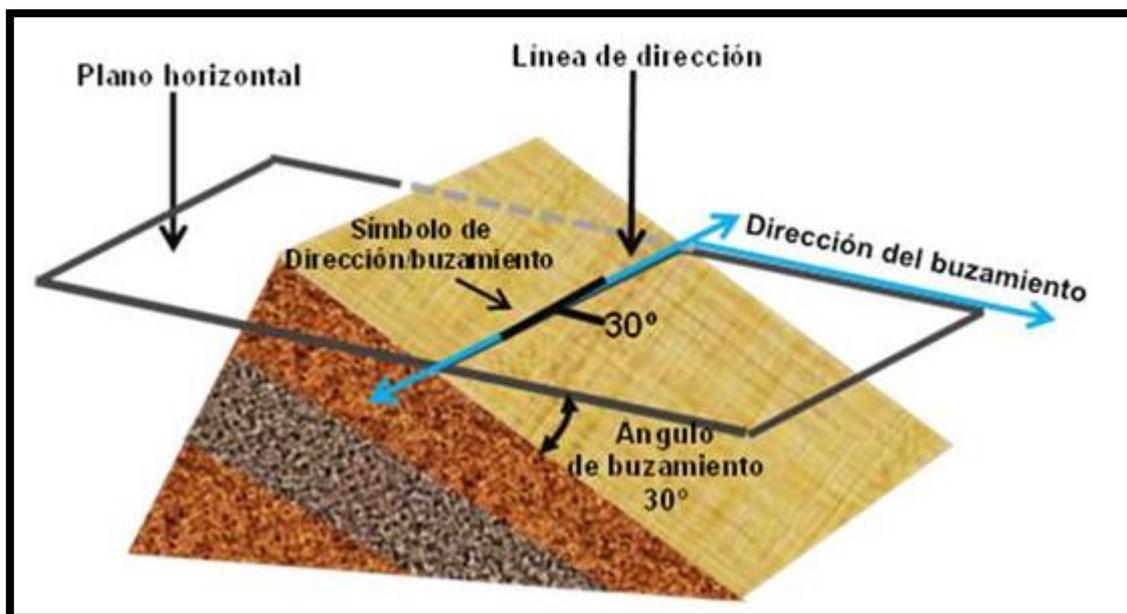
2.3.13.1. Buzamiento

Ragan (1987), Conocido también como inclinación o mateo, es el ángulo que forma respecto de la horizontal de un plano medido este en una dirección estrictamente perpendicular a la dirección del plano. En inglés denominado (dip) es decir, es el ángulo de inclinación máxima que representa ese plano. Sus valores varían de 0° a 90° (horizontal a vertical).

2.3.13.2. Dirección de Buzamiento

Ragan (1987), "Se define como la dirección respecto al norte geográfico de la representación horizontal de la línea de máxima pendiente de un plano inclinado. En inglés denominado dip direction".

Figura 13 Dirección de Buzamiento



Nota. Figura elaborada con datos tomados de “Ciencias de La Tierra una introducción a la Geología Física” por Tarbuck y Lutgens (2005).

2.3.14. Tipos de Rotura de las Estructuras Geológicas

2.3.14.1. Falla Circular

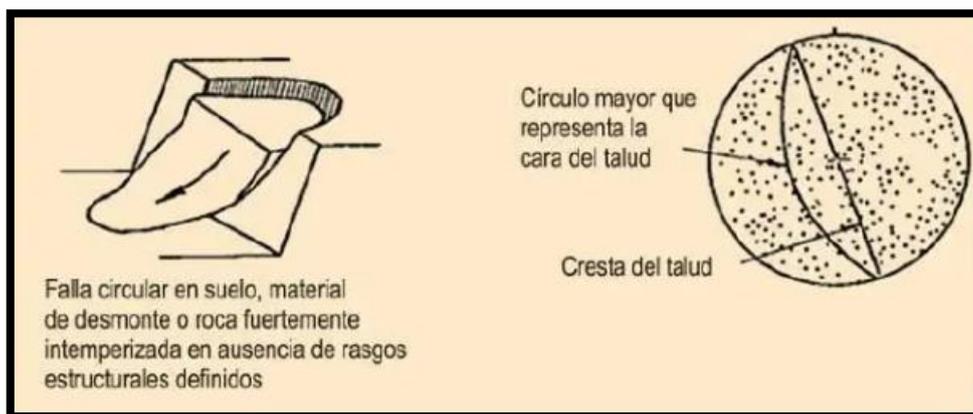
Gonzalez de Vallejo (2003), “considera que este tipo de cizallamiento circular se produce en las rocas dúctiles sin zonas débil y que no presentan orientación crítica, pero se pueden combinar algunas veces con un plano de deslizamiento”. Este tipo de rotura se presenta en las siguientes formas:

- Talud pronunciado
- Talud suave

Posee características similares a las roturas de suelos, solo puede ocurrir en macizos altamente fracturados y alterados, donde el tamaño de bloque sea tan pequeño en relación al desmonte, que se comporte como un suelo granular.

En ocasiones, en macizos muy fracturados la unión de roturas a través de múltiples discontinuidades configura una rotura de tipo circular.

Figura 14 *Falla Circular*



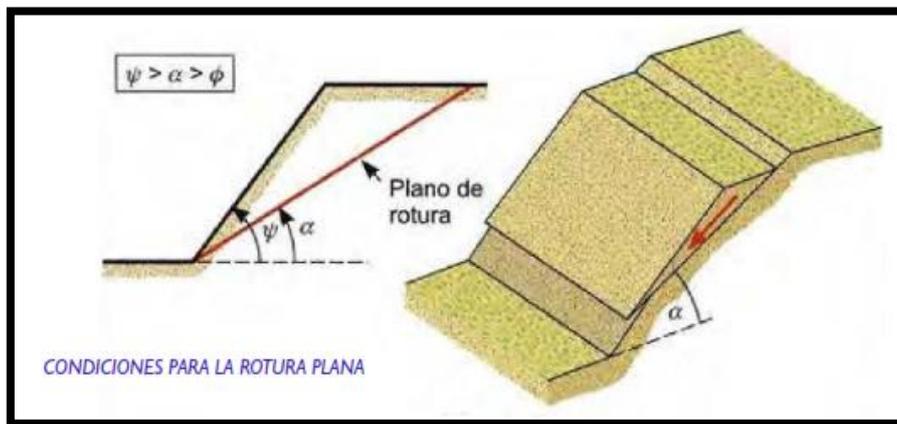
Nota. Figura elaborada por Goodman -Bray, 1977

2.3.14.2. Falla Plana

Gonzalez de Vallejo (2003), “sostiene que el deslizamiento de un bloque se produce a lo largo de un plano caracterizado por una familia de discontinuidades que presenta una misma

dirección que el talud y una pendiente de mismo sentido, pero menos inclinada que la del talud”. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección. Cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe estar descalzada por el talud ($\psi > \alpha$) y su buzamiento debe ser mayor que su ángulo de rozamiento interno ($\alpha > \phi$).

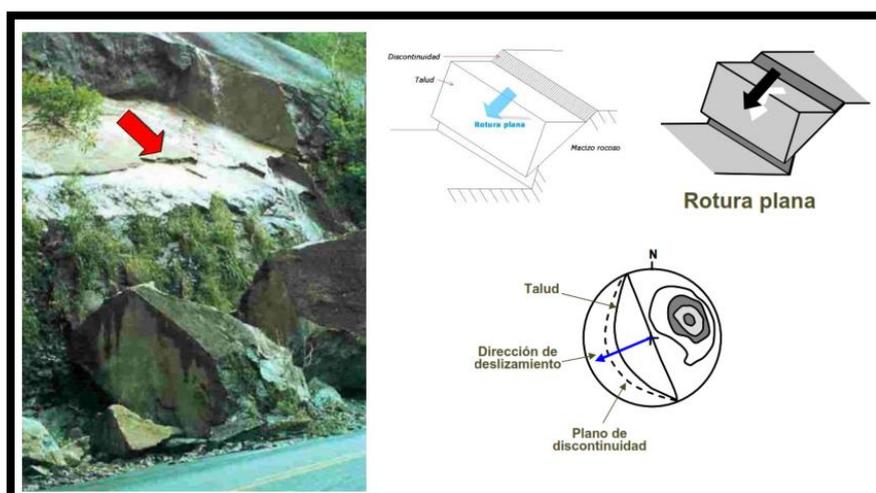
Figura 15 *Falla Plana*



Nota. Figura elaborada por Goodman -Bray, 1977

En taludes excavados, paralelos a la estratificación, dan lugar a roturas planas por deslizamiento de estratos, este tipo de rotura es típica en macizos lutíticos o pizarrosos, generándose los planos de rotura a favor de la esquistosidad.

Figura 16 *Diagrama de Falla Planar*

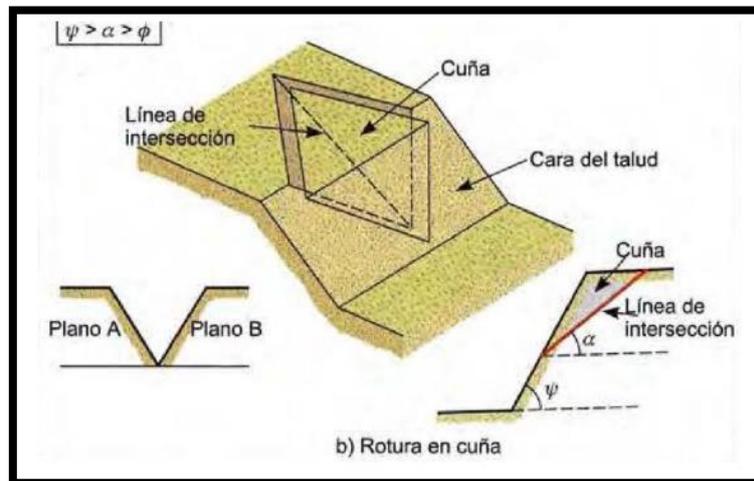


Nota. Figura elaborada por Goodman -Bray, 1977

2.3.14.3. Falla en Cuña

Gonzalez de Vallejo (2003), "asimismo los autores consideran que el deslizamiento de un bloque se produce a lo largo de una de sus aristas que es la recta de intersección de dos planos definidos por dos familias de discontinuidades que interceptan ese bloque.

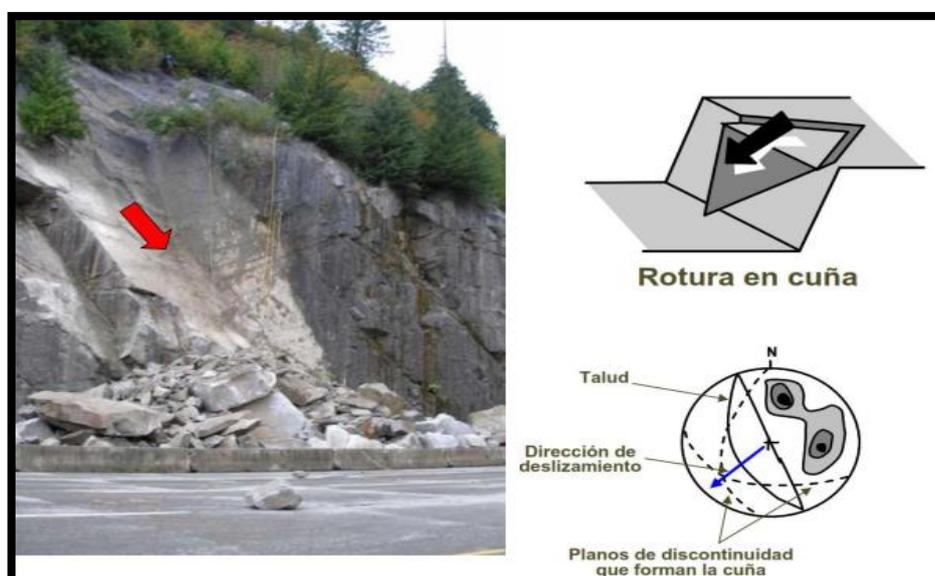
Figura 17 Rotura en Cuña



Nota. Figura elaborada por Goodman -Bray, 1977

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección.

Figura 18 Rotura en Cuña



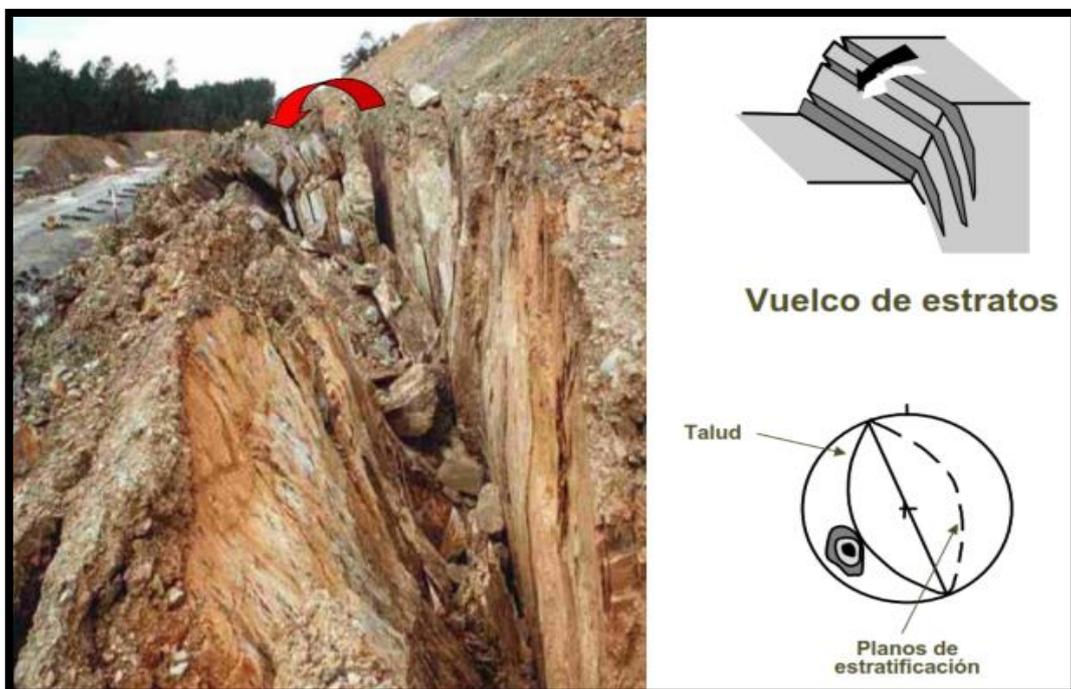
Nota. Figura elaborada Goodman -Bray, 1977

2.3.14.4. *Falla en Vuelco*

GonzalezdeVallejo (2003), “es el caso donde una familia de discontinuidades de orientación preferencial, está caracterizado por una misma dirección de pendiente que el talud y un sentido opuesto”.

Se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o sub paralela a mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí. Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento.

Figura 19 *Falla por Vuelco*



Nota. Figura elaborada por Goodman -Bray, 1977

2.3.15. *Mecánica de Suelos*

2.3.15.1. *Clasificación de Suelos*

Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de forma concisa las

características generales de los suelos, que son infinitamente variadas, sin una descripción detallada. En la actualidad, dos elaborados sistemas de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles. Se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En Estados Unidos, el sistema AASHTO es utilizado principalmente por los departamentos de carreteras estatales y del condado, mientras que los ingenieros geotécnicos normalmente prefieren utilizar el Sistema Unificado.

En este capítulo aprenderemos el procedimiento de clasificación de los suelos utilizando el AASHTO y los sistemas unificados (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015).

2.3.16. Mecánica de Rocas

La Mecánica de Rocas es una disciplina que aborda el estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamientos de las rocas. Para ingenieros civiles y geólogos, el término "roca" puede tener diversas consideraciones según su uso, características y forma de excavación (INGEOTECNIA, s.f.).

2.3.17. Geotecnia

Es la rama de la geología y a su vez, recibe aportes de la ingeniería civil (con la que se entrelaza) que se ocupa de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de materiales naturales -como rocas- que forman la corteza terrestre que participan en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería civil, como carreteras, ferrocarriles, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades de vivienda, sitios de confinamiento y edificios en general. El conocimiento exacto de las propiedades mecánicas del suelo y las condiciones ambientales y físicas, donde se pretende construir, son el mejor medio de prevención de los desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y los seres humanos que los habitan (Sánchez, 2017).

2.3.18. Geomecánica

La geomecánica es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos que conforman las rocas de formación. Esta disciplina está basada en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, que relacionan el comportamiento de la formación bajo los cambios de esfuerzo producto de las operaciones petroleras de perforación y producción de pozos. La geomecánica utiliza resultados experimentales de campo y laboratorio conjuntamente con soluciones analíticas para resolver problemas particulares (Sánchez, 2017).

2.3.19. Deslizamientos

(Hoyos, 2001), término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte, pendiente debajo de masa de suelo o de roca. Esta misma se desliza a lo largo de una superficie de deslizamiento.

2.3.20. Talud

(Gercovich, 2015). Se denomina talud a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal. Los taludes pueden ser clasificados en taludes naturales, que básicamente son las pendientes naturales, y en taludes construidos que pueden ser los terraplenes o los cortes de terreno.

2.3.21. Análisis Crítico

(Araujo, 2012). El análisis crítico trata en gran medida de verificar si un estudio cumple ciertos criterios o condiciones metodológicas deseables. Existen múltiples listas de chequeo que suelen utilizarse para guiar el análisis, considera determinar adecuadamente el objeto a estudiar, su aplicación técnica sobre el tema y definirla bajo un análisis exhaustivo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la Investigación

La presente investigación corresponde a un enfoque **cuantitativo**, puesto que considera aplicaciones numéricas para determinar resultados requeridos para la presente investigación.

3.2. Nivel de Investigación

La investigación es de nivel **descriptivo y explicativo** al realizar una descripción detallada de las posibles soluciones generadas de las bases teóricas, acerca de un adecuado análisis de estabilidad de taludes, que sea propicio para justificar las hipótesis inicialmente planteadas.

Además, el alcance explicativo se da porque la presente investigación busca determinar un dimensionamiento adecuado para garantizar la estabilidad de taludes y optimizar la productividad. Haciendo uso adecuado de las metodologías presentadas. Para tal efecto se consideran variables dependientes e independientes, las cuales ayudarán a dar solución a los problemas planteados.

3.3. Diseño de Investigación

La investigación es de carácter **no experimental**, pues esta investigación recopila información descriptiva en su contexto natural para posteriormente analizarla y determinar las influencias que esta pueda acusar.

3.4. Población, Muestra y Muestreo

3.4.1. Población

Para la presente investigación la población es la Unidad Minera Apumayo.

3.4.2. Muestra

La muestra es de tipo no probabilística, para Hernández (2014), en este tipo de muestra, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que **depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores** y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (p. 176)

Para tal efecto la muestra está constituida por el tajo Apumayo 1 zona norte.

3.4.3. Muestreo

Para el muestreo se realizaron distintos procesos que inician con la determinación de material superficial mediante calicatas, posteriormente en función de la necesidad se realizan perforaciones geotécnicas orientadas para la obtención adecuada de cores representativos, de tal forma que, mediante ensayos de mecánica de rocas y suelos, se pueda determinar las características del material y ser procesadas adecuadamente haciendo uso el software Slide.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Captura de Información

3.5.1. Técnicas de Captura de Información

El método de recolección de datos mediante observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías (Hernández, 2014, p. 252).

Para esta investigación, la observación, se hará a través de la toma de muestras y registros de estudios geotécnicos realizados en el área de influencia del estudio, así como los distintos mapeos y perforaciones geotécnicas realizadas para tener información más confiable sobre el comportamientos y propiedades geotécnicas de los especímenes obtenidos.

3.5.2. Instrumentos de Captura de Información

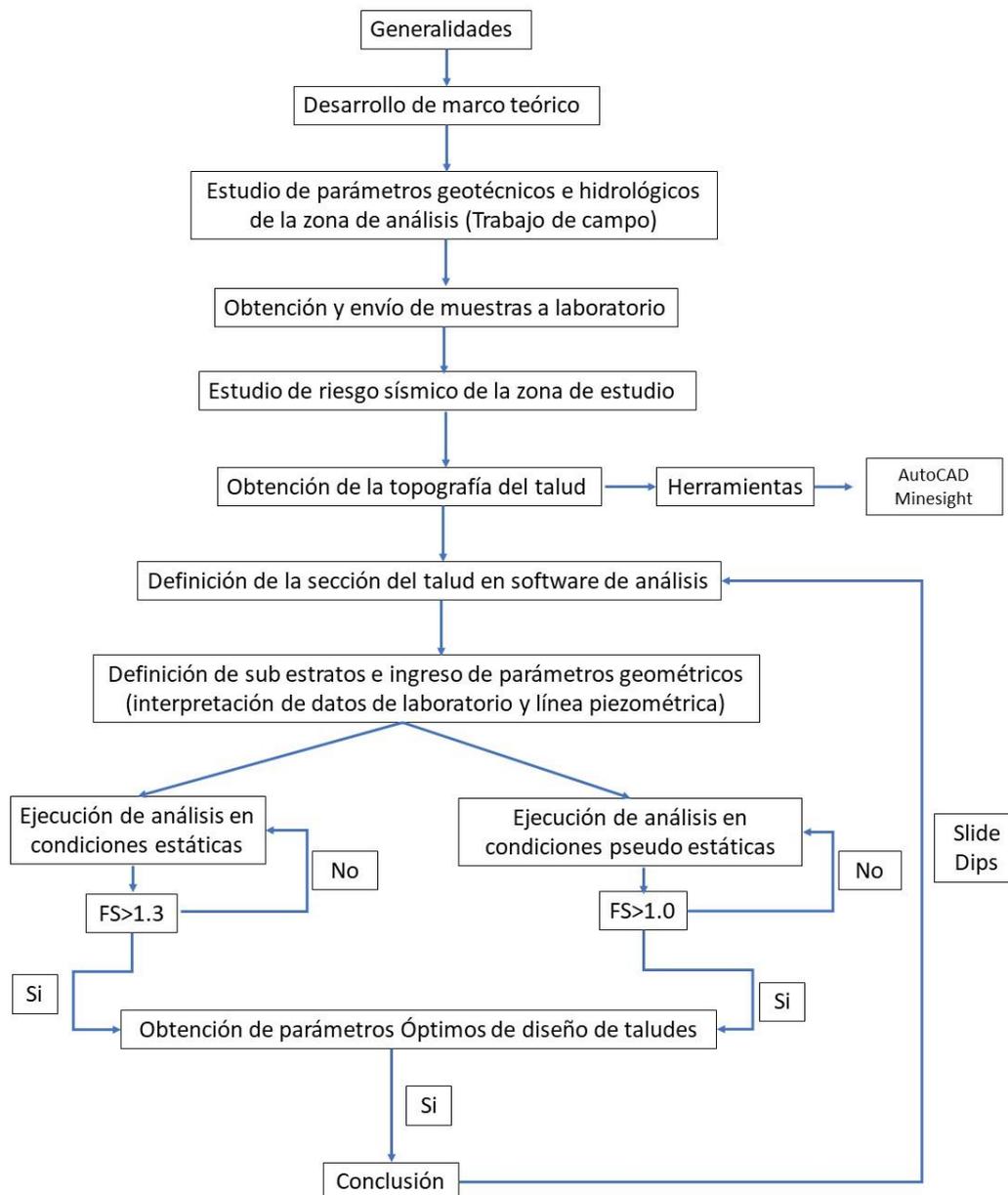
Se usaron los formatos de mapeo geotécnico RMR y ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

3.6. Procesamiento de Datos

Con la información recolectada obtenida se procedió a evaluar y analizarla tecnológica y prácticamente, de forma que el dimensionamiento de los parámetros geométricos sea adecuada, y garantizar la estabilidad de taludes en el tajo Apumayo 1, es así que el procesamiento de la data obtenida se generó mediante programa y herramientas informáticas especializadas en este tipo de análisis, como: Microsoft Excel, AutoCAD, Civil 3D, Minesight, Slide 6.0, Rock Data, Dips, Rocplane, Resultados que fueron analizados y posteriormente evidenciarlos mediante cuadros y gráficos estadísticos.

Es así que se muestra en la siguiente tabla la metodología aplicada para la ejecución de esta investigación.

Figura 20 Diagrama de metodología empleada



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

3.7. Presentación de Análisis de Resultados

Se efectuó el análisis de resultados a las variables investigadas con respecto a los dimensionamientos de parámetros geométricos y determinación del factor de seguridad para los taludes y analizar la afección que podría causar una inadecuada estabilización de taludes en la producción.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Recolección y Análisis de Datos

La recolección y análisis de datos fueron obtenidos de un análisis en campo y gabinete realizando cálculos para el dimensionamiento de los parámetros geométricos y uso del software determinando el factor de seguridad. De esta forma garantizamos la estabilidad de los taludes y evitamos la afección a la producción normal del tajo, es así que presentamos los elementos requeridos para realizar un análisis adecuado y detallado del dimensionamiento de los parámetros geométricos y garantizar un adecuado proceso operativo. Es así que consideramos datos como logueos geotécnicos obtenidos por perforaciones geotécnicas de 12 sondajes direccionados, mapeos geotécnicos obtenidos in situ en distintos tiempos y según la sectorización aplicada, clasificaciones geotécnicas efectuadas considerando el RMR, con ello se aplica la metodología de equilibrio límite, considerando el software SLIDE V 6.0, haciendo uso del seccionamiento mediante dovelas o rebanadas se determina adecuadamente los factores de seguridad óptimos para garantizar la estabilidad del tajo, así también para un análisis más certero se realizó la determinación de estos factores en condiciones estáticas y pseudoestáticas, concluyendo con un dimensionamiento adecuado según los datos obtenidos y garantizando la estabilidad sin comprometer el normal proceso del ciclo operacional.

4.1.1. Caracterización Geológica

Los afloramientos rocosos observados en los taludes del tajo Tika, corresponden a tobas blanquecinas argilizadas del Grupo Barroso (NQ-b-to), que se encuentran en contacto con brechas hidrotermales del grupo Tacaza (PN-t-bh), los depósitos cuaternarios están constituidos por suelos residuales (Q-re) y depósitos coluviales (Q-co), el control estructural del componente es de SW a NE.

Así mismo se ha podido diferenciar los siguientes tipos de unidades litológicas; las cuales se describen a continuación:

4.1.1.1. Andesita (AND)

Esta unidad se encuentra en el sector Norte y Sur-este del tajo, específicamente hacia el perímetro. Se caracteriza por presentar alteración propilítica con sectores argilizadas, son de textura porfírica, grano fino a medio, color gris verdoso.

4.1.1.2. Brecha (BX)

Esta unidad se ubica alrededor de la Brecha Hidrotermal. Se caracteriza por presentar, en mayor porcentaje, clastos andesíticos; Dentro de esta unidad, es posible encontrar, lentes de Brecha Hidrotermal y Freatomagmática.

4.1.1.3. Brecha Hidrotermal (BXH)

Esta unidad se emplaza hacia la parte central del Tajo (fondo). Se caracteriza por la presencia de moderada a fuerte oxidación, con algunas evidencias de fluidización, afanítica, de color gris brunáceo a pardusco. Dentro de esta unidad, es posible encontrar, lentes de Brecha Freatomagmática.

4.1.1.4. Tufo (TUF)

Afloramientos conspicuos de esta unidad se encuentran en el sector Sur del tajo (fuera del tajo), y consiste de capas de tobas. Se caracteriza por la presencia de fragmentos líticos de material volcánico, subredondeados y subangulosos; son de color marrón pardusco con tonalidades anaranjadas, de ligera a moderada meteorización, resistencia baja, moderadamente fracturada; fracturas de superficie ligeramente rugosas y relleno de limos.

4.1.1.5. Suelos residuales (Q-sr)

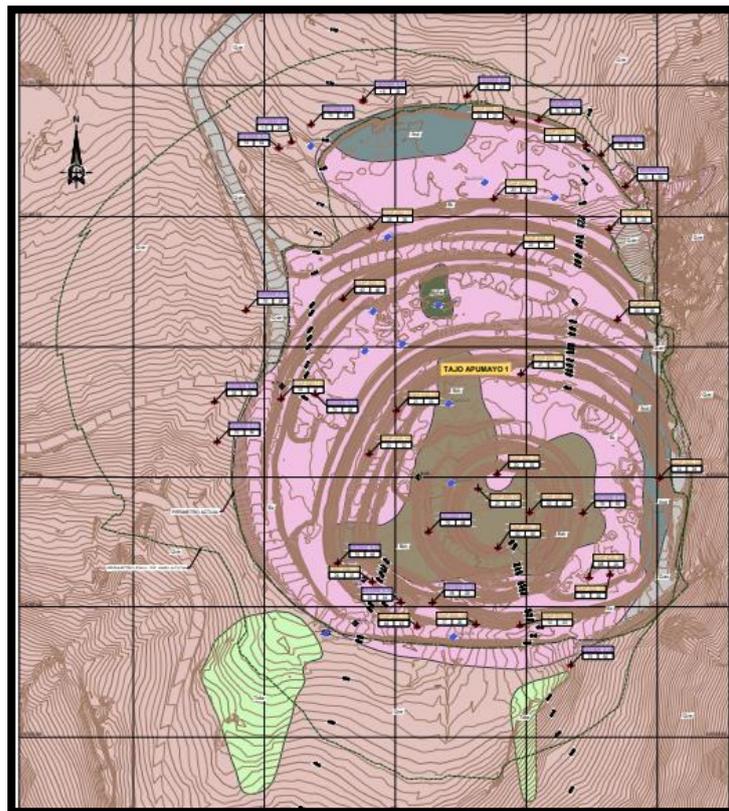
Esta unidad se encuentra fuera del área del tajo; principalmente consiste de arena limosa con grava y grava limosa. Arena limosa con grava de plasticidad baja, medianamente densa, húmeda, marrón a marrón claro, con gravas angulares a subangulares de tamaño máximo de 1.0". Grava limosa con arena, plasticidad nula, medianamente densa a densa, húmeda, marrón y gris, con gravas y bolones, angulares a subangulares.

4.1.1.6. Depósitos antropogénicos (Q-an)

Están conformados por mezcla heterogénea de grava, arena y finos. Entre otros, grava arcillosa/limosa de plasticidad baja, suelta a medianamente densa y densa, humedad baja y marrón claro. Arcilla gravosa de plasticidad baja, blanda a firme, humedad alta, marrón claro.

En la figura N° 21 se muestra la litología, así mismo estos planos serán adjuntados en los anexos.

Figura 21 Litología del área de estudio



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

El Tajo Apumayo 1 está sobre un yacimiento de Alta Sulfuración, donde se ha podido diferenciar los siguientes tipos de alteraciones:

Clay (C): Esta alteración está registrada en el sector Norte del tajo (borde exterior). Consiste de arcilla con arena, de plasticidad baja a media, rígida a muy rígida, húmeda, gris a gris oscuro. Gravas y bolones angulares a subangulares de tamaño máximo 4.5".

Alteración sílice clay (SC): Se ha presentado en los sondajes geotécnicos y en el modelo tridimensional del tajo observándose que esta alteración se presenta en profundidad y generalmente en contacto con las alteraciones sílice granular y Clay. De la descripción de estudios anteriores esta se caracteriza por presentarse en la matriz de roca con argilización de los fenos (caolinización), alterando a diversos tipos de arcillas.

Sílice Granular Compacto/Sílice Masiva (SGC/SM): Este tipo de alteración asociada, se encuentra hacia la parte central del tajo (fondo), y esta correlacionada principalmente con la BXH, BXFm. Son de color gris, gris brunáceo y marrón oscuro, ligera a moderadamente meteorizada, resistencia media a alta, moderadamente fracturada con sectores muy fracturadas; fracturas de superficie rugosa y relleno de óxidos.

Sílice Granular Deleznable (SGD): Esta alteración se caracteriza por su coloración blanquecina a pardusco; se ubica hacia el perímetro del tajo y está asociada a las unidades litológicas andesíticas y tobáceas. Presentan moderada a alta meteorización, resistencia media a baja, moderadamente fracturada con sectores muy fracturada; fracturas de superficie ligeramente rugosa a lisa y relleno de limos y arcillas.

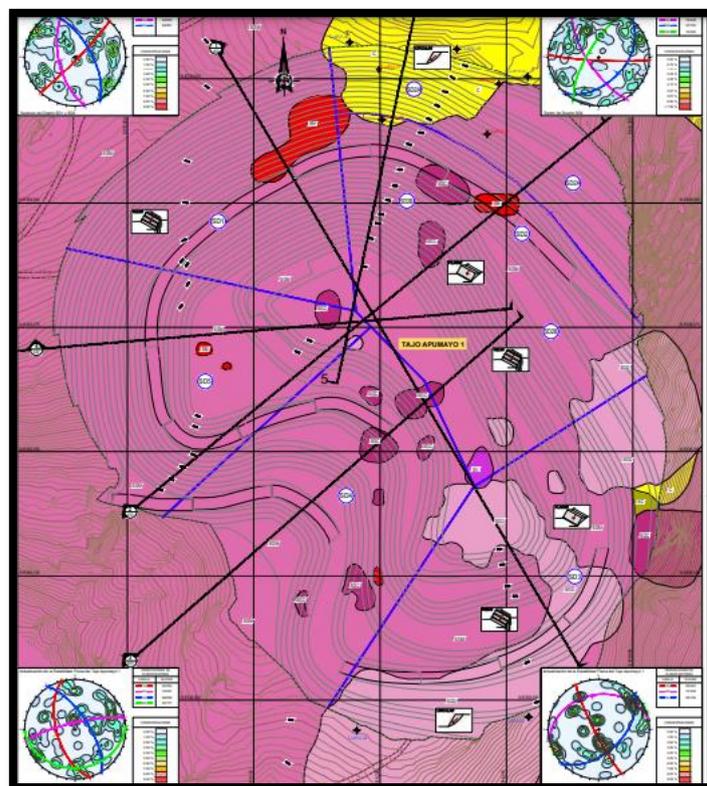
Sílice Granular Moderado (SGM): Se ubica alrededor de la alteración SGC/SM y es la de mayor predominancia en el tajo, y está asociado principalmente a la BX. Son de color marrón con sectores gris a gris claro y parduscas, moderadamente meteorizadas, resistencia media, ligera a moderadamente fracturada con tramos muy fracturadas; fracturas de superficie rugosas a ligeramente rugosas y relleno de óxidos, limos y arcillas.

Sílice Alunita (SA): Esta alteración se caracteriza por la presencia de Alunita la cual se presenta normalmente de forma diseminada en toda la roca, esta alteración se presenta de forma puntual en algunos afloramientos de roca.

Propilítico (PRO): Se ha observado en los sondajes, están correlacionada con las brechas y la andesita, de color gris a gris verdoso con tonos rojizos, se caracteriza por la presencia de sulfuros, clorita, epidota, calcita y plagioclasa albitizada, presencia de oxidación, es una alteración leve a moderada de la roca original.

Roca Fresca (RF): Constituye la roca inalterada de andesitas y brecha, la cual no ha sufrido ningún cambio en su estructura ni composición química original.

Figura 22 Alteraciones en el área de estudio



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

4.1.2. Hidrología

De acuerdo al estudio Hidrológico de HYDROTERRA (2018), hidrográficamente la U.M. Apumayo está ubicada en la cuenca de Yauca, y está limitada por las cuencas principales, al norte la cuenca del río Acarí, y al sur con la cuenca de Ocoña.

Localmente el área de estudio está emplazada en la cabecera de las cuencas de los ríos Chaviña (subcuenca Alto Yauca) y Corralmayo (Subcuenca Paralmayoc) y están divididas en once (11) microcuencas, con una diferencia de altura que va desde los 252.00 m hasta los 700.00 m.

En el área de estudio, las precipitaciones pluviales son recurrentes desde el mes de noviembre hasta el marzo, siendo los meses de enero y febrero los más lluviosos. La temperatura promedio anual es de 17.27°C, siendo la temperatura mínima promedio de 3.3°C en los meses de enero a marzo; mientras que la temperatura máxima es de 18°C entre los meses de octubre a diciembre. Asimismo, la humedad relativa máxima es de 61% entre los meses de enero a marzo y la humedad relativa mínima es de 42% durante los últimos meses del año, del mismo modo, la mayor velocidad del viento es entre los meses de julio a setiembre con valores cercanos a 2.90 m/s y la velocidad del viento más baja es de 2.30 m/s en el mes de abril.

En la U.M. Apumayo, se tienen pendientes escarpadas mayores a 20° cercanos a los cursos de aguas principales encañonándolos, las pendientes en las partes altas son suaves que varían de 0° a menores de 20°, las cuales adoptan una forma a modo de micro mesetas.

4.1.3. Hidrogeología

Con la finalidad de caracterizar el modelo hidrogeológico del área de la U.M. Apumayo, se utilizó La Actualización del Modelo Hidrogeológico Numérico de la Unidad Minera Apumayo elaborado por GYC en marzo del 2022, donde se ha desarrollado un modelo hidrogeológico numérico regional destinado a representar el funcionamiento hidrogeológico del área, así como un modelo hidrogeológico numérico local para la zona del Tajo Apumayo 1. En el presente modelo ha considerado como puntos de observación, la información piezométrica

actualizada por GYC, producto de los trabajos de campo que GYC realizó en enero 2022, además de los datos de fuentes oficiales, como del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Estudio Hidrogeológico desarrollado por Hydroterra en 2019.

En base a la data del monitoreo del nivel de agua en los siguientes cinco (5) piezómetros: PZ-APU1-01, PZ-APU1-02 y PZ-APU1-03, PZ-APU-2020-02 y PZ-APU2020-03, ubicados en las inmediaciones del Tajo Apumayo 1 se presenta en la figura N° 23 el monitoreo histórico llevado a cabo en el área del Tajo Apumayo 1.

La conductividad hidráulica en la zona de estudios se determinó en las principales unidades litológicas del macizo rocoso y suelos recientes, y están conformadas por lavas andesitas basálticas, tobas, areniscas, limonitas, conglomerados volcánico y brechas, donde los únicos cuerpos de roca saturada de agua subterránea, se encuentran en los suelos fluvioglaciares, las andesitas de mayor dureza estarían fracturadas ya que permite la acumulación local de las aguas subterráneas.

Figura 23 Monitoreo Piezométrico Histórico del Tajo Apumayo 1

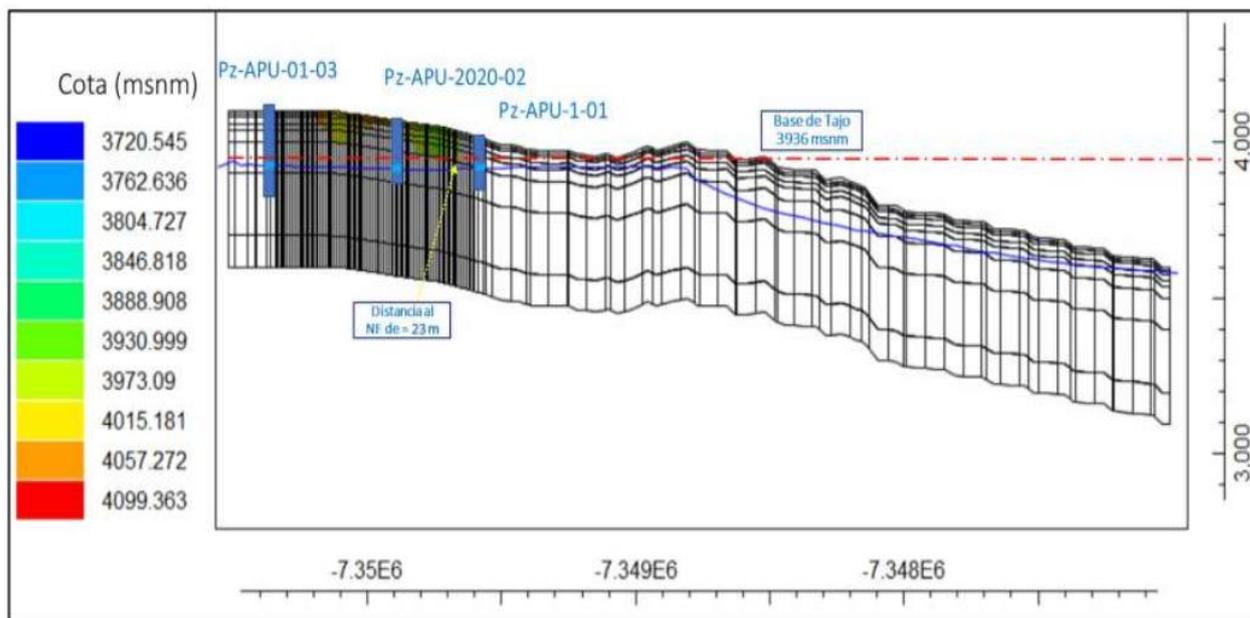


Nota. Adaptado de EGYC S.A.C. 2022

En base a los resultados de las mediciones piezométricas de los pozos PZ-APU1-01, PZ-APU1-02 y PZ-APU1-03, GYC indica que el nivel freático aproximadamente se encuentra a 23.00 m por debajo de la profundización máxima proyectada en el diseño del Tajo Apumayo

1 (3 936.00 msnm), con lo cual se define que la explotación del tajo no interceptaría el flujo del agua subterránea. Ver figura N° 24.

Figura 24 Sección hidrogeológica NW-SE Tajo Apumayo 1



Nota. Adaptado de EGYC S.A.C. 2022

4.1.3.1. Unidades Hidrogeológicas (UH)

En el Estudio Hidrogeológico elaborado por GYC (2020) se ha definido una (1) Unidad Hidrogeológica (UH-01) dentro del dominio de la U.M. Apumayo. El concepto de la UH surge de la necesidad de agrupar materiales litológicos con comportamientos hidráulicos semejantes, a su vez la UH-01 se divide en dos (2) subunidades (UH-01A y UH-01B) con fines de diferenciar los depósitos cuaternarios de las rocas ígneas. A continuación, se describe brevemente la UH identificada en el área de estudio.

UH-01: Esta unidad hidrogeológica se encuentra conformada por los depósitos cuaternarios inconsolidados (depósitos aluviales, coluviales y morrénicos) y rocas ígneas (brechas, andesitas y tobas), presentan permeabilidades en el rango de $8.1E-05$ y $5.19E-09$ m/s, y a su vez se divide en dos (2) subunidades descritas a continuación:

UH-01A: Se asocia a los materiales cuaternarios e incluyen a materiales fluviales, aluviales y coluviales. La Unidad Hidrogeológica presenta un carácter libre con flujo horizontal y se

encuentra en contacto con las rocas subyacentes los cuales presentan menor permeabilidad. La potencia media es de 10.00 m y con profundidades que llegan hasta los 14.00 m en depósitos aluviales.

En el área de estudio los depósitos cuaternarios se ubican en los ríos Jaja, río Jispicahua, quebradas Jarhuisique, Jailpasca, Lambre, Auropata y sus afluentes menores.

En el área de estudio los depósitos cuaternarios se clasifican según su comportamiento hidrogeológico como acuíferos pobres debido a su conductividad hidráulica baja a media ($4.90E-06$ m/s).

UH-01B: Se encuentra subyaciendo a la UH-01A, conformado por rocas ígneas de los grupos Barroso y Tacaza correspondientes a brechas, andesitas y tobas. Esta unidad hidrogeológica presenta espesor y datos hasta los 200.00 m de profundidad, se presume que continúa a mayor profundidad y su conductividad hidráulica disminuye conforme se profundiza. En el área de estudio las rocas ígneas pertenecientes a esta UH se clasifican según su comportamiento hidrogeológico como acuíferos pobres debido a su baja a media conductividad hidráulica ($3.26E-06$ m/s).

4.1.4. Sismicidad

Considerando el estudio de peligro sísmico elaborado por ANDDES (febrero 2018), donde se determina la aceleración máxima del terreno a nivel de roca base, suelo denso y la respuesta asociados a los tipos de suelos que podrían presentarse en U.M. Apumayo.

La región Sur del Perú, en la zona donde se ubica el área de estudio, presenta una alta actividad sísmica, debido a la subducción de la placa de Nasca bajo la placa Sudamericana, así como del proceso de reajustes tectónicos del aparato andino. Esto permite agrupar a las fuentes en continentales y de subducción. Estas fuentes de subducción modelan la interacción de ambas placas. Asimismo, las fuentes continentales o corticales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina. La velocidad de subducción de la placa de Nasca bajo la placa Sudamericana es de 9 cm/año en promedio aproximadamente, por lo que generan

sismos a diferentes profundidades. Debido a que las fuentes sismológicas de subducción interplaca son las que predominan en la evaluación del peligro sísmico en la zona de la U.M. Apumayo, se ha establecido una magnitud de 7.90 Mw para el cálculo del coeficiente sísmico.

Según la sismicidad histórica en el área de la U.M. Apumayo hubo sismos con intensidades entre III y VIII grados en la escala de Mercalli modificada. Para la U.M. Apumayo ha sido determinado las aceleraciones máximas del terreno en roca y suelo denso; asimismo, los espectros sísmicos de respuesta. Para ello se utilizaron las leyes de atenuación de BC Hydro (2016), Zhao et al. (2016) y Youngs et al. (1967) para los sismos de subducción y las expresiones del NGA West 2 para los sismos continentales (Abrahamson et al. 2014, Campell&Bozorgnia 2014 y Chou y Youngs 2014).

4.1.4.1. Estimación de Coeficiente Sísmico

Para el caso del cálculo del coeficiente sísmico para realizar el análisis de estabilidad física de taludes en condición pseudoestática, de acuerdo a la literatura técnica se recomienda que el coeficiente sísmico a ser empleado en los análisis de estabilidad, sea una fracción que varía de 1/3 a 1/2 de la máxima aceleración esperada. Asimismo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corp of Engineers, USACE, Hynes y Franklin, 1984, Federal Highway Administration, 1997), recomienda el uso de un coeficiente sísmico para el análisis igual al 50% de la aceleración pico de diseño.

Considerando el Tajo Apumayo 1 un perfil de suelo tipo B (roca) y tomando en cuenta la condición pseudoestática se propone utilizar un coeficiente sísmico (CS) de **0.19** que corresponde al 100% de la aceleración horizontal máxima para un periodo de retorno de 100 años en conformidad con el Artículo 264 del RSSO.

4.2. Investigaciones Geotécnicas

4.2.1. Caracterización del Macizo Rocoso

Para la caracterización del macizo rocoso del área del Tajo Apumayo 1, se ejecutaron investigaciones básicas, en base a observaciones y acopio de información de campo, pruebas de campo y laboratorio, y trabajos de gabinete, que permitió diferenciar los materiales dispuestos en el área de estudio para ser empleados en el análisis de la estabilidad física del tajo. Las investigaciones geotécnicas - geomecánicas fueron las siguientes:

Se caracterizó litológica y estructuralmente la masa rocosa identificadas en los taludes, empleando las normas sugeridas por ISRM (International Society for RockMechanics).

- Se determinó la calidad del macizo rocoso involucrado en las áreas de estudio, aplicando el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (1989).
- Mediante ensayos in-situ se evaluaron las propiedades de resistencia de la roca intacta mediante la ejecución de ensayos con el martillo de geólogo, la ejecución de ensayos de dureza con el martillo Schmidt, según normas ISRM.
- La caracterización de los materiales cuaternarios identificados en superficie, se realizó empleando la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y la revisión de los sondajes geotécnicos ejecutados por la empresa Apumayo S.A.C.

4.2.2. Estaciones Geomecánicas

El mapeo geomecánico de la cara de los taludes de los bancos, se llevó a cabo utilizando el “método directo por celdas de detalle”. Mediante este método en cada estación geomecánica se realizó mediciones sistemáticas de la orientación de las discontinuidades y la calidad de la roca tomando tramos de extensión variable, representativos de la roca expuesta.

Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registro diseñado para este propósito, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) (Ver Anexo B). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de

relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se realizaron ensayos de campo para hallar la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta, así como el registro de datos del grado de fracturamiento de la roca, para definir el RQD (Rock Quality Designation).

Cada celda de detalle constituyó una estación de medición (En), en total se realizaron cuarenta y uno (41) estaciones de registro geomecánico ubicados dentro del área del tajo. Los resultados de la clasificación geomecánica se presentan en los formatos del Anexo D, y en forma gráfica en el Plano APU - 02 (Plano Geológico – Geotécnico). En los cuadros N° 5 y 6, se muestran la relación, ubicación y calidad de la masa rocosa de las diferentes estaciones registradas.

Tabla 5 Estaciones geomecánicas registradas en los taludes del tajo por SIASMIN

Estación	Coordenadas UTM WGS 84		Litología	Alteración	Calidad (RMR)	Descripción
	Norte (m)	Este (m)				
EGAP-SI20-109	8 339 591.00	616 363.00	BXFm	SGM	27	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-110	8 339 569.00	616 432.00	BXFm	SGD	21	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-111	8 339 488.00	616 454.00	BX	SGD	25	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-112	8 339 517.00	616 344.00	BXFm	SGM	33	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-113	8 339 489.00	616 226.00	BXFm	SGM	36	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-114	8 339 325.00	616 141.00	BX-BXH	SGM	41	IIIB (Regular A)
EGAP-SI20-115	8 339 421.00	616 200.00	BXFm-BX	SGM	46	IIIB (Regular A)
EGAP-SI20-116	8 339 464.00	614 361.00	BXFm	SGM	30	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-117	8 339 401.00	616 462.00	BXFm	SGM	36	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-118	8 339 149.00	616 228.00	TUF-BX	SM	31	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-119	8 339 272.00	616 225.00	BXH	SGM	33	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-120	8 339 314.00	616 251.00	BXFm-BX	SGM	33	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-121	8 339 349.00	616 370.00	BXH	SGM	38	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-122	8 339 249.00	614 502.00	BX-TUF	SGD	36	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-123	8 339 253.00	616 347.00	BX-TUF	SGM	30	IIIB (Regular B)
EGAP-SI20-124	8 339 239.00	616 329.00	BXH	SGC	40	IVA (Mala A)
EGAP-SI20-125	8 339 216.00	616 378.00	BXH	SGM	43	IIIB (Regular A)
EGAP-SI20-126	8 339 182.00	616 348.00	BXH	SGC	50	IIIB (Regular A)
EGAP-SI20-127	8 339 156.00	616 455.00	TUF-BXH	SGM	36	IVA (Mala A)

EGAP-SI20-128	8 339 153.00	616 435.00	BXH-BX	SGD	28	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-129	8 339 107.00	616 369.00	TUF	SGD	25	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-130	8 339 108.00	616 327.00	TUF	SGM	26	IVB (Mala B)
EGAP-SI20-131	8 339 106.00	616 271.00	TUF	SGM	43	IIIB (Regular A)

Nota. LITOLÓGIA: AND: andesita / BX: brecha / BXFm: brecha freatomagmática / TUF: tufo o toba / BXH: brecha hidrotermal.

ALTERACION:

SM: sílice masiva / SA: sílice alunita / SAC: sílice alunita clay / SC: sílice clay / C: alteración clay / CP: clay pirita / SGC: sílice granular compacta / SGM: sílice granular moderada / SGD: sílice granular deleznable / PRO: propilítico / RF: roca fresca o ligeramente alterada.

Tabla 6 Estaciones geomecánicas registradas en los taludes del tajo por GEOSERVICE

Estación	Coordenadas UTM WGS 84		Litología	Calidad (RMR)	Descripción
	Norte (m)	Este (m)			
GEOSER_E-1	8 339 566.00	616 139.00	BXFm	34	IVA (Mala A)
GEOSER_E-2	8 339 572.00	616 151.00	BXFm	24	IVB (Mala B)
GEOSER_E-3	8 339 587.00	616 169.00	BXFm	48	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-4	8 339 611.00	616 220.00	BXFm	24	IVB (Mala B)
GEOSER_E-5	8 339 614.00	616 318.00	AND	27	IVB (Mala B)
GEOSER_E-6	8 339 593.00	616 385.00	BXFm	43	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-7	8 339 559.00	616 447.00	TUF	34	IVA (Mala A)
GEOSER_E-8	8 339 528.00	616 471.00	BX_CR	50	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-9	8 339 322.00	616 079.00	TUF	33	IVA (Mala A)
GEOSER_E-10	8 339 410.00	616 107.00	TUF	48	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-11	8 339 284.00	616 080.00	AND	50	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-12	8 339 215.00	616 430.00	BX_CR	50	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-13	8 339 200.00	616 281.00	TUF	48	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-14	8 339 069.00	616 418.00	AND	50	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-15	8 339 166.00	616 193.00	AND	48	IIIB (Regular B)
GEOSER_E-16	8 339 132.00	616 252.00	AND	34	IVA (Mala A)
GEOSER_E-17	8 339 329.00	616 174.00	TUF	46	IIIB (Regular A)
GEOSER_E-18	8 339 127.00	616 284.00	AND	29	IVB (Mala B)

Nota. LITOLÓGIA, AND: andesita / BX_CR: brecha craquel / BXFm: brecha freatomagmática / TUF: tufo volcánico.

4.2.3. Perforaciones Geotécnicas

Como parte de los trabajos de geomecánica, el área de geotecnia de APUMAYO en el año 2019 ejecutó doce (12) perforaciones geotécnicas distribuidas dentro de los límites del Tajo Apumayo 1. La ubicación de estos sondajes se presenta en el Plano APU - 02.

En base a la revisión del logueo geotécnico ejecutado por SIASMIN, en el cuadro N° 7 se presenta un resumen de la calidad del macizo rocoso según litología y tipo de alteración, y en el Anexo D se adjunta los registros de perforación desarrollados por Apumayo.

Tabla 7 Registro de la calidad a partir de sondajes geotécnicos – Tajo Apumayo 1

Sondaje N°	Profundidad		Litología 1	Tipo de Alteración 2	RMR
	De (m)	Hasta(m)			
TIKA-DH-01	0.00	11.00	Suelo	Suelo	-
	11.00	32.40	TOBA	SGM	23.7
	32.40	53.60	BXH	SGM	28.3
	53.60	62.70	TOBA	SGM	38
	62.70	117.00	BXH	SGM	35.7
	117.00	119.60	BX muy alterada	SGD	18
	119.60	122.80	BXH muy alterada	SGD	18
	122.80	181.30	TOBA muy alterada	SGD	18
TIKA-DH-02	0.00	2.30	Suelo	Suelo	-
	2.30	8.40	TOBA	SGM tramos SGD	35
	8.40	13.40	BXH	SGM tramos SGD	45
	13.40	35.50	TOBA	SGM tramos SGD	44
	35.50	49.50	BX	SGM tramos SGD	50
	49.50	52.60	TOBA	SGM tramos SGD	53
	52.60	80.60	BX	SGM tramos SGD	46
	80.60	105.40	BX	SGM tramos SGD	40
	105.40	139.10	BXH	SGM tramos SGD	38
	139.10	209.50	BXH	SGM tramos SGD	48
	209.50	214.30	BXH muy alterada	SGD	10
	0.00	9.20	Suelo	Suelo	-
	9.20	26.80	TOBA	SGM	31.6

TIKA-DH-03	26.80	43.30	BX	SGM	36.4
	43.30	51.80	TOBA	SGM	65.4
	51.80	69.90	SGD	SGD	18
	69.90	74.10	BXH	SGM	30
TIKA-DH-04	0.00	28.10	Suelo	Suelo	-
	28.10	93.60	BX	SGC	48
	93.60	99.65	BX muy alterada	SGC - SGM	18
	99.65	123.80	TOBA	SGC - SGM	41
	123.80	153.00	BX muy alterada	SGC - SGM	18
	153.00	163.20	BXH	SGC - SGM	34
	163.20	198.30	BX	SGC	38
	198.30	212.30	BXH	SGC - SGM	42
	212.30	251.30	BXH muy alterada	SC	37
	251.30	269.30	AND	SC	29
	269.30	281.40	AND altera	SC	18
TIKA-DH-05	0.00	76.85	Suelo	Suelo	-
	76.85	89.90	BX	SGM	42
	89.90	116.75	BX muy fracturada	SGM	18
	116.75	130.45	BX	SGM	44
	130.45	138.35	BX muy fracturada	SGM	15
	138.35	143.70	BX	SGM	32
	143.70	148.50	BX muy fracturada	SGM	15
	148.50	156.70	BX	SGM	29
	156.70	160.60	BX muy fracturada	SGM	15
	160.60	241.30	Bx interca BX tritur.	SGM	25
	241.30	247.80	Bx interca BX tritur.	C	24
	247.80	257.90	Bx interca BX tritur.	SC	24
	257.90	259.00	Bx interca BX tritur.	SGM a SGD	24
TIKA-DH-06	0.00	33.30	Suelo	Suelo	-
	33.30	68.40	BX	SGM tramos SGC	33
	68.40	90.40	BX muy alterada	SGM	18
	90.40	103.60	BX	SGM-SGC	37
	103.60	150.50	BX muy alterada	SGM	18
	150.50	163.10	AND	SC	33
	0.00	24.70	Suelo	Suelo	-
	24.70	89.50	Bx interca BX tritur.	SGM	28

TIKA-DH-07	89.50	112.60	BX	SGM	33
	112.60	116.50	BX	SGC	39
	116.50	134.20	BX	SGM	26
	134.20	150.80	BX muy fracturada	SGM	18
	150.80	170.50	BX	SGM	32
	170.50	176.60	BX muy fracturada	SGM	18
	176.60	194.20	BX	SGM	35
	194.20	201.30	BXH	SGM	34
	201.30	236.50	BX triturada	SGM	18
	236.50	239.30	SC	SGC	28
	239.30	254.00	AND	PRO	40
	254.00	260.40	AND altera	C, SC y PRO	25
TIKA-DH-08	0.00	1.30	Suelo	Suelo	-
	1.30	15.00	TOBA	SGM a SGC	43
	15.00	31.40	BX	SGM a SGC	44
	31.40	55.40	BX	SGM a SGC	36
	55.40	79.30	BX	SGM a SGC	40
	79.30	100.30	TOBA	SGM	53
	100.30	111.00	BX	SGM	18
	111.00	126.90	BX	SGM	38
	126.90	140.80	BX triturada	SGM	18
	140.80	148.50	BX	SGM	32
	148.50	160.70	BX triturada	SGM	18
	160.70	182.40	BX	SGM	33
	182.40	189.00	BXH	SGM	35
	189.00	236.10	BXH	SGM	22
	236.10	247.00	AND	SA	29
247.00	257.80	AND	SCP	19	
TIKA-DH-09	0.00	41.00	Suelo	Suelo	-
	41.00	69.80	BXH	SGM a SGC	45
	69.80	82.00	BXH	SGC a SM	16
	82.00	103.60	TOBA - BXF	SGC a SM	46
	103.60	116.40	BXF	SGM tramos SGC	30
	116.40	140.50	BXF	SGM tramos SGC	41
	140.50	146.50	BXF	SGM tramos SGC	26

	146.50	167.40	BXF	SGM tramos SGC	53
	167.40	182.20	TOBA	SGM tramos SGC	42
	182.20	195.80	BXF	SGM tramos SGC	33
	195.80	224.30	TOBA	SGM	26
	224.30	235.40	TOBA	SC	26
PZ-TIKA-01	0.00	24.70	Suelo	Suelo	-
	24.70	46.10	AND con AND mala	SC y SCP	33
	46.10	76.30	TOBA lítica	PRO	46
	76.30	98.60	AND	SCP	48
	98.60	110.30	AND	RF a lig alterac.	48
PZ-TIKA-02	0.00	27.90	Suelo	Suelo	-
	27.90	40.20	BX - AND	PRO	34
	40.20	48.70	AND	PRO	45
	48.70	100.00	AND	RF a lig alterac.	59
PZ-TIKA-03	0.00	22.20	Suelo	Suelo	-
	22.20	36.70	TOBA	SGD	28
	36.70	56.70	TOBA	SG	46
	56.70	73.50	TOBA	SG	34
	73.50	195.20	TOBA	SGD	25
	195.20	201.10	TOBA	SG	41

Nota. LITOLOGIA, AND: andesita, BX: brecha / BXFm: brecha freatomagmática / TUF: tufo o toba / BXH: brecha hidrotermal.

ALTERACION, SM: sílice masiva / SA sílice alunita / SAC: sílice alunita clay / SC: sílice clay / C: alteración clay / CP: clay pirita / SGC: sílice granular compacta / SGM: sílice granular moderada / SGD: sílice granular deleznable / PRO: propilítico / RF: roca fresca o ligeramente alterada.

4.2.4. Distribución de Discontinuidades

Para establecer las características de distribución de discontinuidades o arreglo estructural del macizo rocoso, se procesaron los datos orientacionales mediante técnicas estereográficas, utilizando la versión avanzada del programa de cómputo DIPS 5.103 de Rocscience Inc. (2004).

Los resultados de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales por estaciones se muestran en los formatos del mapeo geotécnico de afloramientos rocosos del Anexo C, según el análisis de esta información se ha establecido inicialmente cinco (5) sectores estructurales en función a la litología y a la orientación de la cara de los taludes, sin embargo un análisis de los estereogramas de estos sectores indican tres sectores o zonas estructurales: Sector 1 (Norte), Sector 2 (Norte-Este) y Sector 3 (Sur-Oeste) relacionados principalmente por la litología. Los estereogramas y sus características se presentan respectivamente en el plano APU - 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis) y en el cuadro N° 8 se da un resumen de la distribución de las discontinuidades del área de estudio.

Según el cuadro N° 8, la masa rocosa de los taludes del tajo por lo general presenta tres (3) sistemas principales y un (1) sistema secundario compuesto por juntas. Las características del arreglo estructural de la masa rocosa en dichos sectores estructurales del área del tajo son:

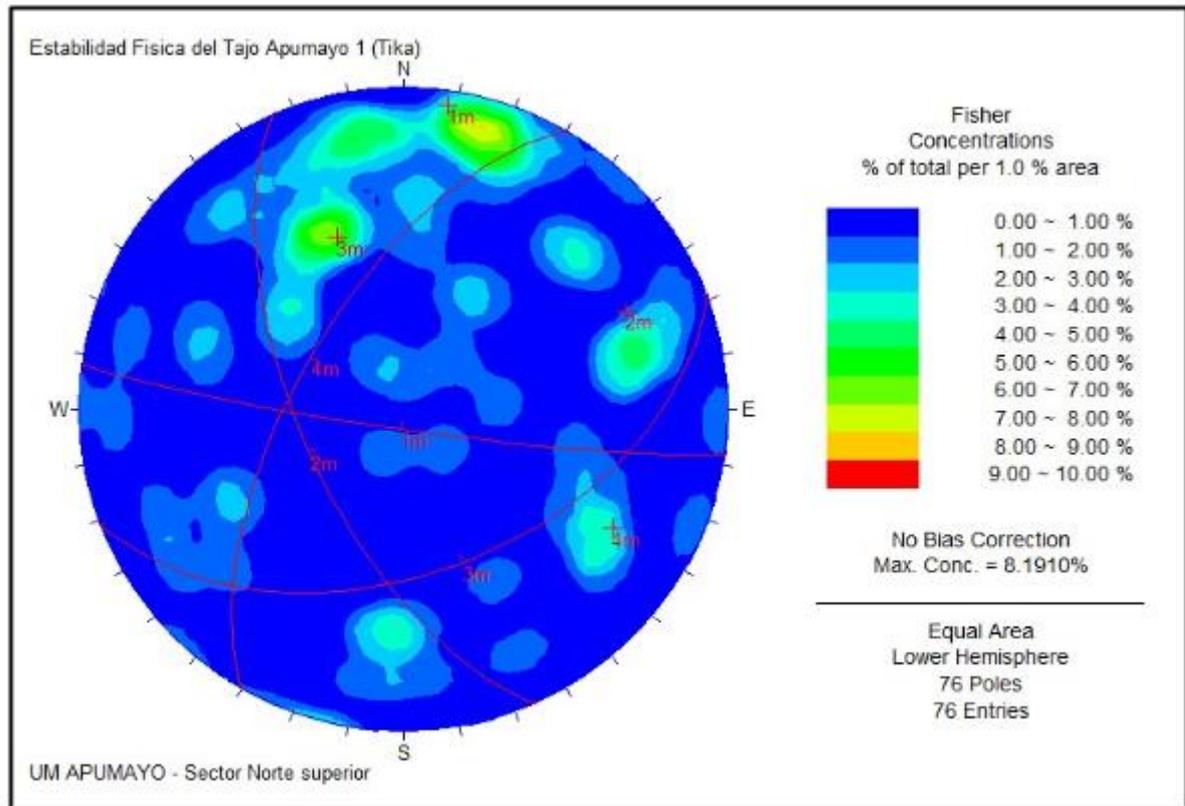
Tabla 8 *Sistemas de discontinuidades estructurales (Rumbo y buzamiento – Dirección de Buzamiento y buzamiento)*

Sector		Sistema 1 Juntas	Sistema 2 Juntas	Sistema 3 Juntas	Sistema 4 Juntas
Sector Norte superior	Rumbo y Buzamiento	N 82°W – 85°SW	N 24°W - 64°SW	N 69°E - 48°SE	N 30°E - 63°NW
	Dir. Buz. y Buz.	188° / 85°	246° / 64°	159 / 48°	300° / 63°
Sector Norte-Este	Rumbo y Buzamiento	N 22°W – 80°SW	N 84°W - 89°SW	N 30°E - 88°NW	N 35°E - 49°SE
	Dir. Buz. y Buz.	248° / 80°	006° / 89°	300 / 88°	125° / 49°
Sector Sur-Oeste	Rumbo y Buzamiento	N 22°W – 82°SW	N 77°E - 25°NW	N 45°E - 87°SE	N 37°W - 34°SE
	Dir. Buz. y Buz.	248° / 82°	347° / 25°	135 / 87°	233° / 34°

Sector Norte superior. - Abarca los bancos superiores del sector norte del tajo, aquí los tres (3) sistemas principales son: El sistema 1 tiene rumbo E-W y buzamiento subvertical al Sur, el sistema 2 presenta rumbo NW con buzamiento empinado hacia el SW, el sistema 3 presenta

rumbo NE y buzamiento medio hacia el SE, y el sistema secundario 4 presenta rumbo NE y buzamiento echado hacia el NW (Ver figura N° 25).

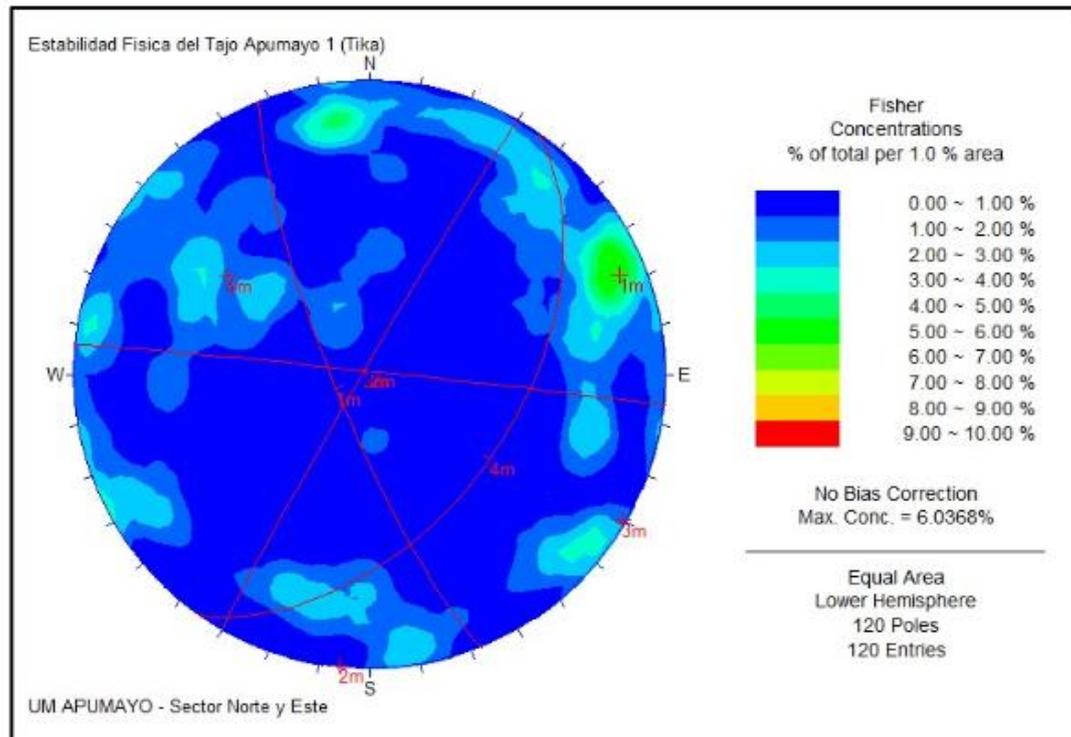
Figura 25 Diagrama estereográfico de contornos y círculos mayores – Sector Norte Superior



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

Sector Norte-Este. - Abarca los bancos del sector Norte y Este hasta el fondo del tajo, similarmente los tres (3) sistemas principales y el cuarto sistema secundario son: el sistema 1 tiene rumbo NW y buzamiento subvertical al SW como al NE, el sistema 2 presenta rumbo E-W con buzamiento subvertical tanto al Norte como al Sur, el sistema 3 presenta rumbo NE y buzamiento subvertical tanto al NW como al SE, y el sistema secundario 4 presenta rumbo NE y buzamiento medio hacia el SE (Ver figura N° 26).

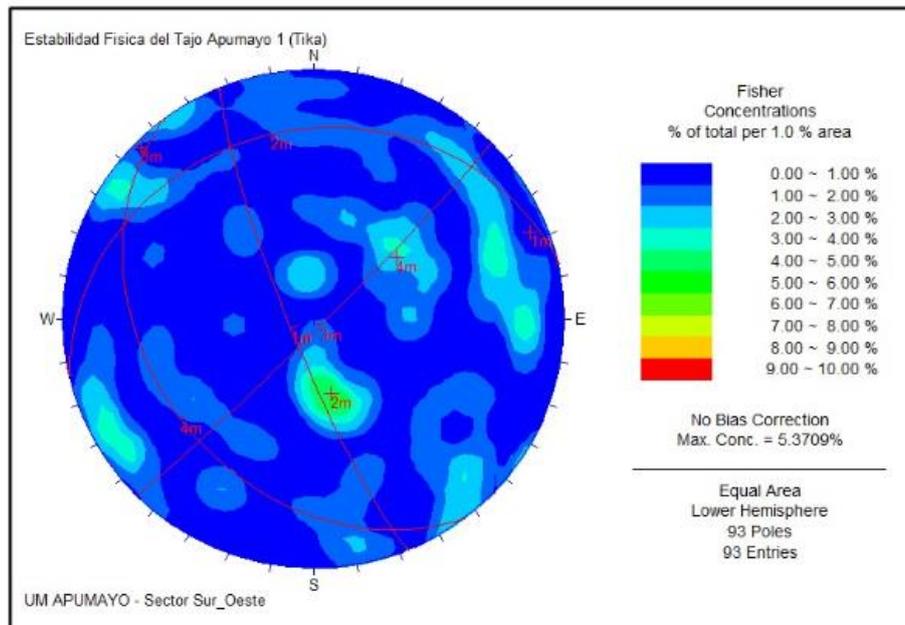
Figura 26 Diagrama estereográfico de contornos y círculos mayores - Sector Norte y Este



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

Sector Sur-Oeste. - Abarca los bancos del sector Sur y Oeste hasta el fondo del tajo, tres (3) sistemas principales y el cuarto sistema secundario compuesto por juntas son: el sistema 1 tiene rumbo NW y buzamiento subvertical al SW como al NE, el sistema 2 presenta rumbo NEE con buzamiento echado al NW, el sistema 3 presenta rumbo NE y buzamiento subvertical tanto al SE como al NW, y el sistema secundario 4 presenta rumbo NW y buzamiento medio hacia el SW (Ver figura N° 27).

Figura 27 Diagrama estereográfico de contornos y círculos mayores - Sector Sur Oeste



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

4.2.5. Aspectos Estructurales

Las características estructurales de las discontinuidades se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en los mapeos geotécnicos (ver Anexo C), la que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ. Según esto, las siguientes son las principales características: espaciamiento por lo general está entre 3.00 cm a 60.00 cm, persistencia mayor a 10.00 m, apertura variable menor a 5.00 mm, con paredes rugosas a ligeramente rugosas y en menor porcentaje lisas, el relleno es suave compuesto mayormente por óxidos y arcillas, las paredes de las discontinuidades están moderada a muy alteradas y debido a las condiciones climáticas de la zona se considera la condición de la presencia del agua como húmedas.

4.3. Clasificación de la Masa Rocosa

Para la clasificación de la masa rocosa presente en los taludes del Tajo Apumayo 1, las fuentes de información han sido el mapeo geomecánico por celdas de detalle,

complementado con el logueo geotécnico de doce (12) sondajes geotécnicos ejecutados y registrados por APUMAYO el año 2019, cuya descripción ya fue expuesta.

El criterio de Clasificación de Bieniawski de 1989 (RMR – Rock Mass Rating o Valoración de la Masa Rocosa) fue empleado para la clasificación del macizo rocoso.

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos conforme a los procedimientos de resistencia de la roca intacta. Los valores de designación de la calidad de la roca (RQD), fueron determinados, por un lado, mediante el registro lineal de discontinuidades utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986) teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal, y por otro lado fueron determinados directamente durante el logueo geotécnico de los testigos de los sondajes geotécnicos desarrollados y registrados por APUMAYO.

Para este estudio se ha hecho una modificación de la clasificación de Bieniawski (1989), la misma que se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 9 Criterio para la clasificación de la masa rocosa

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según el RMR
I	81 – 100	Muy Buena
II	61 – 80	Buena
IIIA	51 – 60	Regular A
IIIB	41 – 50	Regular B
IVA	31 – 40	Mala A
IVB	21 – 30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

Los resultados de la clasificación geomecánica se presentan en los formatos de los Anexos B y C, adicionalmente en forma gráfica los resultados del registro de sondajes geotécnicos y celdas de detalle también se muestran en los Planos APU - 04 al APU – 07 (Sección geotécnica 1-1' a la Sección geotécnica 4-4'). Utilizando toda la data geomecánica recolectada, se puede obtener los rangos de valores de calidad de la masa rocosa que

conforman los taludes del tajo, expresado en el Sistema RMR. El resumen de estos resultados se presenta en el cuadro N° 10.

Tabla 10 *Calidad de la masa rocosa por tipo de alteración*

Alteración	Código	Rango RMR	RMR Promedio	Calidad según el RMR
Clay	C	20 – 26	24	IVB
Sílice Clay	SC	18 – 41	29	V, IVB y IVA
Sílice Clay Pirita	SCP	19 – 47	33	V, IVB, IIIB
Sílice Alunita, Sílice Vuggy	SA - SV	29	29	IVB
Sílice Granular Deleznable	SGD	18 – 35	27	V, IVB, IVA
Sílice Granular Moderada	SGM	18 – 53	32	V, IVB, IVA y IIIA
Sílice granular compacta	SGC	26 – 53	39	IVB, IVA y IIIA
Sílice Masiva	SM	46	46	IIIB
Propilítico	PRO	20 – 46	37	IVB, IVA y IIIB
Roca Fresca	RF	40 – 59	49	IIIB y IIIA

Fuente: Apumayo S.A.C.

Según el cuadro anterior, la calidad de la masa rocosa de los tipos de alteración más abundantes varía desde roca de calidad Muy Mala hasta roca Regular A. Sin embargo, según el mapeo geomecánico de bancos se ha observado que la roca de los bancos superiores cerca de la superficie y especialmente en el sector Norte, Sur y Este del tajo, por lo general son de calidad MALA B a MUY MALA, mientras que la masa rocosa de los bancos inferiores del fondo del tajo generalmente son de calidad Mala A hasta Regular A.

4.4. Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa

Los métodos de cálculo empleados en el diseño de estructuras rocosas, requiere que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que los criterios de diseño y el análisis de los resultados, serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades mecánicas similares. Por

ello, es práctica común en el diseño de una estructura rocosa delimitar el área de estudio en zonas geomecánicas o dominios estructurales (DE).

Para la zonificación geomecánica de la masa rocosa se han considerado los aspectos litológicos, alteración, geoestructurales y calidad del macizo rocoso. Considerando principalmente la calidad de los diferentes tipos de alteración se han definido tres (3) dominios estructurales, que gráficamente se presentan en los planos APU - 04 al APU – 07 (Sección geotécnica 1-1' a Sección geotécnica 4-4'). Estos dominios estructurales son:

4.4.1. Dominio Estructural DE-III B (RF - SM)

Conformado por rocas andesíticas, brechas y tobas sanas a ligeramente alteradas (RF) y rocas con alteración sílice masiva (SM). Las rocas frescas de este dominio generalmente se presentan en afloramientos superficiales y a profundidad media (sondaje PZ-TIKA-02), la sílice masiva se presenta en el sondaje TIKA-DH-09 y constituye un mínimo porcentaje.

El logueo geotécnico determinó que la roca de este dominio generalmente presenta resistencia media (R3 a R4), medianamente fracturada con RQD de 25 a 90%, espaciamiento de 6.00 cm a 50.00 cm, persistencia de 10.00 m a 20.00 m, apertura menor a 1.00 mm, superficies mayormente rugosas y en menor porcentaje ligeramente rugosas, rellenos suaves, con paredes sana a ligeramente alteradas y condiciones húmedas de agua subterránea. La calidad del macizo rocoso en este dominio es Regular B (III B), con RMR promedio de 47 y constituye un porcentaje de 5% a 6% de la masa rocosa.

4.4.2. Dominio Estructural DE-IV A (SCP, SGM, SGC y PRO)

Este dominio está conformado principalmente por andesitas, brechas andesíticas y tobas con alteración sílice granular moderada, sílice granular compacta, sílice clay pirita y propilítico, a partir de ensayos de dureza en los testigos de perforación la masa rocosa presenta resistencia baja a media (R2-R4), con RQD de 10% a 75%, espaciamiento de 6.00 cm a 20.00 cm, persistencia de 10.00 m a 20.00 m, apertura menor a 1.00 mm, paredes

ligeramente rugosas, rellenos suaves, con paredes moderadamente alteradas y condiciones húmedas de agua subterránea. La calidad promedio del macizo rocoso en este dominio es Mala A (IVA), con RMR promedio de 36, este dominio constituye el mayor porcentaje de la masa rocosa del tajo, aproximadamente el 50%.

4.4.3. Dominio Estructural DE-VIB (C, SC, SA y SGD)

Este dominio está conformado por las andesitas, brechas y tobas con alteración clay (C), sílice clay (SC), sílice alunita (SA) y sílice granular deleznable (SGD), este dominio se presenta conformando del 23% al 25 % de la masa rocosa de las paredes del tajo.

De la información obtenida del logueo geotécnico de testigos, la roca presenta resistencia baja (R0-R2), con RQD promedio de <25%, espaciamiento menor a 10.00 cm, persistencia mayor a 10.00 m, apertura de 1.00 mm a 5.00 mm, paredes ligeramente rugosas a lisas, rellenos suaves, con paredes moderada a muy alteradas y condiciones húmedas de agua subterránea. La calidad del macizo rocoso en este dominio es Mala B (IVB), con RMR promedio de 25.

4.5. Resistencia de la Roca

Para determinar la resistencia de la roca intacta, los parámetros de resistencia al corte de las discontinuidades y la resistencia de la masa rocosa se ha tenido en cuenta los resultados de ensayos de campo y laboratorios realizados, más los resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas ejecutados por el área de geotecnia de APUMAYO.

4.5.1. Resistencia de la Roca Intacta

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta, denominada también UCS. Durante los trabajos de campo como, parte del mapeo geomecánico en la cara de los bancos, se llevaron a cabo ensayos de impacto con el martillo Schmidt de dureza siguiendo las normas ISRM, dichos ensayos están registrados en los formatos de mapeo superficiales del anexo C.

Por otro lado, durante el mapeo geomecánico de afloramientos se muestrearon bloques rocosos para realizar ensayos de Mecánica de Rocas en laboratorios.

Asimismo, con el objetivo de la Optimización de Parámetros del Tajo Apumayo 1, el área de geotecnia de APUMAYO dio directivas al personal de MDH-PD SAC para realizar durante el logueo de los testigos de sondajes el muestreo de testigos de perforación a fin realizar ensayos en el Laboratorio de Mecánica Rocas de INGEOTEST Ingenieros.

En ese sentido se llevaron a cabo ensayos de compresión uniaxial, carga puntual, constantes elásticas y compresión triaxial y propiedades físicas.

El registro de los diferentes ensayos realizados se presenta en el Anexo E y en los cuadros de los siguientes párrafos se muestran en forma resumida los resultados de los diferentes ensayos in-situ y de laboratorio.

4.5.1.1. Resultados de los Ensayos con el Martillo Schmidt

Como parte de los mapeos geomecánicos de bancos, se realizaron ensayos de resistencia con el Martillo Schmidt, a fin de estimar la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta. Si bien el valor obtenido con este ensayo es de menor precisión que un ensayo de laboratorio, debido a la gran cantidad de ensayos ejecutados in-situ en los diferentes tipos de rocas, da valores representativos de la masa rocosa ensayada.

Durante los trabajos de campo se han ejecutado un total de 196 ensayos con respuesta válida de rebote de martillo RL y varios ensayos no tuvieron respuesta porque la roca fue de muy baja resistencia. Los resultados de los ensayos efectuados se presentan en los formatos del mapeo geomecánico del Anexo B, donde este ensayo permitió determinar directamente en campo la resistencia compresiva. Un resumen de los resultados se presenta en el cuadro N° 11.

Tabla 11 Resultados de los ensayos de dureza con el Martillo Schmidt

Estación	Índice de Rebote del Martillo Schmidt RL										RL promedio	Resistencia Compresiva MPa
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
EGAP-SI20-109	20	23	18	16	18	16	14	18	8	8	15.9	20
EGAP-SI20-110	8	NR	NR	8	NR	NR					1.0	5
EGAP-SI20-111	14	16	12	14	10	10	16	22	12	10	13.6	18
EGAP-SI20-112	18	18	16	18	17	20	21	26	24	20	19.8	23
EGAP-SI20-113	22	20	18	22	16	28	22	26	20	24	21.8	25
EGAP-SI20-114	28	32	30	32	28	30	20	24	32	30	28.6	34
EGAP-SI20-115	26	34	40	42	40	30	32	36	30	35	34.5	43
EGAP-SI20-116	30	24	18	12	18	12	10	10	8	14	15.6	20
EGAP-SI20-117	20	26	28	30	29	18	12	10	12	16	20.1	24
EGAP-SI20-118	31	36	16	8	22	30	28	8	8	14	20.1	24
EGAP-SI20-119	20	28	32	12	20	14	16	20	24	14	20.0	23
EGAP-SI20-120	14	20	18								17.3	21
EGAP-SI20-121	24	26	24	30	38	20	16	20	13	22	23.3	27
EGAP-SI20-122	32	30	20	18	30	30	36	30	34	30	29.0	34
EGAP-SI20-123	12	16	20	30	23	18	23	24	18	14	19.8	23
EGAP-SI20-124	18	20	20	18	24	16	30	20	25	45	23.6	27
EGAP-SI20-125	36	42	34	33	44	40	38	44	43	38	39.2	53
EGAP-SI20-126	34	30	28	36	34	30	50	48	46	52	38.8	52
EGAP-SI20-127	24	32	34	38	37	38	20	22	18	24	28.7	34
EGAP-SI20-128	NR	NR	NR								NR	NR
EGAP-SI20-129	8	10	6	10	8	NR	NR	NR			8.4	14
EGAP-SI20-130	18	12	8	16	8	14	NR	NR	NR	NR	12.7	17
EGAP-SI20-131	36	34	36	32	36	32	37	34	38	32	34.7	44

Nota. NR= No responde por ser roca de muy baja resistencia

4.5.1.2. Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

En el cuadro N° 12 se presentan los resultados de los ensayos referidos a la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta obtenida a partir de los ensayos de carga puntual, y en el cuadro N° 13 se presenta el resumen de los resultados del ensayo de compresión uniaxial.

- Para determinar la carga puntual usaremos la siguiente fórmula:

$$I_s = P/D^2$$

Donde:

I_s = Carga puntual (Mpa)

P = Carga pico de falla (N)

D = Diámetro del espécimen (mm)

- Así mismo, para determinar la resistencia compresiva uniaxial usaremos la siguiente fórmula:

$$\sigma = F/A$$

Donde:

σ = Esfuerzo de compresión

F = Fuerza ejercida

A = Área de contacto con el espécimen

Tabla 12 Resultados de los ensayos de carga puntual y resistencia compresiva uniaxial

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Alteración 1	Índice carga puntual. MPa	Resistencia compres. MPa
TIKA-DH-01	M-01	38.20 - 32.32	SGM	1.0	23.4
	M-02	50.15 - 50.28	SGM	1.7	39.8
	M-08	62.05 - 62.20	SGM	1.5	34.9
	M-09	67.45 - 67.59	SGM	1.5	37.0
	M-12	73.98 - 74.10	SGM	0.3	6.3
	M-15	80.82 - 80.95	SGM	2.7	65.5
	M-20	98.48 - 98.60	SGM	3.8	90.4
	M-22	111.72 - 111.85	SGM	1.2	28.2
TIKA-DH-06	M-01	49.20 - 49.30	SGM tram SGC	1.6	38.4
	M-04	57.45 - 57.58	SGM	2.8	67.2
	M-05	90.40 - 90.54	SGM - SGC	1.8	43.2
	M-07	156.15 - 156.25	SC	0.3	7.2
TIKA-DH-07	M-01	25.09 - 25.20	SGM	0.3	7.2
	M-02	55.60 - 55.72	SGM	1.1	26.2
	M-03	72.80 - 72.90	SGM	1.8	43.9
	M-04	59.60 - 59.73	SGM	0.1	1.7
	M-05	102.40 - 102.52	SGM	1.1	25.8
	M-06	110.92 - 111.05	SGM	2.0	47.3
	M-07	144.20 - 144.30	SGM	0.1	1.9
	M-08	153.90 - 154.00	SGM	1.1	25.7

	M-09	163.75 - 163.87	SGM	1.7	41.8
	M-10	177.65 - 177.80	SGM	0.3	7.4
	M-11	190.20 - 190.31	SGM	2.4	56.6
	M-12	240.49 - 240.60	PRO	0.8	20.0
	M-13	249.00 - 249.15	PRO	0.9	20.5
TIKA-DH-08	M-01	5.40 - 5.52	SGM a SGC	1.5	35.8
	M-02	19.28 - 19.40	SGM a SGC	3.3	79.2
	M-03	30.77 - 30.90	SGM a SGC	3.1	74.4
	M-04	39.20 - 39.34	SGM a SGC	0.5	11.0
	M-05	50.00 - 50.11	SGM a SGC	0.4	8.8
	M-06	58.22 - 58.32	SGM a SGC	0.7	17.0
	M-07	71.70 - 71.80	SGM a SGC	0.6	14.9
	M-08	83.90 - 84.02	SGM a SGC	0.9	20.4
	M-09	91.90 - 92.02	SGM a SGC	0.7	17.0
	M-10	112.85 - 112.95	SGM	0.8	18.8
	M-11	126.70 - 126.83	SGM	0.7	16.3
	M-12	129.70 - 129.83	SGM	1.2	28.7
	M-25	163.95 - 164.07	SGM	0.9	20.9
	M-26	175.45 - 175.55	SGM	0.8	19.8
M-27	192.50 - 192.61	SGM	0.4	8.6	
M-28	229.50 - 229.60	SA	1.9	46.1	
TIKA-DH-09	M-01	42.8 - 42.90	SGM a SGC	1.5	35.0
	M-02	52.83 - 52.94	SGM a SGC	3.0	72.2
	M-03	63.23 - 63.33	SGM a SGC	1.2	29.9
	M-04	77.98 - 78.10	SGC a SM	1.3	30.8
	M-05	83.95 - 84.06	SGC a SM	1.3	31.8
	M-06	94.15 - 94.25	SGC a SM	1.2	28.0
	M-07	103.60 - 103.72	SGM tr SGC	0.5	12.7
	M-08	115.20 - 115.32	SGM tr SGC	1.2	28.6
	M-09	125.63 - 125.73	SGM tr SGC	0.4	10.2
	M-10	138.90 - 139.00	SGM tr SGC	0.1	2.6
	M-11	151.37 - 151.50	SGM tr SGC	0.9	21.0
	M-12	162.47 - 162.58	SGM tr SGC	0.5	12.0
	M-13	172.20 - 172.30	SGM tr SGC	1.3	31.0
	M-14	185.40 - 185.50	SGM tr SGC	0.4	8.6
	M-15	195.53 - 195.63	SGM tr SGC	0.4	9.1
	M-16	207.53 - 207.65	SGM	0.5	11.7
	M-17	218.50 - 218.65	SGM	0.7	17.7
	M-18	227.88 - 228.00	SC	1.3	31.7
TIKA-DH-02	M-01	4.50 - 4.62	SGM-SGD	0.8	18.4
	M-04	14.65 - 14.80	SGM-SGD	3.4	80.6
	M-06	17.10 - 17.30	SGM-SGD	2.4	57.4
	M-08	23.59 - 23.70	SGM-SGD	2.5	59.6
	M-12	32.51 - 32.65	SGM-SGD	1.8	44.0
	M-14	42.00 - 42.15	SGM-SGD	0.5	11.4
	M-17	56.28 - 56.45	SGM-SGD	0.9	21.7
	M-18	65.66 - 65.80	SGM-SGD	1.4	33.1
	M-19	77.50 - 77.63	SGM-SGD	0.8	20.2
	M-20	85.88 - 86.00	SGM-SGD	1.2	29.3
	M-21	92.77 - 92.90	SGM-SGD	0.7	17.2
	M-22	106.10 - 106.22	SGM-SGD	1.0	24.0

	M-25	113.50 - 113.70	SGM-SGD	0.6	14.5
	M-27	121.38 - 121.50	SGM-SGD	4.4	105.6
	M-28	130.28 - 130.40	SGM-SGD	0.5	12.7
	M-29	140.20 - 140.33	SGM-SGD	5.3	128.0
	M-31	150.90 - 151.03	SGM-SGD	0.7	16.7
	M-33	161.90 - 162.14	SGM-SGD	7.1	170.4
	M-36	171.12 - 171.35	SGM-SGD	2.5	60.0
	M-38	181.85 - 182.10	SGC	4.1	98.4
	M-41	189.30 - 189.48	SGM a SGD	0.9	21.6
	M-43	199.17 - 199.40	SGM a SGD	2.3	55.2
	M-45	209.28 - 209.50	SGM a SGD	0.9	20.9
TIKA-DH-03	M-01	11.70 - 11.81	SGM	2.1	50.4
	M-02	22.62 - 22.73	SGM	5.7	136.8
	M-03	27.43 - 27.53	SGM	4.7	112.8
	M-04	32.00 - 32.14	SGM	1.3	31.2
	M-05	39.78 - 39.91	SGM	1.6	38.4
	M-06	47.59 - 47.71	SGM	2.9	69.6
PZ-TIKA-01	M-01	26.36 - 26.49	SC Y SCP	5.8	139.2
	M-02	44.77 - 44.90	SC Y SCP	0.5	12.2
	M-03	56.37 - 56.50	PRO	0.5	11.8
	M-04	64.46 - 64.59	PRO	1.0	22.8
	M-05	73.30 - 73.43	PRO	0.7	17.2
	M-06	93.04 - 93.20	SCP	2.0	47.8
	M-07	102.97 - 103.10	RF	1.9	44.9
	M-08	109.69 - 109.83	RF	3.7	88.8
PZ-TIKA-03	M-01	22.70 - 22.85	SGD	0.9	21.6
	M-02	31.28 - 31.40	SG	1.4	33.6
	M-03	40.85 - 41.05	SG	0.8	19.2
	M-04	52.50 - 52.62	SG	1.0	22.9
	M-05	64.00 - 64.20	SG	0.7	16.8
	M-06	72.70 - 72.85	SG	3.7	88.8
	M-07	90.42 - 90.60	SGD	0.2	5.5
	M-08	111.90 - 112.05	SGD	0.1	3.1
	M-09	129.40 - 129.54	SGD	0.4	9.8
	M-10	199.50 - 199.73	SG	2.9	69.6
TIKA-DH-04	M-01	29.80 - 29.95	SGC	0.5	13.0
	M-03	33.62 - 33.76	SGC	2.0	48.5
	M-04	37.50 - 37.64	SGC	1.5	37.0
	M-07	42.87 - 43.00	SGC	2.7	63.6
	M-08	46.43 - 46.54	SGC	2.8	67.9
	M-10	56.30 - 56.46	SGC	1.7	41.9
	M-11	60.18 - 60.30	SGC	2.7	64.8
	M-12	71.30 - 71.42	SGC	2.0	47.2
	M-16	89.70 - 89.75	SGC	0.4	8.9
	M-17	98.35 - 98.50	SGC - SGM	1.2	28.8
	M-19	107.50 - 107.64	SGC - SGM	0.7	16.8
	M-22	114.55 - 114.70	SGC - SGM	0.4	10.0
	M-23	131.78 - 131.90	SGC - SGM	0.2	6.0
	M-24	154.58 - 154.70	SGC - SGM	0.7	17.0
M-25	163.30 - 163.48	SGC	1.6	37.2	
M-26	168.33 - 168.45	SGC	0.9	21.6	

	M-27	170.10 - 170.28	SGC	0.5	12.7
PZ-TIKA-02	M-01	33.48 - 33.60	PRO	2.0	49.0
	M-02	43.18 - 43.30	PRO	3.6	86.4
	M-03	53.07 - 53.17	RF	8.0	192.0
	M-04	62.77 - 62.89	RF	7.1	170.4
	M-05	74.50 - 74.65	RF	8.1	194.4
	M-06	84.25 - 84.37	RF	7.7	184.8
	M-07	93.32 - 93.42	RF	8.3	199.2
	M-08	98.55 - 98.70	RF	4.9	117.7
TIKA-DH-05	M-02	79.00 - 79.12	SGM	2.8	67.2
	M-03	96.80 - 96.92	SGM	1.0	23.4
	M-04	108.93 - 108.95	SGM	0.9	20.6
TIKA-DH-05	M-05	118.15 - 118.26	SGM A SGC	1.2	28.1
	M-06	128.05 - 128.15	SGM A SGC	1.2	28.7
	M-15	139.38 - 139.50	SGM	6.4	153.6
	M-16	150.72 - 150.86	SGM	0.6	14.9
	M-17	160.19 - 160.30	SGM	3.3	79.2
	M-18	169.06 - 169.16	SGM	1.1	26.5
	M-19	179.15 - 179.87	SGM	2.8	68.3
	M-20	189.70 - 189.81	SGM	0.8	19.4
	M-21	200.20 - 200.35	SGM	1.3	31.2
M-22	232.00 - 232.10	SGM	1.1	27.2	

Nota. (1) ALTERACION: SM sílice masiva, SA sílice alunita, SAC sílice alunita clay, SC sílice clay, C alteración clay, CP clay piritita, SGC sílice granular compacta, SGM sílice granular moderada, SGD sílice granular deleznable. PRO propilítico, RF roca fresca o ligeramente alterada, SGM tr SGC sílice granular moderada con tramos de sílice granular compacta.

Fuente: Laboratorio de Rocas de INGEOTEST Ingenieros.

Tabla 13 Resultados de los ensayos de compresión uniaxial

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Litología	Alteración	Resistencia compres. MPa
TIKA-DH-01	M-03	52.35 - 52.73	BXH	SGM	14.6
	M-06	61.30 - 61.57	TOBA	SGM	21.1
	M-14	80.40 - 80.60	BXH	SGM	34.1
	M-23	112.52 - 112.80	BX alterada	SGM	2.1
TIKA-DH-07	M-18	243.65 - 244.05	AND	PRO	31.6
TIKA-DH-08	M-15	21.21 - 21.41	BX	SGM a SGC	35.0
	M-16	87.52 - 87.80	TOBA	SGM a SGC	27.2
	M-17	96.00 - 96.20	TOBA	SGM a SGC	44.2
	M-29	192.70 - 182.85	BXH	SGM	69.5
TIKA-DH-09	M-21	71.40 - 71.61	BHXH	SGM a SGC	55.7
	M-22	102.80 - 102.96	BXF	SGM	70.9
	M-23	157.50 - 157.80	BXF	SGM	17.4
	M-24	188.77 - 189.10	BXF	SGM	18.0

TIKA-DH-02	M-03	10.05 - 10.40	BXH	SGM - SGD	42.4
	M-13	40.17 - 40.40	BX	SGM - SGD	35.6
	M-26	119.10 - 119.39	BXH	SGM - SGD	22.0
	M-30	142.95 - 143.15	BXH	SGM - SGD	33.9
	M-37	178.30 - 178.59	BXH	SGM - SGD	36.8
	M-40	185.50 - 185.73	BXH	SGM - SGD	30.0
TIKA-DH-03	M-07	39.70 - 40.05	BX	SGM	34.2
PZ-TIKA-01	M-09	57.79 - 58.02	TOBA LITICA	PRO	9.0
	M-10	104.60 - 104.82	AND	SCP	66.3
TIKA-DH-04	M-06	41.31 - 41.52	BX	SGC	84.0
	M-14	77.26 - 77.57	BX	SGC	35.8
	M-18	106.23 - 106.50	TOBA	SGC - SGM	13.2
TIKA-DH-05	M-08	79.25 - 79.46	BX	SGM	45.4
TIKA-DH-05	M-09	123.22 - 123.45	BX	SGM A SGC	27.8
	M-24	168.15 - 168.35	BX (triturada)	SGM	32.9

Nota. (1) LITOLOGIA: AND andesita, BX brecha, BXFm brecha freatomagmática, TUF tufo o toba, BXH brecha hidrotermal. (2) ALTERACION: SM sílice masiva, SA sílice alunita, SAC sílice alunita clay, SC sílice clay, C alteración clay, CP clay pirita, SGC sílice granular compacta, SGM sílice granular moderada, SGD sílice granular deleznable. PRO propilítico, RF roca fresca o ligeramente alterada.

Fuente. Laboratorio de Rocas de INGEOTEST Ingenieros.

Asimismo, a fin de disponer la resistencia compresiva uniaxial y las propiedades elásticas de la roca intacta se realizaron ensayos de constantes elásticas cuyo resumen se presenta en el cuadro N° 14.

Tabla 14 Resultados de los ensayos de constantes elásticas

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Litología	Alteración	Resistencia compresiva MPa	Módulo de Young "E" GPa	Relación Poisson "ν"
TIKA-DH-01	M-11	73.65 - 73.80	BXH	SGM	10.5	5.4	0.20
	M-21	101.10 - 101.29	BXH	SGM	14.1	27.2	0.20
	M-24	114.60 - 114.80	BXH	SGM	1.2	3.4	0.19
TIKA-DH-06	M-8	156.55 - 156.76	AND	SC	21.5	11.8	0.17
TIKA-DH-07	M-24	240.5 - 241.10	AND	PRO	17.9	21.9	0.17
TIKA-DH-08	M-23	93.6 - 93.86	TOBA	SGM a SGC	20.7	16.7	0.18
	M-24	143.83 - 143.90	BX	SGM	23.2	37.2	0.18
	M-27	48.66 - 48.80	BXH	SGM a SGC	22.3	20.6	0.18

TIKA-DH-09	M-28	135.24 - 135.40	BXF	SGM a SGC	14.9	14.4	0.17
TIKA-DH-02	M-02	9.70 - 9.86	TOBA	SGM a SGD	31.6	50.4	0.19
	M-05	15.00 - 15.26	TOBA	SGM - SGD	30.0	39.0	0.19
	M-09	23.90 - 24.12	TOBA	SGM - SGD	46.1	49.8	0.20
	M-15	54.00 - 54.20	BX	SGM - SGD	33.6	57.7	0.20
	M-34	165.90 - 166.13	BXH	SGM - SGD	32.4	27.3	0.19
TIKA-DH-03	M-11	43.94 - 44.16	TOBA	SGM	18.1	46.6	0.19
PZ-TIKA-01	M-15	48.80 - 49.00	Toba litic	PRO	13.3	15.7	0.20
	M-16	63.34 - 63.54	Toba Litic	PRO	18.6	34.6	0.21
	M-17	103.09 - 103.30	AND	FR	47.4	41.2	0.21
TIKA-DH-04	M-15	85.70 - 85.92	BX	SGC	12.8	10.1	0.20
	M-21	112.56 - 112.70	TOBA	SGC - SGM	20.1	17.5	0.20
TIKA-DH-05	M-12	77.20 - 77.31	BX	SGM	77.3	63.7	0.18
	M-13	100.80 - 101.02	BX	SGM	19.6	15.2	0.17
	M-14	125.00 - 125.15	BX	SGM A SGC	32.1	49.5	0.16
	M-26	139.60 - 139.80	BX	SGM	31.9	48.8	0.17
	M-27	151.30 - 151.45	BX	SGM	14.6	18.5	0.18
	M-28	176.30 - 176.45	BX	SGM	16	9.1	0.19
	M-29	193.32 - 193.50	BX	SGM	11.3	13.1	0.17
	M-30	205.10 - 205.30	BX	SGM	18.7	24.2	0.17
Bloque rocoso *	M-07	superficie			24.7	19.99	0.19

Nota. (1) LITOLOGIA: AND andesita, BX brecha, BXFm brecha freatomagmática, TUF tufo o toba, BXH brecha hidrotermal. (2) ALTERACION: SM sílice masiva, SA sílice alunita, SAC sílice alunita clay, SC sílice clay, C alteración clay, CP clay pirita, SGC sílice granular compacta, SGM sílice granular moderada, SGD sílice granular deleznable. PRO propilítico, RF roca fresca o ligeramente alterada.

Fuente. Laboratorio de Rocas de INGEOTEST Ingenieros, (*) ensayo ejecutado por SIASMIN en Laboratorio de rocas de GEOMECH.

Otro parámetro importante y de interés para la presente investigación, es la constante “mi” de la roca intacta del criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2007). Estos valores fueron obtenidos a partir de ensayos triaxiales y procesados utilizando el programa ROCDATA (2004) cuyos resultados se presentan en el cuadro N° 15.

Tabla 15 Resultados de los ensayos de compresión triaxial

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Litología 1 (Alteración 2)	Cohesión MPa	Angulo de fricción "φ" (°)	Resisten. Compres. MPa	Constante "mi"
TIKA-DH-01	M-05	60.30 - 61.15	Toba (SGM)	3.60	41.80	21.70	13.60
	M-19	94.85 - 95.88	BXH (SGM)	10.60	48.20	69.80	12.60
TIKA-DH-07	M-14ABC	195.60 - 196.45	BXH (SGM)	19.90	30.40	66.60	5.50
TIKA-DH-08	M-13AB	84.40 - 85.75	TOBA (SGM ASGC)	19.60	21.90	57.10	2.90
	M-14AB	112.08 - 113.30	BX (SGM)	11.10	44.80	61.00	11.50
TIKA-DH-09	M-19AB	86.40 - 86.95	BXF (SGC a SM)	16.00	45.00	65.20	18.30
	M-20AB	156.12 - 156.69	TOBA (SGM)	8.30	35.40	19.80	16.40
TIKA-DH-03	M-07AB	19.55 - 19.83	Toba (SGM)	12.10	45.00	42.80	23.20
TIKA-DH-02	M-11	28.65 - 29.15	BX (SGM - SGD)	17.00	31.00	56.40	6.10
	M-32ABC	160.93 - 161.50	BXH (SGM - SGD)	2.60	42.70	18.70	15.50
	M-39A	183.52 - 184.30	BXH (SGM - SGD)	14.30	43.60	51.70	19.20
	M-39B	184.02 - 184.30	BXH (SGM - SGD)	14.30	43.60	26.40	25.40
TIKA-DH-04	M-05	38.40 - 39.00	BX (SGC)	23.50	32.30	82.20	6.10
	M-13AB	75.90 - 76.72	BX (SGC)	4.90	44.70	31.50	13.10
TIKA-DH-05	M-07AB	121.55 - 122.11	BX (SGM A SGC)	7.10	43.10	38.50	11.80
	M-23AB	199.20 - 200.00	BX (SGM)	6.40	43.40	38.10	11.50
Bloque rocoso (*)	TIKA-N2	superficie	-	5.96	37.30	21.60	10.20

Nota. (1) LITOLOGIA: AND andesita, BX brecha, BXFm brecha freatomagmática, TUF tufo o toba, BXH brecha hidrotermal. (2) ALTERACION: SM sílice masiva, SA sílice alunita, SAC sílice alunita clay, SC sílice clay, C alteración clay, CP clay piritita, SGC sílice granular compacta, SGM sílice granular moderada, SGD sílice granular deleznable. PRO propilítico, RF roca fresca o ligeramente alterada.

Fuente. Laboratorio de Rocas de INGEOTEST Ingenieros.

Finalmente, considerando la importancia del peso unitario o densidad en los análisis de estabilidad, las propiedades físicas como la densidad seca, densidad húmeda, porosidad y peso específico aparente de la roca intacta, fueron determinadas mediante ensayos de laboratorio. Los resultados se dan en el cuadro N° 16.

Tabla 16 Resultados de los ensayos de propiedades físicas

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Densidad seca gr / cm ³	Porosidad aparente (%)	Absorción (°)	Peso específico kN / m ³
TIKA-DH-01	M-25-A	148.67 - 148.95	1.72	32.20	18.74	16.86
	M-25-B	148.95 - 149.20	1.71	31.35	18.31	19.79
	M-26	165.80 - 166.05	1.66	34.11	20.59	16.25
	M-27	171.72 - 171.88	1.84	28.89	15.67	18.08
	M-28	37.14 - 37.24	2.25	10.44	4.64	22.08
	M-29	46.85 - 46.95	2.18	11.71	5.36	21.43
	M-30	53.35 - 53.45	2.22	11.53	5.20	21.74
	M-31	72.70 - 72.80	2.12	12.80	6.03	20.83
	M-32	96.90 - 97.11	2.13	13.00	6.11	20.92
	M-33	111.95 - 112.08	2.04	16.46	8.10	19.97
	M-34	134.60 - 134.70	1.84	22.48	12.22	18.06
	M-35	142.00 - 142.10	1.68	29.17	17.40	16.46
TIKA-DH-06	M-02	49.00 - 49.06	2.29	10.81	4.73	22.42
	M-06	91.85 - 91.93	2.29	8.55	3.73	22.46
	M-09	156.76 - 156.86	2.14	19.02	8.91	20.95
TIKA-DH-07	M-25	72.70 - 72.80	2.03	15.43	7.59	19.95
	M-26	180.25 - 180.41	2.02	18.90	9.36	19.80
	M-27	253.18 - 253.30	2.50	5.90	2.36	24.54
TIKA-DH-08	M-18	18.80 - 18.90	2.55	4.07	1.6	25.00
	M-19	95.82 - 95.80	1.98	15.76	7.96	19.42
	M-20	113.38 - 113.45	2.28	13.42	5.88	22.40
	M-30	249.33 - 249.50	2.41	19.25	7.98	23.66
TIKA-DH-09	M-25	100.15 - 100.27	2.38	7.90	3.32	23.35
	M-26	225.59 - 225.70	2.25	9.50	4.23	22.07
TIKA-DH-02	M-10	27.55 - 27.87	2.01	16.47	8.23	19.68
	M-16	55.88 - 56.07	2.19	10.72	4.89	21.53
	M-24	111.16 - 111.40	2.17	12.13	5.60	21.29
	M-35	169.70 - 170.02	2.48	7.97	3.22	24.36
	M-42	192.66 - 193.01	2.49	8.60	3.47	24.39
	M-44	201.15 - 201.50	2.30	14.23	6.19	22.56
TIKA-DH-03	M-08	23.81 - 23.90	2.26	9.31	4.14	22.17
	M-09	34.64 - 34.75	2.23	10.51	4.72	21.83
	M-10	70.63 - 70.72	2.29	12.3	5.42	22.42
PZ-TIKA-01	M-11	24.77 - 24.84	1.64	41.46	25.43	16.11
	M-12	48.58 - 48.65	1.96	28.11	14.34	19.23
	M-13	72.83 - 72.93	2.15	19.22	8.97	21.05
	M-14	106.22 - 106.30	2.42	8.43	3.49	23.77
TIKA-DH-04	M-02	31.30 - 31.48	2.15	15.77	7.35	21.09
	M-09	56.00 - 56.30	2.17	11.55	5.32	21.29
	M-20	108.09 - 108.29	1.86	20.64	11.11	18.22
PZ-TIKA-02	M-09	15.88 - 15.95	2.41	7.17	2.97	23.69
	M-10	30.05 - 30.14	1.96	27.66	14.09	19.27
	M-11	48.11 - 48.20	2.26	15.21	6.75	22.14
	M-12	74.64 - 74.72	2.66	1.48	0.56	26.11
	M-13	93.73 - 93.81	2.64	1.36	0.52	23.93

TIKA-DH-05	M-01	30.90 - 31.00	1.59	21.93	13.81	15.59
	M-10	78.30 - 78.40	2.21	12.16	5.51	21.68
	M-11	118.58 - 118.70	2.29	10.34	4.52	22.44
	M-31	164.25 - 164.36	2.28	12.99	5.70	22.34
SGM-4056	M-01	Calicata	1.44	40.21	27.89	14.15
	M-02	Calicata	1.84	21.55	11.72	18.04
SGD-4048	M-01	Calicata	2.08	17.28	8.78	19.63
	M-02	Calicata	1.72	28.20	16.38	16.90
SGM-4040	M-02	Calicata	1.89	23.79	12.58	18.56
SGM-4032	M-01	Calicata	2.14	12.53	5.87	20.97
	M-02	Calicata	2.19	9.49	4.33	21.49
	M-03	Calicata	2.24	15.69	7.01	21.96
SM-4032	M-04	Calicata	2.41	5.01	2.07	23.65
SGM-4032	M-05	Calicata	2.21	8.61	3.90	21.66
SGD-4032	M-06	Calicata	1.77	30.32	17.17	17.33
SGD-4048	M-03	Calicata	1.85	22.20	12.02	18.13
SGD-4072	M-01	Calicata	1.73	24.12	13.92	17.00
SGD-4080	M-02	Calicata	1.82	21.88	12.01	17.88
SM-4080	M-03	Calicata	2.42	6.77	2.80	23.73
SGD-4008	M-01	Calicata	2.04	12.78	6.29	19.97
SGM-4064	M-02	Calicata	1.95	22.02	11.31	19.11
C-4040	M-01	suelo	1.72	-	-	1.742
C4048	M-04	suelo	1.51	-	-	1.574
SGD-4064	M-01	suelo	1.54	-	-	1.803
Bloque rocoso (*)	M-07	Roca	1.67	24.33	12.81	18.74

Nota. Fuente. Laboratorio de Rocas de INGEOTEST Ingenieros.

4.5.2. Resistencia de las discontinuidades

Desde el punto de vista de la estabilidad estructuralmente controlada, es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, puesto que éstas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y por tanto planos potenciales de falla. Bajo este mismo criterio en el análisis de equilibrio límite es importante cuando estos análisis consideran el factor anisotrópico de la masa rocosa.

La resistencia al corte en este caso está regida por los parámetros de fricción y cohesión de los criterios de falla Mohr-Coulomb. Estos parámetros de corte fueron determinados mediante ensayos de corte directo cuyo resultado se resume en el cuadro N° 17.

Considerando los perfiles de alteración proporcionado por APUMAYO, donde solo se presenta sílice granular en la mayor parte del tajo, mientras que los bancos superiores del sector norte del tajo están conformados por alteración Clay y el sector sur del tajo por sílice granular

deleznable y puntualmente la presencia de sílice clay en la zona de contacto entra la sílice granular y la alteración clay; en los análisis de estabilidad se promediara la calidad de estos dominios considerando este hecho.

Tabla 17 Resultados de los ensayos de corte directo

Fuente	Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Alteración	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
APUMAYO Laboratorio rocas INGEOTEST ING.	TIKA-DH-01	M-07	61.65 – 61.90	SGM	0.13	38.2
		M-10	68.38 – 68.58	SGM	0.32	38.5
		M-13	77.50 – 77.70	SGM	0.49	36.6
SIASMIN (GEOMECC)	Bloque	M-09	—	SG	0.02	42.2

4.5.3. Resistencia del macizo rocoso

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizó el criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2007), con el programa ROCLAB de Rocscience Inc. (2007). Para ello se tomaron los valores más representativos de calidad de la masa rocosa involucrada en cada sector de análisis, la resistencia compresiva uniaxial y la constante “mi” de la roca intacta, desarrollados en el presente estudio. En el cuadro N° 18 se presentan los parámetros obtenidos de las propiedades de resistencia de la masa rocosa por dominios de calidad y tipo de alteración.

Tabla 18 Parámetros de resistencia de la masa rocosa

Sector de análisis	Alteración	Peso unitario kN/m ³	Resistencia compresiva MPa	GSI	mi	Cohesión ¹ “c” kPa	Angulo ¹ de fricción (°)
SD-1, SD-2A y SD-2B	SGM	21.70	25.60	32	15	279	44
SD-3	SGM	22.30	45.50	39	18	440	51
SD-4	SGM	21.70	15.00	26	12	215	35
SD-5	SGM	21.70	38.40	32	15	279	44

Nota. (1) Parámetros de resistencia de la masa rocosa empleados en la función anisotrópica.

Por otro lado, se tomaron en cuenta las características geométricas y operacionales de los taludes del tajo, cuya configuración topográfica actual y la de cierre se tiene como data a procesar.

Respecto al material cuaternario registrado en los primeros metros de los sondajes geotécnicos, no han sido establecidos en los sólidos o modelos 3D de litología y alteración, por lo que en los análisis de estabilidad física estos se han considerado como roca de muy mala calidad y con propiedades similares a roca con alteración clay.

4.6. Análisis de Estabilidad Física y Diseño de Taludes

4.6.1. Generalidades

En esta sección se evalúan las condiciones de estabilidad física de los taludes del Tajo Apumayo 1 para la configuración topográfica ampliada, para lo cual se integra toda la información sistemáticamente desarrollada en los capítulos anteriores y en base a los criterios de análisis establecidos.

La estabilidad de los taludes típicamente está controlada por la geología de las paredes del tajo, el arreglo estructural y la calidad de la masa rocosa, las propiedades de resistencia de la roca intacta y el macizo rocoso, la resistencia al corte de las discontinuidades, las condiciones de agua subterránea, condiciones sísmicas, las condiciones de los esfuerzos de campo, la secuencia de minado y los métodos de excavación y voladura.

Los métodos de cálculo que más adelante se utilizan, tratan de representar adecuadamente a la masa rocosa involucrada, adoptando modelos de falla e integrando los factores principales que condicionan la estabilidad de los taludes generales o globales del tajo proyectado utilizando métodos de cálculo de **equilibrio límite**, apropiados para los mecanismos de roturas identificados.

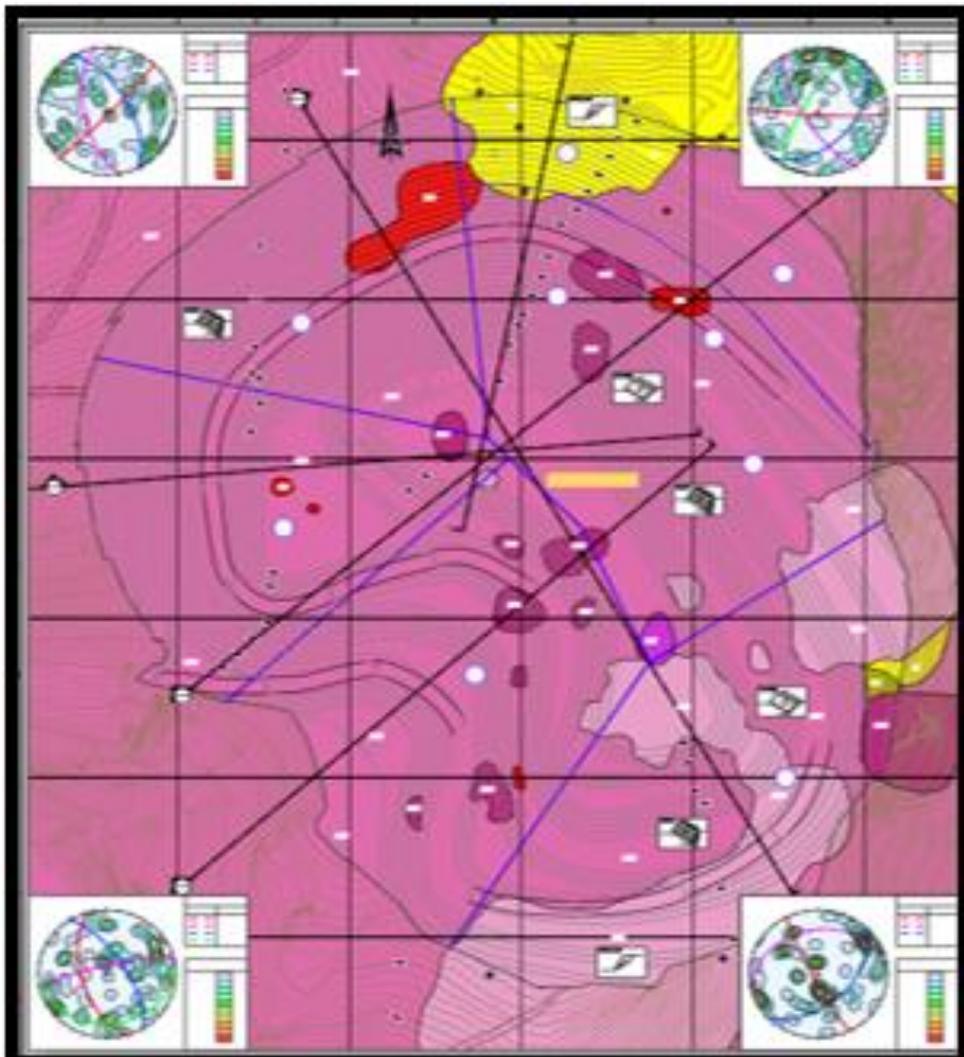
4.6.2. Sectorización de los Taludes de Tajo

La geología de las paredes del tajo utilizada en esta investigación se basa en los modelos geológicos, planos y el diseño geométrico proyectado del tajo proporcionados por el

área de Geotecnia, las mismas que fueron empleadas para la evaluación de la estabilidad de los taludes.

Se han definido cinco (5) sectores de diseño en el tajo (SD1, SD 2, SD 3, SD 4 y SD 5), en donde el sector de diseño 2 (SD2) se ha dividido en dos (2) sub sectores (SD2A y SD2B), a fin de agrupar áreas con similares características geométricas, geológicas y calidad del macizo rocoso. Los sectores del tajo se muestran en el Plano APU – 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis).

Figura 28 Alteraciones y sectores de análisis



Fuente: Apumayo S.A.C

La evaluación de la estabilidad física de los taludes fue ejecutada mediante dos (2) tipos de análisis:

- Análisis de estabilidad cinemático controlado por las estructuras a nivel de los taludes de banco.
- Análisis de estabilidad general de la masa rocosa controlado por su calidad y aspecto estructural a nivel de talud interrampa y general.

El análisis de estabilidad cinemático fue ejecutado para identificar modos de inestabilidad cinemáticamente posibles y en base a estos modos de falla identificados establecer la estabilidad de los bancos y taludes multi banco.

Los análisis de estabilidad de los taludes interrampa o general, fueron ejecutados para evaluar la estabilidad de los taludes generales considerando que la estabilidad en estos casos está regida por el arreglo estructural y la resistencia de la masa rocosa. Para cada uno de los sectores de diseño la estabilidad física de los taludes del tajo fue establecido después de considerar los resultados de ambos tipos de análisis.

Tabla 19 Criterios de análisis

Descripción	Criterio	Unidad	Fuente	Comentarios
1. General				
Ubicación del tajo / Coordenadas	N 8 339300 E 616 340	UTM WGS 84	APUMAYO	Coordenada del punto central del tajo
Elevación	4 136	msnm	APUMAYO	Cota superior del tajo
Área	31.04	Ha	APUMAYO	De acuerdo a los límites establecido en el diseño ampliado del tajo por APUMAYO año 2022.
2. Operación				
Densidad promedio de mineral	21.05	T/m ³	APUMAYO	Valor promedio de ensayos de laboratorio de rocas
Talud de banco	55	grados	APUMAYO	-
Altura de banco	16	m	APUMAYO	-
Ancho de berma	4.5 y 5.5	m	APUMAYO	-
Talud general o global	45	grados	APUMAYO	-
3. Sismicidad y Estabilidad				
Aceleración basal horizontal pico en la superficie del terreno (PGA) Roca Tipo B (periodo de retorno 475 años)	0.364	g	APUMAYO /ANDES	Estudio de Peligro Sísmico
Aceleración basal horizontal pico en la superficie del terreno (PGA) Suelo Tipo B (Roca) - (periodo de retorno 100 años)	0.198	g	APUMAYO /ANDES	Estudio de Peligro Sísmico
Coefficiente sísmico (CS) probabilístico para operación; periodo de retorno de 100 años	0.19	-	SIASMIN / Taylor / Cuerpo de ingenieros de los EEUU / ANDES	Igual al 100% de la aceleración horizontal máxima para un periodo de retorno de 100 años de acuerdo al Artículo 264 del RSSO.
4. Factores de Seguridad				
Talud de banco - Factor de seguridad condición estática Probabilidad de falla	≥ 1.0 $< 35\%$	-	Priest & Brown (1983), Hoek (1991). Según el US Army Corps of Engineers, 2003. Johan Wesseloo & John Read "Acceptance Criteria" –Guidelines for Open Pit Slope Design. Art. 264 - Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería RSSO.	Según el RSSO el talud general se establece mediante un análisis pseudoestático.
Talud general - Factor de seguridad (FS) en condición estática. Operación y Cierre	≥ 1.3	-		
Talud general - Factor de seguridad (FS) en condición pseudoestática para un periodo de retorno de 100 operación y 475 años cierre.	≥ 1.0	-		

4.6.3. Secciones de Análisis

Para el análisis de la estabilidad de los taludes se han definido cuatro (4) secciones geotécnicas representativas: Sección 1-1', Sección 2-2', Sección 3-3' y Sección 4-4', consideradas como las más críticas donde el talud general presenta la máxima altura y la máxima pendiente. La ubicación de las secciones de análisis se muestra en el Plano APU - 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis) y las secciones geotécnicas correspondientes se presentan en los Planos APU - 04 (Sección geotécnica 1-1'), APU - 05

(Sección geotécnica 2-2'), APU - 06 (Sección geotécnica 3-3') y APU - 07 (Sección técnica 4-4'), donde se observan las diferentes dominios estructurales o unidades geotécnicas. Adicionalmente para el sub sector de diseño SD2A, se ha generado la sección 5-5' solo para emplear en el programa Slide a fin de ejecutar el análisis de estabilidad de este sub sector de diseño.

Figura 29 Sección geotécnica 1-1'

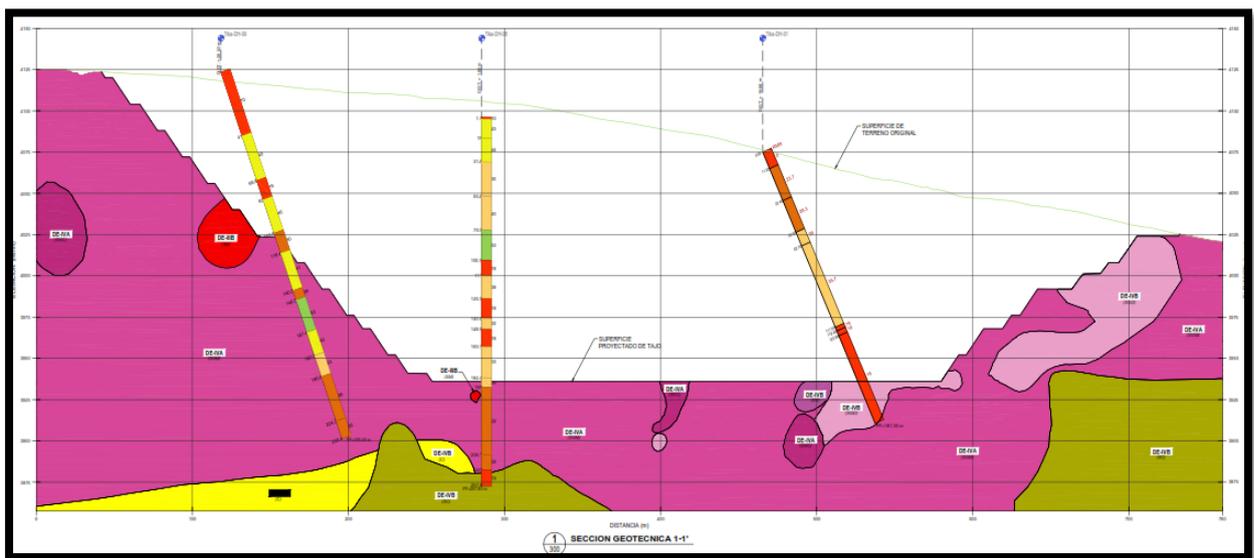


Figura 30 Sección geotécnica 2-2'

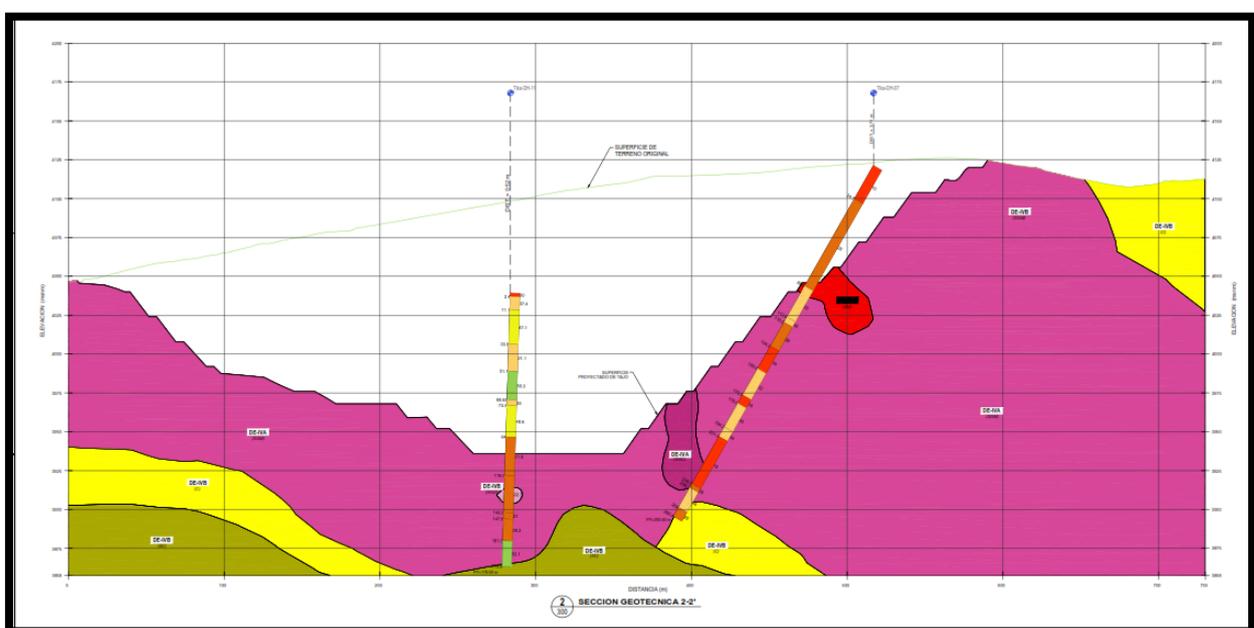


Figura 31 Sección geotécnica 3-3'

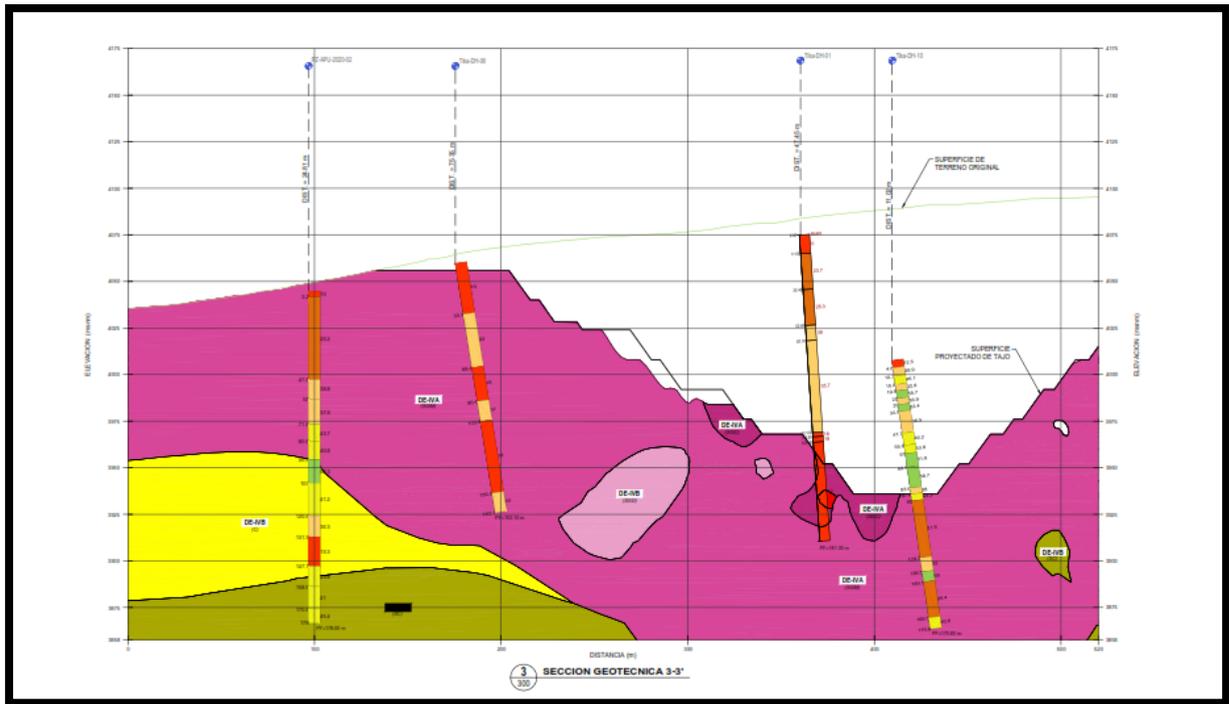
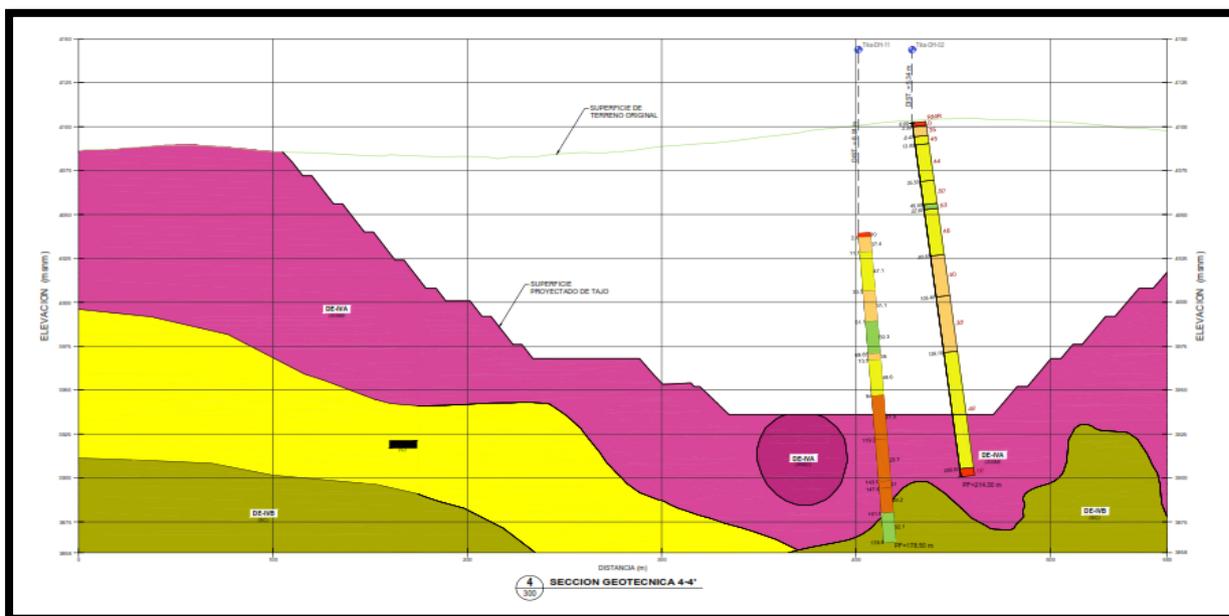


Figura 32 Sección geotécnica 4-4'



Según la información topográfica adquirida, el sistema banco berma revisado a partir de las secciones críticas estaría conformado por bancos con una altura promedio de 16.00 m,

taludes de banco de 55° y anchos de banquetta de 4.50 m a 5.60 m, conformando un talud global de aproximadamente 45° considerando rampas de transporte de 12.00 m de ancho.

4.6.4. Identificación de Mecanismo de Falla (Análisis Cinemático)

Para la identificación de los modos de falla, se efectuó una evaluación de los problemas de inestabilidad potencial de los taludes, efectuando análisis cinemáticos con utilización de técnicas estereográficas y aplicando el Test de Markland (1976).

Los datos de entrada utilizados fueron: el arreglo estructural de la masa rocosa cuyos sistemas de discontinuidades se presenta en los estereogramas mostrados en el Plano APU – 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis); la geometría proyectada que presenta los taludes del tajo según el diseño topográfico, y las propiedades de resistencia al corte de las discontinuidades de las rocas.

El análisis cinemático se orientó a evaluar los mecanismos de rotura de la masa rocosa de los taludes de bancos, considerando como punto de partida un ángulo de 55°, que corresponde al talud de operación. Los resultados de los análisis cinemáticos, son presentados en las figuras DIPS - 01 a DIPS - 05 del Anexo F y en forma gráfica en el Plano APU - 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis). Un resumen de los resultados se presenta en el cuadro N° 20. Estos resultados revelan lo siguiente:

- Inestabilidad tipo vuelco en los sectores de diseño 1 (SD1) y en el sector de diseño 2B (SD2B).
- Inestabilidad menor tipo cuña en el sector de diseño 2B (SD2B).
- Inestabilidad menor tipo planar se presenta en el sector de diseño 3 (SD3).
- En el sector de diseño 2A (SD2A) la masa rocosa está conformada por rocas con alteración clay y sílice granular moderada generalmente de calidad Mala B y muy fracturadas, donde el arreglo estructural y la inestabilidad cinemática pierde importancia, en estas condiciones es más adecuado asumir **falla tipo circular** en los análisis de estabilidad. (Sección geotécnica 5-5').

- Para el caso de los taludes interrampa, estos interactuarán con los resultados de la evaluación banco-berma y con los resultados de los análisis de estabilidad de taludes finales generales.

Tabla 20 Resultados del análisis cinemático por sectores de diseño

Sector	Dirección de buzamiento de la cara del talud ⁽¹⁾	Talud de banco (°) ^{(2) (3)}	Mecanismo de falla
1	150	55	Inestabilidad tipo vuelco en taludes de banco.
2	2A	170	Inestabilidad circular.
	2B	235	Inestabilidad menor tipo cuña y tipo vuelco en taludes de banco.
3	265	55	Inestabilidad menor tipo planar.
4	035	55	Arreglo estructural no produce inestabilidad cinemática.
5	085	55	Inestabilidad tipo cuña de muy baja probabilidad sería posible si talud de banco mayor a 65°.

Nota.

- (1) Dirección de buzamiento nominal de la cara del talud de los sectores de diseño del tajo.
 (2) El ángulo del talud de banco inicial definido para los análisis cinemáticos
 (3) El ángulo de fricción de 35° para todo tipo de discontinuidades fue asumido.

4.6.5. Análisis de Estabilidad de Taludes de Banco

Para evaluar la estabilidad de los taludes de banco, identificados como potencialmente inestables en el análisis cinemático y confirmar el ángulo de la cara del talud de banco, se han utilizado las siguientes herramientas de cálculo:

- Para la inestabilidad tipo circular aplicado en rocas de mala calidad se ha empleado el programa SLIDE Versión 6.0, desarrollado por Rocscience Inc. (2004).

Estos programas de estabilidad de taludes realizan el análisis utilizando el concepto de equilibrio límite. Los análisis pueden ser determinísticos para calcular el factor de seguridad, o probabilísticos para calcular la probabilidad de falla de los taludes. En este caso se empleó el método determinístico y probabilístico, considerando análisis en condición estática y pseudoestática.

Los parámetros resistentes empleando el criterio de Morh-Coulomb (cohesión 20 kPa y ángulo de fricción de 38°) fueron obtenidos de los resultados de los ensayos de corte directo se

emplearon para falla tipo cuña y planar. Para falla circular se empleó una cohesión de 25 kPa y un ángulo de fricción de 30°.

La geometría adoptada para estos análisis fueron bancos con ángulos de taludes de 55° para falla circular, falla planar y falla en cuña, considerando alturas de banco de 16.0 m en las paredes del tajo. Los resultados de los análisis realizados, se presentan en la figura SLIDE - 01 del Anexo G y un resumen en el cuadro N° 20

Para el sector de diseño 2A (SD2A) con inestabilidad tipo circular la evaluación se realizó solo para bancos de 16.00 m de altura según el diseño geométrico del tajo, obteniéndose un factor de seguridad menor a mínimo establecido, por lo que se echó el talud de banco a 50°, el resultado indica condiciones de estabilidad adecuada. No obstante, este resultado sería más adecuado establecer en rocas de alteración clay y sílice granular deleznable emplear bancos de 8.00 m de altura.

Para falla tipo planar y tipo cuña los resultados de los análisis en los sectores de diseño SD2B y SD3, los taludes de banco presentan estabilidad adecuada para bancos de 16.00 m, ya que los factores de seguridad son mayores a los mínimos establecidos en los criterios de análisis.

Tabla 21 Resultados del análisis de estabilidad de bancos

Sector de diseño	Tipo de falla	Altura de banco (m)	Angulo de talud de banco (°)	Probabilidad de falla (%)	Factor de seguridad
2A	Circular	16.00	55	-	1.04
			50 ⁽¹⁾	-	1.15
2B	Cuña	16.00	55	-	8.20
3	Planar	16.00	55	3.80	1.16

Nota. (1) Medida de estabilización mediante echado del talud de banco a 50°

4.6.6. Análisis de Estabilidad de Taludes Finales

El ángulo máximo de los taludes en masas rocosas en excavaciones superficiales de calidad regular a buena y de pequeña altura, generalmente está determinado por la formación de inestabilidad cinemática y la resistencia de las discontinuidades, mientras que, en

excavaciones de mediana a gran altura, usualmente está determinado por la resistencia del macizo rocoso, esta resistencia se determina utilizando el criterio de Hoek & Brown (2002).

Según lo señalado, se evalúa el ángulo máximo de los taludes finales, o denominados también taludes generales o globales empleando modelos de análisis de equilibrio límite para cada uno de los sectores de diseño, tomando en cuenta los conceptos que se mencionan en seguida.

- En tajos de mediana a gran altura cuando la masa rocosa tiene calidad menor a Regular B, cuyo límite en términos de RMR puede ser 40 (Roca Mala y Muy Mala), el mecanismo de rotura por lo general es de tipo circular.
- Los taludes del Tajo Apumayo 1 son de pequeña a mediana altura y generalmente la calidad de la masa rocosa es Mala B, Mala A y Regular B, por lo que se tendrá que realizar análisis de falla no circular considerando las propiedades tanto de la masa rocosa como de las discontinuidades introduciendo en los análisis la inestabilidad cinemática potencial (análisis anisotrópico).

4.6.6.1 Métodos de Cálculo

Para el análisis de la estabilidad del talud general de los diferentes sectores del tajo, se ha utilizado el software SLIDE, desarrollado por Rocscience (2004), aplicando el modo de falla no circular y el método de cálculo de GLE/Morgenstern Price. SLIDE es un programa de análisis de estabilidad de taludes completamente integrado, que permite desarrollar la geometría de los taludes rocosos interactivamente y realizar el análisis utilizando el concepto de equilibrio límite.

Los análisis pueden ser determinísticos, para calcular el factor de seguridad, o probabilísticos, para calcular la probabilidad de falla de los taludes. Está preparado para considerar el efecto del agua, de fuerzas externas y sísmicas, y el reforzamiento de los taludes para su estabilización.

4.6.6.2 Condiciones de Análisis

Los diferentes análisis de estabilidad para cada sector de diseño del tajo, se llevaron a cabo en las secciones geotécnicas 1-1' al 4-4' cuyas trazas en planta se presentan en el Plano APU - 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis). Adicionalmente para evaluar la estabilidad de los bancos superiores del sector norte con alteración clay Sector de diseño 2A (SD2A), se ha generado la sección 5-5' solo para ser empleada en el programa Slide.

En cada sección de análisis se han considerado los diferentes dominios estructurales, con sus propiedades de resistencia al corte establecidas de acuerdo a los criterios de Mohr-Coulomb y al criterio de Hoek & Brown. Las condiciones de presencia del agua subterránea, han sido asumidas de acuerdo a lo tratado en la Hidrogeología. Similarmente, las condiciones sísmicas de la zona han sido asumidas de acuerdo a lo tratado en el estudio de Sismicidad, respecto a este tema.

4.6.6.3 Factores de Seguridad (FS) Mínimos

Para el caso de los taludes finales o generales, el criterio adoptado fue establecido en el cuadro N° 26 (criterios de análisis) donde se establece un factor de seguridad mínimo de 1.0, considerando el efecto del agua subterránea y el efecto sísmico, es decir se trata de un factor de seguridad pseudoestático no drenado (condiciones críticas). En términos del factor de seguridad estático no drenado, el factor de seguridad mínimo considerado es de 1.3 – 1.5. Estos valores corresponden a publicaciones que recomiendan los valores mínimos del factor de seguridad y la probabilidad de falla a ser empleados en el diseño de estructuras rocosas, pero generalmente están relacionados a la ingeniería civil y no a la minería. Para aclarar esta situación J. Wesselo & J. Read publicaron el cuadro N° 29 para ser usado típicamente como criterios de aceptabilidad en la industria minera.

Al respecto las normas Peruanas del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del Perú "RSSO" dispone en su Artículo 264, que la pendiente general del tajo será establecida bajo condiciones pseudoestática no drenadas, asumiendo las máximas aceleraciones sísmicas para un periodo de retorno de 100 años.

Para la evaluar la estabilidad física de los taludes del Tajo Apumayo 1 considerando el artículo 264 del RSSO, los cuadros N° 26 y 29, los factores de seguridad mínimos serán de **1.3** para condición estática y **1.0** para condición pseudoestática no drenada considerando un coeficiente sísmico de **0.19** para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 22 Valores y criterios típicos del Factor de Seguridad y probabilidad de falla

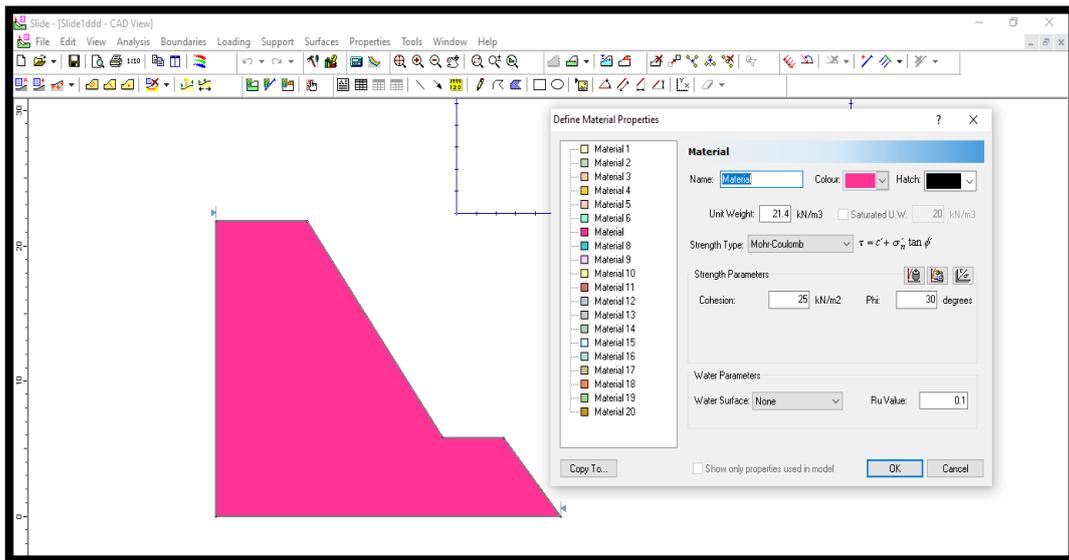
Escala del talud	Consecuencias de la falla	Criterio de aceptabilidad		
		FS mínimo estático	FS mínimo pseudoestático	PF máxima P ($FS \leq 1$)
Talud de Banco	Bajo - alto	1.1	NA	25 – 50%
Talud Interrampa	Bajo	1.15 – 1.2	1.0	25%
	Medio	1.2	1.0	20%
	Alto	1.2 – 1.3	1.1	10%
Talud general o talud final	Bajo	1.2 – 1.3	1.0	15 – 20%
	Medio	1.3	1.05	5 – 10%
	Alto	1.3 – 1.5	1.1	$\leq 5\%$

4.6.6.4. Determinación del Factor de Seguridad

Para la determinación adecuada de los factores de seguridad hacemos uso del Software SLIDE V 6.0, sin embargo, es oportuno determinar minuciosamente los cálculos establecidos para entender el funcionamiento del software que posee datos de entrada obtenidos básicamente por laboratorio y que genera datos representativos para un diseño óptimo. Es así para el caso aplicativo consideraremos las siguientes condiciones para estabilizar el talud.

Es así que, bajo todas las condiciones, determinamos mediante el Método de Equilibrio Límite, incluyendo todas estas consideraciones.

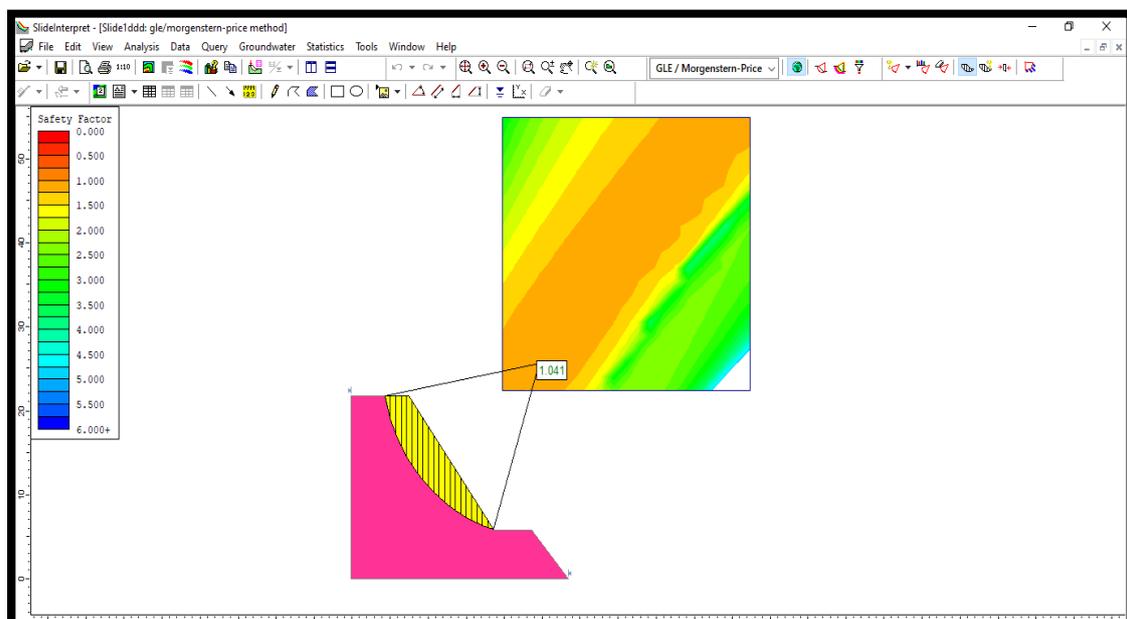
Figura 33 Datos de entrada para la determinación del F.S



Fuente: Elaboración propia

Para tal efecto se considera el Método de Dovelas en el que seccionamos proporcionalmente las rebanadas encontradas en la superficie de falla y determinamos el factor para cada dovela.

Figura 34 Determinación del F.S Mediante el método de Morgenstern- Price



Fuente: Elaboración propia

Así seccionamos 20 dovelas y determinamos el factor de seguridad, considerando.

Para los cálculos aplicativos consideraremos una metodología del equilibrio límite:

Método Ordinario de Fellenius: El método ordinario de Fellenius asume una falla circular, divide el bloque de falla en rebanadas y obtiene el equilibrio de momentos producido por las fuerzas actuantes, sobre cada rebanada, respecto el círculo de falla. Las fuerzas que actúan sobre cada división son el peso y las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en la superficie de falla. Este método desprecia las fuerzas de presión y cortante en las paredes de las rebanadas (Suárez J. , 2009).

Por lo tanto, al realizar el equilibrio se obtiene:

$$FS = \frac{\Sigma(c'\Delta l + (W\cos\alpha - u\Delta l\cos^2\alpha)\tan\phi')}{\Sigma W\sin\alpha}$$

Donde:

α = Ángulo entre la vertical y radio del círculo bajo el centro de cada rebanada.

W = Peso total de la rebanada.

u = Presión de poros.

Δl = Longitud de arco del círculo de la base de cada rebanada.

c' y ϕ' = Parámetros de resistencia (Cohesión y ángulo de fricción).

Considerando ello, realizaremos la determinación para 02 dovelas representativas de tal forma que se obtiene:

Condiciones generales del talud:

Peso específico $P_e = 21.4 \text{ KN/m}^3$

Cohesión $c' = 25 \text{ Kpa}$

Ángulo de Fricción $\phi' = 30^\circ$

Presión de Agua $R_u = 0.10$

Condiciones de la Dovela N° 06:

$\Delta l = 1.17\text{m}$

$W = 115.84 \text{ kN}$

$\alpha = 52.52^\circ$

$$FS = \frac{\Sigma(c'\Delta l + (W\cos\alpha - u\Delta l\cos^2\alpha)\tan\phi')}{\Sigma W\sin\alpha}$$

$$FS = \frac{(25 * 1.17 + (115.84 * \cos(52.52^\circ) - 0.10 * 1.17 * \cos^2(52.52^\circ)) \tan 30^\circ)}{115.846 * \sin(52.52^\circ)}$$

$$F.S = \frac{69.92}{91.93} = 0.76$$

Condiciones de la Dovela N° 11:

$$\Delta l = 0.91\text{m}$$

$$W = 93.34 \text{ kN}$$

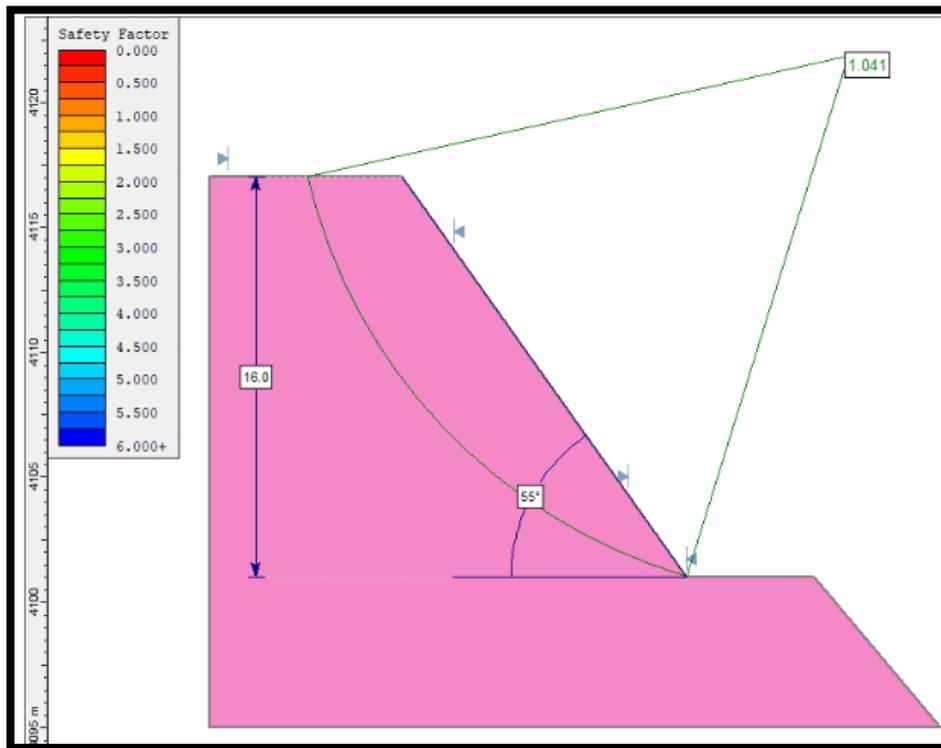
$$\alpha = 38.41^\circ$$

$$FS = \frac{(25 * 0.91 + (93.34 * \cos(38.41^\circ) - 0.10 * 0.91 * \cos^2(38.41^\circ)) \tan 30^\circ)}{93.34 * \sin(38.41^\circ)}$$

$$F.S = \frac{64.95}{57.99} = 1.12$$

Es así que considerando la incidencia para cada una de las dovelas determinamos el factor de seguridad bajo todas las condiciones geotécnicas ya previamente establecidas, resultando, en este ejemplo se consideran 20 dovelas, las cuales individualmente poseen distintos factores de seguridad, realizando un promedio con cada casuística concluimos que el F.S = 1.041, para todo el bloque del ejemplo mostrado.

Figura 35 Resultado final con un FS = 1.041



Fuente: Elaboración propia

4.6.7. Diseño de Taludes

En esta sección se determina los parámetros geométricos elementales como son la altura de banco, ancho de banqueta, ancho de berma y ángulo de banco o talud de banco.

4.6.7.1. Determinación de la Altura de Banco

Se cumplen los criterios operativos, incluida la verificación de las características del tramo del dispositivo de carga y / o el perfil seleccionado para la operación y determinar la altura del piso. Se tiene la altura máxima del cucharón de la excavadora 365CL-10 con una altura máxima de excavación de 9 m, excavadora Ex. 374DL /374FL con altura máxima de excavación 8.0 m y para el equipo de perfilado Excavadora 345CL-08 con una altura máxima de excavación de 9 m., asimismo se cuenta con DM45 #10 perforadoras con 9 m de longitud de barra y si se busca aprovechar la eficiencia de los equipos de carguío y perforación, por tal motivo la altura de banco para esta operación es de 8 m.

4.6.7.2 Determinación del Ancho de Berma

Basado en la ecuación desarrollada por Ritchie (1963) y modificado por Evans y Call en 1992; “se calcula el ancho de berma del talud, sin embargo, existe condiciones en la selección de la ecuación; si el talud es mayor o menor a 9.0 m”.

Se calcula utilizando la ecuación (1):

$$W = 0.2*(H)+2.0$$

Remplazando los datos se tiene, para un banco simple:

$$W = 0.2*8+2.0$$

$$W = 3.6 \text{ m}$$

Remplazando datos para un banco doble:

$$W = 0.2*16+4.5$$

$$W = 7.7 \text{ m}$$

4.6.7.3 Determinación del Ancho de Banco

A partir del ancho de berma se calcula el ancho de banco, mediante la expresión matemática:

De los siguientes valores:

- Angulo de banco, $a_b=55^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 8 \text{ m}$
- Ancho de berma, $B = 3.6 \text{ m}$

Ecuación para calcular el ancho de banco:

$$W_b = h_b * \text{ctg}(a_b) + B$$

Remplazando los datos se tiene, para un banco simple:

$$W = 8 * \text{ctg } 55^\circ + 3.6 = 9.20\text{m}$$

De los siguientes valores:

- Angulo de banco, $a_b=55^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16 \text{ m}$

- Ancho de berma, $B = 7.7$ m

Ecuación para calcular el ancho de banco:

$$Wb = hb * ctg(ab) + B$$

$$W = 16 * ctg 55^\circ + 7.7 = 18.90 = 19m$$

De los siguientes valores:

- Angulo de banco, $a_b = 50^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 8$ m
- Ancho de berma, $B = 3.6$ m

Ecuación para calcular el ancho de banco:

$$Wb = hb * ctg(ab) + B$$

$$W = 8 * ctg 50^\circ + 3.6 = 10.31 = 10m$$

De los siguientes valores:

- Angulo de banco, $a_b = 50^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m

Ecuación para calcular el ancho de banco:

$$Wb = hb * ctg(ab) + B$$

$$W = 16 * ctg 50^\circ + 7.7 = 21.13 = 21m$$

4.6.7.4 Determinación de Talud de Banco

Este parámetro generalmente se determina en función de las características de geingeniería del terreno. Por lo tanto, la prueba se realiza de acuerdo con los pasos del diagrama de flujo para determinar los parámetros geométricos óptimos para la pendiente, y se presenta pruebas para encontrar el ángulo de inclinación óptimo utilizando software petrográfico geotécnico existente y / o litología primaria en condiciones estáticas y pseudoestáticas en diversas variaciones de obtenidas con el método de análisis de Morgenstern Price.

4.6.7.5. Determinación de Talud Interrampa

De los siguientes valores (Z1):

- Angulo de banco, $a_b=55^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m
- Ángulo interrampa, a_r

Ecuación para calcular el ángulo interrampa:

$$a_r = \tan^{-1}\left(\frac{h_b}{h_b * \cot(a_b) + B}\right)$$

Reemplazando los valores:

$$a_r = \tan^{-1}\left(\frac{16}{16 * \cot(55^\circ) + 7.7}\right) = 40.24^\circ$$

De los siguientes valores (Z2):

- Angulo de banco, $a_b=55^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 8$ m
- Ancho de berma, $B = 3.6$ m
- Ángulo interrampa, a_r

Ecuación para calcular el ángulo interrampa:

$$a_r = \tan^{-1}\left(\frac{h_b}{h_b * \cot(a_b) + B}\right)$$

Reemplazando los valores:

$$a_r = \tan^{-1}\left(\frac{8}{8 * \cot(55^\circ) + 3.6}\right) = 41.00^\circ$$

De los siguientes valores (Z3):

- Angulo de banco, $a_b=45^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m
- Ángulo interrampa, a_r

Ecuación para calcular el ángulo interrampa:

$$ar = \tan^{-1}\left(\frac{hb}{hb * \cot(ab) + B}\right)$$

Reemplazando los valores:

$$ar = \tan^{-1}\left(\frac{16}{16 * \cot(45^\circ) + 7.7}\right) = 37.02^\circ$$

De los siguientes valores (Z4):

- Angulo de banco, $a_b=50^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m
- Ángulo interrampa, a_r

Ecuación para calcular el ángulo interrampa:

$$ar = \tan^{-1}\left(\frac{hb}{hb * \cot(ab) + B}\right)$$

Reemplazando los valores:

$$ar = \tan^{-1}\left(\frac{16}{16 * \cot(50^\circ) + 7.7}\right) = 37.14^\circ$$

4.6.7.6 Determinación del Talud Global

El ángulo global del talud es calculado geoméricamente a partir de los parámetros elementales, y se calcula mediante la ecuación:

$$a_0 = \tan^{-1}\left(\frac{\lambda b * h_b}{\lambda b * h_b * \cot a_b + (\lambda b - 1)B}\right)$$

Donde (Z1):

- Ángulo global, a_0
- Angulo de banco, $a_b=55^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m
- Número de bancos, $\lambda b = 7$

Reemplazando los valores se tiene:

$$a_0 = \tan^{-1} \left(\frac{7 * 16}{7 * 16 * \cot(55^\circ) + (7 - 1)7.7} \right) = 41.95^\circ$$

Donde (Z1):

- Ángulo global, a_0
- Angulo de banco, $a_b=45^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m
- Número de bancos, $\lambda_b = 11$

Reemplazando los valores se tiene:

$$a_0 = \tan^{-1} \left(\frac{11 * 16}{11 * 16 * \cot(45^\circ) + (11 - 1)7.7} \right) = 34.82^\circ$$

Donde (Z1):

- Ángulo global, a_0
- Angulo de banco, $a_b=50^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 16$ m
- Ancho de berma, $B = 7.7$ m
- Número de bancos, $\lambda_b = 11$

Reemplazando los valores se tiene:

$$a_0 = \tan^{-1} \left(\frac{11 * 16}{11 * 16 * \cot(50^\circ) + (11 - 1)7.7} \right) = 30.07^\circ$$

4.6.7.7 Determinación de la Altura Global

La altura total se puede calcular a partir de la altura total entre pendientes, o el producto de la altura del relleno y el número de terraplenes presentes en la pendiente. Actualmente, se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$h_0 = N_b * h_b$$

Donde (Z1):

- Altura global, h_0

- Número de bancos, $\lambda b = 4$ y 3
- Altura de banco, $h_b = 16$ y 8 m

Reemplazando valores se tiene:

$$h_0 = 4 \cdot 16 + 3 \cdot 8 = 64 + 24 = 88 \text{ m}$$

Donde (Z2):

- Altura global, h_0
- Número de bancos, $\lambda b = 10$ y 4
- Altura de banco, $h_b = 16$ y 8 m

Reemplazando valores se tiene:

$$h_0 = 10 \cdot 16 + 4 \cdot 8 = 160 + 32 = 192 \text{ m}$$

Donde (Z3):

- Altura global, h_0
- Número de bancos, $\lambda b = 9$ y 6
- Altura de banco, $h_b = 16$ y 8 m

Reemplazando valores se tiene:

$$h_0 = 9 \cdot 16 + 6 \cdot 8 = 144 + 48 = 192 \text{ m}$$

4.6.7.8 Determinación del Ancho de Rampa

El ancho de la rampa debe mantenerse a un ancho mínimo de 3,5 veces el ancho del vehículo de carga máxima que pasa por la mina. El ancho de la carretera se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{A = a(0.5 + 1.5n)}$$

Dónde:

A = Anchura total de la vía (m)

a = Anchura del vehículo en (m)

n = Número de carriles deseados

Reemplazando datos en la ecuación, se tiene:

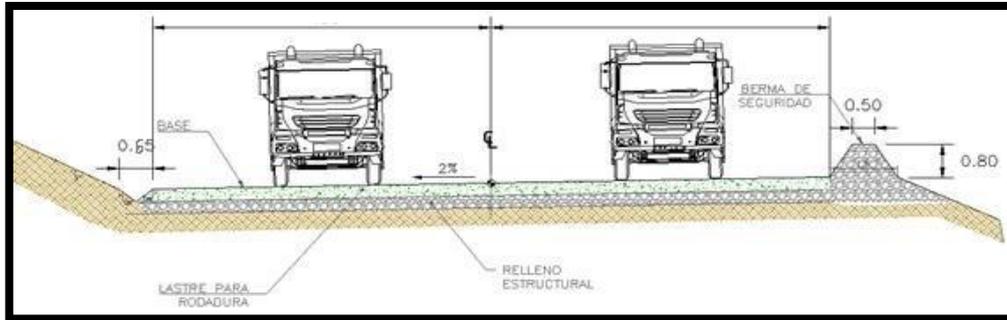
$$A = 3.15 \cdot (0.5 + 1.5 \cdot 2) \Rightarrow A = 11.025 \text{ m}$$

Considerando el ancho de muro de seguridad y el ancho de la cuneta

$$A = 11.025 + 0.5 + 0.65$$

$$A = 12.20 \text{ m.}$$

Figura 36 Esquema de diseño de ancho de rampa



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

4.6.8. Resultados de los Análisis de Estabilidad

Los resultados de los análisis de estabilidad física de los taludes finales, se presentan en las figuras SLIDE - 01 a SLIDE - 25 del Anexo F y un resumen de los mismos en el cuadro N° 27.

Tabla 23 Factores de Seguridad - Diseño Topográfico Ampliado

Sector de diseño	Sección de análisis	Altura de talud de sector (m)	Angulo de talud interrampa (°)	Factor de Seguridad			
				Estático		Pseudoestático	
				Drenado	No drenado	Drenado	No drenado
SD-1	1-1'	188	45	1.790	1.790	1.326	1.326
SD-2	SD-2A	5-5'	80	0.723	0.723	0.534	0.542
	SD-2B	2-2'	195	45	1.670	1.670	1.195
SD-3	1-1'	90	30 - 45	1.273	1.273	0.978	0.978
SD-4	3-3'	120	40	1.990	1.990	1.489	1.489
SD-5	4-4'	150	45	1.667	1.667	1.230	1.230

Estos resultados revelan que a nivel de taludes generales o globales que presenta la topográfica ampliada del Tajo Apumayo 1, tienen condiciones de estabilidad satisfactorias. Sin embargo, localmente en los últimos cinco (5) bancos superiores del sector norte del tajo

(Sector de diseño 2A - sección de análisis 5-5'), se presenta roca con alteración clay donde los resultados del análisis de estabilidad indican factores de seguridad menores al mínimo establecido en los criterios de análisis.

A fin de obtener valores del factor de seguridad igual o mayor a los mínimos establecidos en los bancos superiores del sector norte del tajo, como medida de remediación se ha simulado el echado de los taludes de banco a 45° con anchos de berma de 7.50 m. Los resultados del análisis de estabilidad se presentan en las figuras N° SLIDE - 01 a SLIDE - 25 del Anexo F, se muestra el área de echado y los taludes recomendados.

Tabla 24 Factores de Seguridad - Diseño Topográfico Ampliado con Medidas de Estabilización

Sector de diseño	Sección de análisis	Altura de talud de sector (m)	Angulo de talud interrampa (°)	Factor de Seguridad			
				Estático		Pseudoestático	
				Drenado	No drenado	Drenado	No drenado
SD-2B	5-5'	195	34	1.703	1.703	1.202	1.202
SD-3	1-1'	90	34	1.536	1.536	1.152	1.180

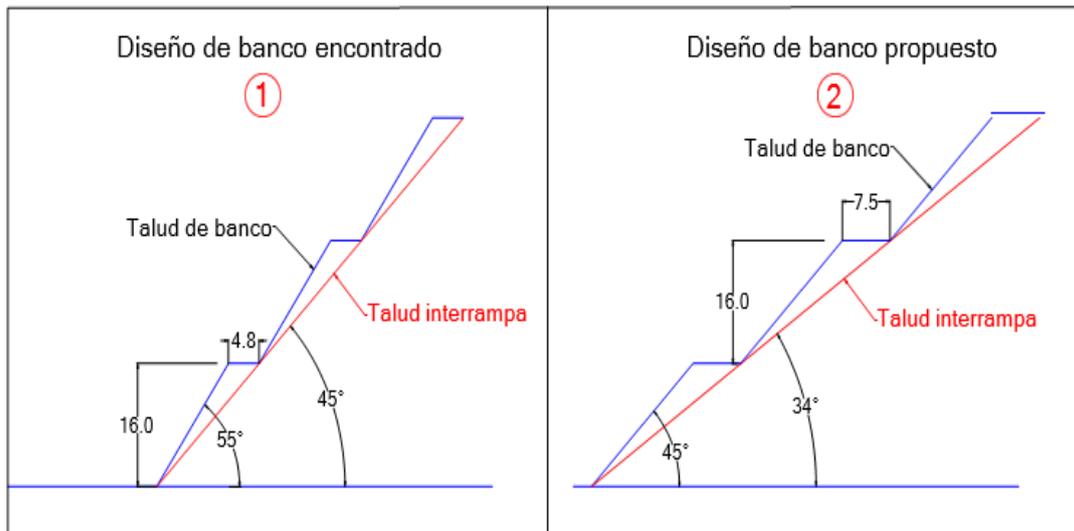
Nota. Elaboración propia

Figura 37 Área de echado propuesta como medida de estabilización



Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C.

Figura 38 Configuración geométrica de taludes de banco e interrampa



Nota. (1) Configuración de bancos superiores (3 a 5 bancos) de los sectores Norte (SD2A) y Sur (SD3) del tajo, propuesto por Apumayo en el proyecto de ampliación del tajo.

(2) Configuración de bancos superiores recomendado por SIASMIN luego de echar los taludes para tener factores de seguridad adecuados.

4.6.9. Instrumentación Geotécnica

Se ha revisado los datos del monitoreo topográfico de cuatro (4) puntos de control topográfico ubicados en el sector norte del Tajo Apumayo 1, ejecutado por el área de geotecnia. En el Plano APU - 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis) se muestra la ubicación de los prismas.

4.6.10. Instrumentación Topográfica Actual

El Tajo Apumayo 1 cuenta con cuatro (4) hitos topográficos instalados y ubicados en el sector norte del tajo. En el cuadro N° 29 se muestra las coordenadas de los cuatro (4) hitos o prismas.

Tabla 25 Resumen de hitos de control topográfico existentes

Código de instrumentación	Coordenadas UTM WGS 84		Elevación (msnm)
	Norte (m)	Este (m)	
TJ-APU1-01	8 339 634.93	616 248.65	4 129.16
TJ-APU1-02	8 339 583.85	616 251.98	4 097.65
TJ-APU1-03	8 339 569.34	616 355.91	4 097.14
TJ-APU1-04	8 339 619.68	616 367.44	4 129.62

Nota. Elaboración propia

4.6.11. Instrumentación Propuesta

Según los resultados de los análisis de estabilidad, los bancos superiores del sector norte y sur presentan rocas con alteración clay de mala calidad, y en el sector sur rocas con alteración sílice granular deleznable también de mala calidad, sería recomendable que se instalen cinco (5) hitos o prismas adicionales para el control o monitoreo de la estabilidad de los taludes de estos sectores. De estos, tres (3) ubicados en la plataforma superior del talud norte y dos (2) en la plataforma superior del talud sur, la ubicación aproximada de estos puntos de control topográfico propuestos se presenta en el Plano APU - 03 (Plano de alteraciones y sectores de análisis).

El monitoreo se deberá realizar inicialmente quincenal o inmediatamente después de un evento de periodos intensos de lluvias o sísmico. Según el comportamiento del monitoreo, espaciar en monitoreo de los prismas topográficos a una vez por mes. Asimismo, se debe de realizar constantemente inspecciones visuales para poder detectar formaciones de grietas de tracción a fin de implementar más puntos de control topográfico. En el cuadro N° 30, se presenta un resumen de las coordenadas de la instrumentación propuesta.

Tabla 26 Resumen de instrumentación geotécnica propuesta

Tipo de instrumentación	Código	Coordenadas UTM WGS 84	
		Norte (m)	Este (m)
Hitos topográficos (Prismas)	TJ-APU1-05	8 339 633.00	616 220.00
	TJ-APU1-06	8 339 656.00	616 326.00
	TJ-APU1-07	8 339 627.00	616 396.00
	TJ-APU1-08	8 338 970.00	616 227.00
	TJ-APU1-09	8 338 983.00	616 397.00

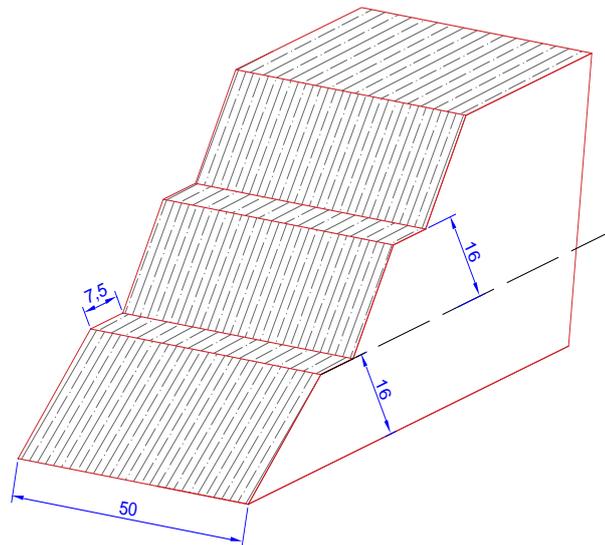
Nota. Elaboración propia

4.6.12. Influencia de la Estabilidad de Taludes en la Productividad

Para esta consideración analizaremos un posible deslizamiento de un bloque en el tajo, solo para fines prácticos el cual posee un área = 2,372.57 m², y un Volumen = 118,628.50 m³.

De esta forma podremos evidenciar la influencia o afección que podrá tener un inadecuado control de estabilidad de taludes, el cual no solo afectaría el normal desempeño del ciclo de minado y seguridad de trabajadores, sino que también incurre en mayores gastos no planificados, los cuales complican el normal desempeño de actividades.

Figura 39 Posible bloque deslizado para caso práctico



Nota. Elaboración propia

Dicha estimación considerará el acarreo y transporte de material, para lo cual realizaremos una estimación del transporte de dicho material considerado (desmonte), es así que los datos usados corresponden al análisis de FORECAST, los cuales consideran datos obtenidos producto de la compilación de información acumulado de producción, tiempos, transporte, volúmenes transportados, estación del año y un análisis exhaustivo por parte del área de planeamiento, dichos datos fueron obtenidos durante varios periodos de ejecución de la extracción en los distintos tajos de la unidad, y son basados bajo el planeamiento a Corto Plazo durante el periodo 2022, por lo cual, la data solo será aplicada para casos prácticos en esta Unidad Minera y se tienen las siguientes consideraciones.

ITEMS	Detalles	Cantidad	unidad
DESMONTE	Densidad IN SITU	2.20	ton/m3

Es así que se tienen rangos estimados de transporte hacia el botadero por Km recorrido y definiendo la estación del año, ya sea seco o lluvia.

Para la presente estimación consideraremos una distancia del punto de deslizamiento a la zona de acopio de desmonte igual a 1.265 Km, por lo que se tienen Precios Unitarios ya establecidos en función de las condiciones climáticas. Verificado en el siguiente cuadro.

Tabla 27 Precios Unitarios según desplazamientos y condiciones climáticas

Distancia	LLUVIA	SECA	Distancia	LLUVIA	SECA
	Factor	Factor		Factor	Factor
KM	\$/TM	\$/TM	KM	\$/TM	\$/TM
0	0	0	3	0.375	0.296
0.1	0.343	0.268	3.1	0.378	0.299
0.3	0.343	0.267	3.2	0.381	0.301
0.4	0.344	0.269	3.4	0.387	0.307
0.5	0.345	0.27	3.5	0.39	0.31
0.6	0.346	0.27	3.6	0.394	0.313
0.7	0.347	0.271	3.7	0.398	0.316
0.8	0.348	0.272	3.8	0.412	0.329
0.9	0.349	0.273	3.9	0.417	0.334
1	0.35	0.274	4	0.424	0.34
1.1	0.351	0.275	4.1	0.431	0.346
1.2	0.353	0.276	4.2	0.468	0.379
1.3	0.354	0.277	4.3	0.481	0.391
1.4	0.355	0.279	4.4	0.496	0.405
1.8	0.357	0.28	4.5	0.514	0.421
1.9	0.358	0.281	4.6	0.536	0.44
2	0.36	0.282	4.7	0.562	0.463
2.1	0.361	0.284	4.8	0.595	0.493
2.4	0.363	0.285	4.9	0.638	0.531
2.5	0.365	0.287	5	0.694	0.581
2.6	0.366	0.289	5.1	0.773	0.652
2.7	0.368	0.29	5.2	0.892	0.758
2.9	0.373	0.294	5.3	1.09	0.934
			5.4	2.671	2.346

Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C

Realizando la interpolación correspondiente para 1.265 Km obtenemos un factor = 0.3537, en condiciones de lluvia, las cuales inciden más en una posible inestabilidad de taludes puesto que degrada las resistencias de los materiales, obteniendo se así:

ITEMS	Detalles	CANTIDAD	Und
Desmonte	Botadero	1.265	Km
PU	LLUVIA	0.3537	US \$ / TM

Y las siguientes consideraciones adicionales:

Tabla 28 Resumen de Capacidades Operativas

ITEMS	Cantidad	Und
Velocidad carga	18	km/h
Velocidad descarga	25	km/h
Tiempo carguío	4	min
Tiempo de ida (cargado)	3	min
Tiempo de descarga	3	min
Tiempo de retorno (descargado)	3	min
Demoras Operativas	2	min
Ciclo Transporte	15	min
N° Volquetes 365	15	und
N° Viajes	395	und
N° Volquetes / Desmote	15	
NOTA: Considerar 2 volquetes en Stand By, los obtenidos son efectivos	17	

Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C

- Considerando que los volquetes tienen una capacidad de 20 m³ y que se tiene un volumen = 118,628.50 m³ por eliminar. Por ende, teniendo una densidad de 2.20 ton/m³, tendríamos 260,982.70 toneladas.
- El número de viajes será determinado considerando el volumen a eliminar que es igual a 118,628.50 m³, entre la capacidad de todos los volquetes acumulados 300 m³. Por lo cual el N° de viajes será igual a 395.
- El tiempo de transporte está determinado por la sumatoria de tiempo de carguío, tiempo de ida, tiempo de descarga, tiempo de retorno y demoras operativas, que hacen un total de 15 min.
- La determinación del N° de viajes de flota por día se determinará considerando una jornada laboral de 10 horas, y que el tiempo de transporte es de 15 min. De tal forma que en 01 hora se tendrían aproximadamente 4 viajes, es así que en 10 horas se tendría aproximadamente 40 viajes de flota por día.
- Teniendo 395 viajes totales y 40 viajes de flota por día, se estima que se tendrá 10 días para eliminar todo el material, en caso de deslizamiento.

Volumen de desmonte a Eliminar	Volumen de Desmonte Eliminado por Viaje	N° de Viajes Totales	Tiempo de Transporte	N° de Viajes de Flota por día	N° de días a trabajar
118,628.50 m ³	15 Volq. * 20 m ³ /Volq. = 300 m ³	395	15 min	40	10 días

Del cual podemos concluir que en un hipotético caso de deslizamiento del bloque mostrado en la figura N°45, con las dimensiones acotadas, incurriría en trabajos adicionales no estimados por 8 días ininterrumpidos, obstaculizando la normal ejecución del ciclo de minado y generando pérdidas económicas, adicionando al contrario gastos no contemplados.

Entonces considerando para dicha actividad una EXCAVADORA 365, podemos estimar un rango de 5 ciclos de carguío por volquete. Por lo que consideramos 15 minutos por ciclo, haciendo un total de 4 ciclos/hora, y una capacidad operativa igual a:

$$\text{Ton/hr} = 4 \text{ ciclos/hora} * 20 \text{ m}^3/\text{ciclo} * 2.2 \text{ ton/m}^3 = 176 \text{ ton/hr.}$$

Es así que bajo todas las condiciones mencionadas se poseen rangos ya establecidos con montos contemplados, y podemos acudir a los costos operativos, y concluimos que para las condiciones antes expuestas y mencionadas se considera un costo de 0.3537 \$/TM. Sin considerar costos de consumo de combustible y personal.

Por lo cual obtenemos:

$$\text{Costo total} = 0.3537 \text{ \$/TM} * 118,628.50 \text{ m}^3 * 2.2 \text{ ton/m}^3 = \text{\$. 92,309.58}$$

Así mismo presentamos la determinación de los costos operativos mensuales obtenidos en la unidad, producto de las valorizaciones mensuales.

Tabla 29 Costos de Perforación

PERFORACIÓN		21.11.01	
0. DATOS GENERALES			
	ITEMS	UNIDAD	MES 01
	MINERAL		
	Burden	m	4.4
	Espaciado	m	5.1
	H. Banco	m	8.0
	Longitud Taladro	m	8.6
	Sub Drilling	m	0.6
DESMONTE			
	Burden	m	4.8
	Espaciado	m	5.5
	H. Banco	m	8.0

Longitud Taladro		m	8.6
Sub Drilling		m	0.6
Burden Promedio		m	4.6
Espaciamiento Promedio		m	5.3
VIDA UTIL ACCESORIOS DE PERFORACION			
ADAPTADOR PARA BARRA 5 1/2" X 20CM PIN HILO API HILO BECO		m	60,000
BARRA DE PERFORACION 5.1/2" X 30' BOX BOX HILO BECO		m	60,000
BOCINA DE ACERO BP 280 FUNDICO DE 225 X 145 X 160		m	50,000
ACOPLE ADAPTADOR 6.1/4" X 60 CM PIN BECO X BOX BECO		m	15,000
DTH HAMMER - MINCON 6BH HAMMER (QL60 SHANK)		m	16,000
CILINDRO HDW-2E=Ø149.5(5.88") NP 0106060110020 (MARTILLO M6.2EX)		m	13,000
MINCON CHUCK(DRIVE SUB) - MB615CK01		m	9,000
RETENEDOR DE BIT QL-60 NP 106060150004		m	20,000
GUIA DE BIT QL - 60 NP 106060140006		m	20,000
BROCA DE 6 3/4" QL60 CONVEX WITH DYANITE IN THE GAUGE		m	3,000
COPA PARA AFILAR BROCAS DE 19mm		m	2,600
SOLDADURA CITODUR 1000 X Ø1/8"		m	2,200
SOLDADURA INOX E-29/9 - Ø 1/8"		m	4,000
SOLDADURA INOX EXSA E-106 / E-29/9 - Ø5/32"		m	4,500
ACEITE DE ALMO 527		m	220
	Dens.		
MATERIAL MINERAL	2	UNIDAD	212,500
Toneladas por taladro		t	356
Perforación Primaria N° tal		Unid	597
Re perforados N° tal		Unid	6
N° taladros		Unid	603
Per. Primaria mp		m	5,130
Re perforados mts		m	51
Total mt. Perforados		m	5,182
TOTAL N° TALADROS MINERAL+ 10% Apoyos		Unid	663
Total METROS PERFORADOS MINERAL + 10% Apoyos		m	5,700
	Dens.		1,126,250
MATERIAL DESMONTE	2	UNIDAD	913,750
Toneladas por taladro		t	424
Perforación Primaria N° tal		Unid	2,155
Re perforados N° tal		Unid	22
N° taladros		Unid	2,177
Per. Primaria mp		m	18,536
Re perforados mts		m	185
Total mt. Perforados		m	18,722
Total N° taladros DESMONTE + 10% Apoyos		Unid	2,395
Total METROS PERFORADOS DESMONTE + 10% Apoyos		m	20,594
-	-	-	-

	TOTAL DE METROS PERFORADOS MINERAL _ DESMONTE de Producción (m)		m	26,294
	TOTAL DE CANTIDAD DE N° DE TALADROS MINERAL_DESMONTE (Unidad)		Unid	3,057
	Total de Taladros de Producción (Unidad)	1ra Buffer	%	MES 01
	Total mt. Perforados (Mineral + Desmorte) Vol controlada (BUFFER)	mp	1.15	30,238
	Total N°Taladros Perf.(Mineral + Desmorte) Vol controlada (BUFFER)	Und		3,516
1. MATERIALES				
	MATERIALES		UNIDAD	MES 01
21.11.01	ADAPTADOR PARA BARRA 5 1/2" X 20CM PIN HILO API HILO BECO		Und	0.50
21.11.01	BARRA DE PERFORACION 5.1/2" X 30' BOX BOX HILO BECO		Und	0.50
21.11.01	BOCINA DE ACERO BP 280 FUNDICO DE 225 X 145 X 160		Und	0.60
21.11.01	DTH HAMMER - MINCON 6BH HAMMER (QL60 SHANK)		Und	1.89
21.11.01	CILINDRO HDW-2E=Ø149.5(5.88") NP 0106060110020 (MARTILLO M6.2EX)		Und	2.33
21.11.01	MINCON CHUCK(DRIVE SUB) - MB615CK01		Und	3.36
21.11.01	RETENEDOR DE BIT QL-60 NP 106060150004		Und	1.51
21.11.01	BROCA DE 6 3/4" QL60 CONVEX WITH DYANITE IN THE GAUGE		Und	10.08
21.11.01	SOLDADURA CITODUR 1000 X Ø1/8"		Kg	11.63
21.11.01	SOLDADURA INOX E-29/9 - Ø 1/8"		Kg	7.56
21.11.01	SOLDADURA INOX EXSA E-106 / E-29/9 - Ø5/32"		Kg	6.72
21.11.01	COPA PARA AFILAR BROCAS DE 19mm		m	11.63
21.11.01	ACEITE DE ALMO 527		gal	137.44
	MATERIALES		UNIDAD	MES 01
21.11.01	ADAPTADOR PARA BARRA 5 1/2" X 20CM PIN HILO API HILO BECO	740	\$	373
21.11.01	BARRA DE PERFORACION 5.1/2" X 30' BOX BOX HILO BECO	4,138	\$	2,085
21.11.01	BOCINA DE ACERO BP 280 FUNDICO DE 225 X 145 X 160	630	\$	381
21.11.01	DTH HAMMER - MINCON 6BH HAMMER (QL60 SHANK)	4,201	\$	7,938
21.11.01	CILINDRO HDW-2E=Ø149.5(5.88") NP 0106060110020 (MARTILLO M6.2EX)	2,266	\$	5,271
21.11.01	MINCON CHUCK(DRIVE SUB) - MB615CK01	442	\$	1,485
21.11.01	RETENEDOR DE BIT QL-60 NP 106060150004	157	\$	238
21.11.01	BROCA DE 6 3/4" QL60 CONVEX WITH DYANITE IN THE GAUGE	679	\$	6,843
21.11.01	SOLDADURA CITODUR 1000 X Ø1/8"	16	\$	180

21.11.01	SOLDADURA INOX E-29/9 - Ø 1/8"	18	\$	133
21.11.01	SOLDADURA INOX EXSA E-106 / E-29/9 - Ø5/32"	16	\$	105
21.11.01	COPA PARA AFILAR BROCAS DE 19mm	83	\$	967
21.11.01	ACEITE DE ALMO 527	6	\$	837
	TOTAL US\$ MATERIALES		\$	26,837
2. EQUIPO				
DISPONIBILIDAD MECÁNICA				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03		%	80%
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10		%	80%
21.11.01	EXCAVADORA 325DL		%	85%
21.11.01	MOTONIVELADORA CAT 140K N°01		%	85%
21.11.01	TRACTOR D8T # 3		%	85%
21.11.01	CAMA BAJA Z2Y-989		%	85%
21.11.01	CAMION TRACTO 420G A8U-885		%	85%
21.11.01	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861		%	85%
21.11.01	CISTERNA PLACA B5Q 948 N° 11		%	85%
UTILIZACIÓN			(mhr)	55
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03		%	69%
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10		%	69%
21.11.01	MOTONIVELADORA CAT 140K N°01		%	0%
21.11.01	TRACTOR D8T # 3		%	1%
21.11.01	CAMA BAJA Z2Y-989		%	1%
21.11.01	CAMION TRACTO 420G A8U-885		%	1%
21.11.01	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861		%	1%
21.11.01	CISTERNA PLACA B5Q 948 N° 11		%	1%
HORAS EFECTIVAS				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03		h	275
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10		h	275
21.11.01	MOTONIVELADORA CAT 140K N°01		h	2
21.11.01	TRACTOR D8T # 3		h	1
21.11.01	CAMA BAJA Z2Y-989		h	5
21.11.01	CAMION TRACTO 420G A8U-885		h	5
21.11.01	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861		h	0
21.11.01	CISTERNA PLACA B5Q 948 N° 11		h	5
PRODUCCIÓN				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03		m	15,119
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10	-	m	15,119
DEMORAS OPERATIVAS				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03	0.10	h/mes	27
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10	0.10	h/mes	27
21.11.01	MOTONIVELADORA CAT 140K N°01	0.00	h/mes	-

21.11.01	TRACTOR D8T # 3	0.00	h/mes	-
21.11.01	CAMA BAJA Z2Y-989	0.00	h/mes	-
21.11.01	CAMION TRACTO 420G A8U-885	0.00	h/mes	-
21.11.01	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	0.00	h/mes	-
21.11.01	CISTERNA PLACA B5Q 948 N° 11	0.00	h/mes	-
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03	20	gal/hr	6,048
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10	20	gal/hr	6,048
21.11.01	MOTONIVELADORA CAT 140K N°01	3.3	gal/hr	4.95
21.11.01	TRACTOR D8T # 3	8.0	gal/hr	8.00
21.11.01	CAMA BAJA Z2Y-989	0.0	gal/hr	-
21.11.01	CAMION TRACTO 420G A8U-885	7.0	gal/hr	35
21.11.01	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	7.0	gal/hr	-
21.11.01	CISTERNA PLACA B5Q 948 N° 11	13.2	gal/hr	66.00
	TOTAL CONSUMO D2		gal/hr	12,209
	COSTO TOTAL CONSUMO DE D2	3.18	\$	38,825
COSTO DE ALQUILER DE EQUIPOS				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		UNIDAD	MES 01
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 03	122.0	\$	36,889.92
21.11.01	PERFORADORA DM45 N° 10	117.0	\$	35,378.04
21.11.01	MOTONIVELADORA CAT 140K N°01	50.0	\$	75.00
21.11.01	TRACTOR D8T # 3	81.0	\$	81.00
21.11.01	CAMA BAJA Z2Y-989	5.9	\$	29.40
21.11.01	CAMION TRACTO 420G A8U-885	10.1	\$	50.43
21.11.01	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	9.2	\$	-
21.11.01	CISTERNA PLACA B5Q 948 N° 11	7.1	\$	35.43
	COSTO TOTAL ALQUILER DE EQUIPOS		\$	72,539
3. MANO DE OBRA (DISTRIBUCION)				
CECO	DESCRIPCION DEL PERFIL		UNIDAD	MES 01
21.11.01	SOLDADOR PERFORACION I	1	\$	838
21.11.01	SOLDADOR PERFORACION I	1	\$	838
21.11.01	OPERADOR DE PERFORADORA	1	\$	1,131
21.11.01	OPERADOR DE PERFORADORA	1	\$	1,131
21.11.01	OPERADOR DE PERFORADORA	1	\$	1,131
	COSTO TOTAL MANO DE OBRA		\$	5,070
CECO	DESCRIPCION DE EPPs		UNIDAD	MES 01
21.11.01	Protector de cabeza		UND	0.33
21.11.01	Mameluco		UND	0.33
21.11.01	Zapato de seguridad		UND	0.33
21.11.01	Corta viento		UND	0.33
21.11.01	Guante de badana		UND	0.33

21.11.01	Tapón de oídos		UND	0.33
21.11.01	Lentes de seguridad		UND	0.33
21.11.01	Chaleco de seguridad		UND	0.33
21.11.01	Respiradores		UND	0.33
21.11.01	Ropa de agua		UND	0.33
21.11.01	Botas		UND	0.33
CECO	DESCRIPCION DE EPPs		UNIDAD	MES 01
21.11.01	Protector de cabeza	7.5	\$	2.50
21.11.01	Mameluco	22.0	\$	7.33
21.11.01	Zapato de seguridad	20.8	\$	6.95
21.11.01	Corta viento	2.6	\$	0.85
21.11.01	Guante de badana	2.6	\$	0.87
21.11.01	Tapón de oídos	0.9	\$	0.30
21.11.01	Lentes de seguridad	1.9	\$	0.62
21.11.01	Chaleco de seguridad	8.8	\$	2.93
21.11.01	Respiradores	20.5	\$	6.82
21.11.01	Ropa de agua	9.0	\$	3.00
21.11.01	Botas	10.0	\$	3.33
	COSTO TOTAL DE EPPs		\$	36
RESUMEN PERFORACION PRIMARIA APUMAYO				
CECO	TIPO GASTO			MES 01
21.11.01	MANO OBRA		\$	5,070
21.11.01	SUMINISTROS D2		\$	38,825
21.11.01	MATERIALES		\$	26,873
21.11.01	SERVICIOS - TERCEROS		\$	72,539
21.11.01	COSTO TOTAL (US\$)		\$	143,306

Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C

Los costos operativos de perforación por mes son: \$ 143,306.00

Tabla 30 Costos de Voladura

VOLADURA		21.11.02		MES 01
			ORE	212,500
0. DATOS GENERALES			WASTE	913,750
	TIPOS DE EXPLOSIVOS			MINERAL
	ÍTEMS	Unidad		HA73G
	Densidad inicial	gr / cm3		1.30
	Densidad final	gr / cm3		1.10
	Densidad de Carga Lineal	Kg / m		33.0
	Emulsión Gasificable	%		70%
	Anfo	%		30%
	N30	%		0.0%
	ÍTEMS	Unidad		HA 28
	Densidad (FAMESA)	gr / cm3		1.00
	Densidad de Carga Lineal	Kg / m		25.41
	Emulsión	%		20%
	Anfo	%		80%

PARAMETROS MALLA DE MINERAL			
PARAMETROS	UNIDAD		mes 1
Factor conversión	Kg / Gal		3.22
Diámetro del Taladro 6 3/4"	Pulg	6.75	6.75
Burden	m		4.4
Espaciamiento	m		5.1
Altura de Banco	m		8.00
Altura de Taladro	m		8.6
Columna de carga inicial + subdrill	m		5.1
Esponjamiento	m		0.50
Taco inicial	m		3.5
Taco final	m		3.00
Taco intermedio	m		-
Sub Drilling	m		0.60
Columna de carga final total (incl s-drill+esponja)	m		5.1
CARGA DE COLUMNA			
PARAMETROS	UNIDAD		mes 1
Petróleo	Gal/tal		1.72
Nitrato de Amonio	Kg/tal		87.0
Emulsión Gasificable	Kg / tal		61.7
N30	Kg / tal		-
Anfo	Kg / tal		93
Carga Explosiva por taladro	Kg / tal		154.2
Toneladas Material Insitu por Taladro	Tm / tal		356
Factor de Potencia	Kg Explos/ t		0.43
TIPO DE AGENTE DE VOLADURA			HA46
Factor de Potencia Ponderado (Prom)	Kg Explos/ t		0.31
1. MATERIALES			
DESCRIPCION	UNIDAD		mes 1
Petróleo	Gal/tal		1.72
Nitrato de Amonio	Kg/tal		86.98
N30	Kg/tal		-
Emulsión Gasificable	Kg/tal		61.7
BOOSTER DE 1 LIBRA	Und/tal		1.00
BOOSTER DE 1/3 DE LIBRA	Und/tal		0.25
CORDON DETONANTE PRIMALINA TM 5	m / tal		2.00
FANEL DUAL 800/17 x 18m	Und/tal		1.00
FANEL DUAL 800MS X 10 MT	Und/tal		0.50
FANEL CTD N° 0 x 6m	Und/tal		0.10
FANEL CTD N° 17 x 6m	Und/tal		0.20
FANEL CTD N° 25 x 6m	Und/tal		0.20
FANEL CTD N° 35 x 6m	Und/tal		0.20
FANEL CTD N° 42 x 6m	Und/tal		0.20
FANEL CTD N° 65 x 6m	Und/tal		0.20
FANEL CTD N° 109 x 6m	Und/tal		0.15
DETONADOR ENSAMBLADO	Und/tal		0.02
LINEA SILENCIOSA	Rollo/tal		0.25
N° Total taladros Mineral	Und		663
21.11.02	VOLADURA (MAT. CANTIDAD/MES)		

	MATERIALES	UNIDAD		mes 1
	Petróleo	Gal		1,143
	Nitrato de Amonio	Kg		57,644
	N30	Kg		-
	Emulsión Gasificable	Kg		40,882
	BOOSTER DE 1 LIBRA	Und		663
	BOOSTER DE 1/3 DE LIBRA	Und		166
	CORDON DETONANTE PRIMALINA TM 5	mts		1,326
	FANEL DUAL 800/17 x 18m	Und		663
	FANEL DUAL 800MS X 10 MT	Und		331
	FANEL CTD N° 0 x 6m	Und		66
	FANEL CTD N° 17 x 6m	Und		133
	FANEL CTD N° 25 x 6m	Und		133
	FANEL CTD N° 35 x 6m	Und		133
	FANEL CTD N° 42 x 6m	Und		133
	FANEL CTD N° 65 x 6m	Und		133
	FANEL CTD N° 109 x 6m	Und		99
	DETONADOR ENSAMBLADO	Und		10
	LINEA SILENCIOSA	Rollo/tal		166
21.11.02	COSTO MATERIALES VOLADURA MINERAL (\$/MES)			
	MATERIALES	C.U. (\$)		mes 1
	Petróleo	2.43		2,776.69
	Nitrato de Amonio	0.51		29,398
	N30	1.00		-
	Emulsión Gasificable	0.45		18,397
	BOOSTER DE 1 LIBRA	3.58		2,373
	BOOSTER DE 1/3 DE LIBRA	2.19		363
	CORDON DETONANTE PRIMALINA TM 5	0.17		225
	FANEL DUAL 800/17 x 18m	3.58		2,373
	FANEL DUAL 800MS X 10 MT	1.90		630
	FANEL CTD N° 0 x 6m	3.50		232
	FANEL CTD N° 17 x 6m	3.50		464
	FANEL CTD N° 25 x 6m	3.50		464
	FANEL CTD N° 35 x 6m	3.50		464
	FANEL CTD N° 42 x 6m	3.50		464
	FANEL CTD N° 65 x 6m	3.50		464
	FANEL CTD N° 109 x 6m	3.50		348
	DETONADOR ENSAMBLADO	0.89		8.85
	LINEA SILENCIOSA	3.50		580
	COSTO TOTAL MATERIALES US\$	\$		60,024
2. EQUIPOS				
DISPONIBILIDAD MECÁNICA				500
CECO				mes 1
21.11.02	CARGADOR FRONTAL 966H-3			85%
21.11.02	EXCAVADORA 336 N°01			85%
21.11.02	CAMION FABRICA			85%

21.11.02	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861			85%
21.11.02	CAMIONETA ARM-930			85%
UTILIZACIÓN				
21.11.02	CARGADOR FRONTAL 966H-3			6%
21.11.02	EXCAVADORA 336 N°01			2%
21.11.02	CAMION FABRICA			30%
21.11.02	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861			0.20%
21.11.02	CAMIONETA ARM-930			35%
HORAS		KENWORK		
21.11.02	CARGADOR FRONTAL 966H-3	hrs		26
21.11.02	EXCAVADORA 336 N°01	hrs		6
21.11.02	CAMION FABRICA	Dias		128
21.11.02	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	hrs		1
21.11.02	CAMIONETA ARM-930	hrs		149
COSTO DE ALQUILER DE EQUIPOS				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	(PU \$/H)		mes 1
21.11.02	CARGADOR FRONTAL 966H-3	76		1,925.25
21.11.02	EXCAVADORA 336 N°01	77		490.88
21.11.02	CAMION FABRICA			-
21.11.02	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	9.2		8
21.11.02	CAMIONETA ARM-930	81		2,025.00
	COSTO TOTAL ALQUILER EQUIPOS	\$		4,449
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	(\$/mes)		mes 1
CECO	CAMION FABRICA	16,472.00		16,472.00
		\$		16,472.00
CONSUMO DE D2				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	g/h		mes 1
21.11.02	CARGADOR FRONTAL 966H-3	4.5		114.75
21.11.02	EXCAVADORA 336 N°01	8.8		56.10
21.11.02	CAMION FABRICA	3.0		382.50
21.11.02	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	5.0		4
21.11.02	CAMIONETA ARM-930	4.5		669
	CONSUMO TOTAL DE D2	gl		1,227
	COSTO TOTAL DE COMSUMO D2	\$	3.18	3,902
3. MANO DE OBRA (DISTRIBUCION)				
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	CANTIDAD		mes 1

21.11.02	CHOFER DE CAMIONETA VOLADURA	1		838
21.11.02	AYUDANTE DE VOLADURA I	1		651
21.11.02	AYUDANTE DE VOLADURA II	1		651
21.11.02	AYUDANTE DE VOLADURA III	1		651
21.11.02	AYUDANTE DE VOLADURA IV	1		651
21.11.02	AYUDANTE DE VOLADURA V	1		651
21.11.02	AYUDANTE DE VOLADURA VI	1		651
	COSTO TOTAL MANO DE OBRA	\$		4,741
CECO	DESCRIPCION DE EPPs	UNIDADES		mes 1
21.11.02	Protector de cabeza	1		0.25
21.11.02	Mameluco	1		0.25
21.11.02	Zapato de seguridad	1		0.25
21.11.02	Corta viento	1		0.25
21.11.02	Guante de badana	1		0.25
21.11.02	Tapón de oídos	1		0.25
21.11.02	Lentes de seguridad	1		0.25
21.11.02	Chaleco de seguridad	1		0.25
21.11.02	Respiradores	1		0.25
21.11.02	Ropa de agua	1		0.25
21.11.02	Botas	1		0.25
CECO	DESCRIPCION DE EPPs	UNIDADES		mes 1
21.11.02	Protector de cabeza	8.4		2.1
21.11.02	Mameluco	23.8		5.9
21.11.02	Zapato de seguridad	20.9		5.2
21.11.02	Corta viento	2.6		0.6
21.11.02	Guante de badana	2.6		0.7
21.11.02	Tapón de oídos	0.9		0.2
21.11.02	Lentes de seguridad	1.9		0.5
21.11.02	Chaleco de seguridad	9.8		2.4
21.11.02	Respiradores	18.2		4.5
21.11.02	Ropa de agua	9.0		2.3
21.11.02	Botas	18.0		4.5
	COSTO TOTAL MANO DE EPPs	\$		29.0
RESUMEN VOLADURA PRIMARIA APUMAYO				
CECO	TIPO GASTO			mes 1
21.11.02	MANO OBRA	\$		4,741
21.11.02	SUMINISTROS D2	\$		3,902
21.11.02	MATERIALES	\$		198,222
21.11.02	SERVICIOS TERCEROS	\$		20,921
21.11.02	COSTO TOTAL (US\$)	\$		227,786

Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C

Los costos operativos de voladura por mes son: \$ 227,786.00

Tabla 31 Costos de Carguío

CARGUIO		41.00.03	
0. DATOS GENERALES			
2. EQUIPO			mes 1
			620
			1,041,600
DISPONIBILIDAD MECÁNICA			
C.COSTO	DESCRIPCION DE EQUIPO		mes 1
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01		85%
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02		85%
41.00.03	CF. 992 C		85%
41.00.03	TRACTOR D8T N°02		85%
41.00.03	LUMINARIA N°11		85%
41.00.03	LUMINARIA N°14		85%
41.00.03	CAMA BAJA Z2Y-989		85%
41.00.03	CAMION TRACTO 420G C5U-829		85%
41.00.03	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861		85%
UTILIZACIÓN			
C.COSTO	DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		Mes 1
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01		75%
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02		69%
41.00.03	CF. 992 C		58%
41.00.03	TRACTOR D8T N°02		0%
41.00.03	LUMINARIA N°11		59%
41.00.03	LUMINARIA N°14		0%
41.00.03	CAMA BAJA Z2Y-989		0%
41.00.03	CAMION TRACTO 420G C5U-829		6%
41.00.03	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861		4%
HORAS DE USO DE EQUIPOS DE CARGUÍO			
C.COSTO	DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		Mes 1
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01		395
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02		364
41.00.03	CF. 992 C		306
41.00.03	TRACTOR D8T N°02		-
41.00.03	LUMINARIA N°11		311
41.00.03	LUMINARIA N°14		-
41.00.03	CAMA BAJA Z2Y-989		-
41.00.03	CAMION TRACTO 420G C5U-829		-
41.00.03	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861		21
RENDIMIENTO			
C.COSTO	DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		Mes 1
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01		950
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02		950
41.00.03	CF. 992 C		1,050
41.00.03	TRACTOR D8T N°02		-

	TOTAL t/h (rendimiento efectivo)		979
PRODUCCIÓN			
C.COSTO	DESCRIPCION DE EQUIPO		Mes 1
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01		375,488
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02		345,449
41.00.03	CF. 992 C		320,943
41.00.03	TRACTOR D8T N°02		
	PLAN		1,041,600
	REAL PRODUCCION		1,041,879
	DIFERENCIA		279
	RENDIMIENTO PROMEDIO TOTAL		
DEMORAS OPERATIVAS			
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	hrs/día	Mes 1
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01	0.40	12
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02	0.40	12
41.00.03	CF. 992 C	0.40	12
41.00.03	TRACTOR D8T N°02	0.30	-
41.00.03	LUMINARIA N°11	0.00	-
41.00.03	LUMINARIA N°14	0.00	-
41.00.03	CAMA BAJA Z2Y-989	0.00	-
41.00.03	CAMION TRACTO 420G C5U-829	0.00	-
41.00.03	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	0.20	6
	TOTAL DE HORAS		43
CONSUMO DE D2			
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	gl/h	MES 01
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01	13.8	5,626
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02	13.8	5,189
41.00.03	CF. 992 C	20.9	6,647
41.00.03	TRACTOR D8T N°02	8.0	-
41.00.03	LUMINARIA N°11	2.0	622
41.00.03	LUMINARIA N°14	2.0	-
41.00.03	CAMA BAJA Z2Y-989	0.0	-
41.00.03	CAMION TRACTO 420G C5U-829	7.0	-
41.00.03	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	7.0	191
	TOTAL CONSUMO D2	gl	18,275
	COSTO TOTAL DE COMBUSTIBLE D2	\$	57,566
COSTO DE ALQUILER DE EQUIPOS			
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO	\$/hr	MES 01
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°01	130.0	52,995
41.00.03	EXCAVADORA 374 N°02	130.0	48,884
41.00.03	CF. 992 C	105.0	33,396
41.00.03	TRACTOR D8T N°02	81.0	-
41.00.03	LUMINARIA N°11	0.1	40.42
41.00.03	LUMINARIA N°14	0.1	-
41.00.03	CAMA BAJA Z2Y-989	5.9	-
41.00.03	CAMION TRACTO 420G C5U-829	10.1	-

41.00.03	CISTERNA DE COMBUSTIBLE C9A-861	9.2	252
	COSTO TOTAL DE ALQUILER	\$	135,567
3. MANO DE OBRA (DISTRIBUCION)			
CECO	DESCRIPCION DE EQUIPO		MES 01
41.00.03	DISTRIBUCION DE MO EQUIPOS PESADOS	1	12,424
41.00.03	DISTRIBUCION DE MO EQUIPOS AUXILIARES	1	3,596
	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	\$	16,020
		0.3333333333	
CECO	DESCRIPCION DEL EPPs	P.U.	MES 01
41.00.03	Protector de cabeza		0.33
41.00.03	Mameluco		0.33
41.00.03	Zapato de seguridad		0.33
41.00.03	Corta viento		0.33
41.00.03	Guante de badana		0.33
41.00.03	Tapón de oídos		0.33
41.00.03	Lentes de seguridad		0.33
41.00.03	Respiradores		0.33
41.00.03	Ropa de agua		0.33
CECO	DESCRIPCION DEL EPPs	P.U.	MES 01
41.00.03	Protector de cabeza	7.50	2.50
41.00.03	Mameluco	22.00	7.33
41.00.03	Zapato de seguridad	20.84	6.95
41.00.03	Corta viento	2.55	0.85
41.00.03	Guante de badana	2.61	0.87
41.00.03	Tapón de oídos	0.90	0.30
41.00.03	Lentes de seguridad	1.87	0.62
41.00.03	Respiradores	20.47	6.82
41.00.03	Ropa de agua	9.00	3.00
	COSTO TOTAL DE MANO DE EPPs	\$	29
RESUMEN CARGUIO APUMAYO 01			
CECO	TIPO GASTO		MES 01
41.00.03	MANO OBRA		16,020
41.00.03	COMBUSTIBLE D2		57,566
41.00.03	MATERIALES		29
41.00.03	SERVICIOS - TERCEROS		135,567
41.00.03	COSTO TOTAL		209,183

Nota. Adaptado de Apumayo S.A.C

Los costos operativos de carguío por mes son: \$ 209,183.00

Es así presentamos este cuadro resumen de la determinación de los costos mensuales mostrados en los cuadros posteriores:

ITEM	DESCRIPCIÓN	MONTO
1	COTOS DE PERFORACIÓN	\$ 143,306.00
2	COSTOS DE VOLADURA	\$ 227,786.00
3	COSTOS DE CARGUÍO	\$ 209,183.00
4	COSTOS ADICIONALES	\$ 92,309.58
TOTAL		\$ 672,584.58

Considerando el posible deslizamiento tendríamos un total de \$ 672,584.58.

Por lo que haciendo un control adecuado de estabilidad de taludes tendríamos un ahorro total de \$92,309.58.

4.7. Contratación de Hipótesis

4.7.1. Hipótesis Estadísticas (nula y alterna)

4.7.1.1. Hipótesis General

Ho: Determinando adecuadamente el diseño geométrico no se mejorará la estabilidad de taludes y realizando un adecuado análisis se optimizará la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

H1: Determinando adecuadamente el diseño geométrico se mejorará la estabilidad de taludes y realizando un adecuado análisis se optimizará la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

Mediante la aplicación de la metodología de diagrama de flujo propuesto se determina los parámetros geométricos para un diseño geométrico óptimo del talud a fin de garantizar la estabilidad del tajo Apumayo 1. Así mismo es importante recalcar que el no realizar un adecuado análisis del diseño geométrico implicaría posibles inestabilidades en los taludes, los cuales podrían acaecer en desprendimientos de rocas y materiales generando posibles accidentes, vías interrumpidas e inestabilidad global, lo que conllevaría a generación de colas, tiempos muertos, horas máquina imprevistas y con todo ello pérdidas económicas.

Considerando ello se acepta la hipótesis que afirma que: determinando adecuadamente el diseño geométrico se mejorará la estabilidad de taludes y realizando un adecuado análisis se optimizará la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

4.7.1.2. Hipótesis Específicas

Hipótesis Específica 01:

Ho: Con una adecuada determinación del diseño geométrico no se mejorará la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

H1: Con una adecuada determinación del diseño geométrico se mejorará la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

Se realizó la determinación de distintas dimensiones de los componentes del tajo, considerando las geometrías proporcionales a los equipos a utilizar (alturas y pendientes de bancos), para así complementar con distintas iteraciones y determinar un óptimo diseño geométrico. Considerando además que la estabilidad de un talud depende tanto de su geometría (pendiente y altura); así como de las características geotécnicas del material que lo forma (ángulo de fricción, cohesión, peso específico, etc.), es así que posterior a realizar la determinación del dimensionamiento de los componentes mediante las fórmulas propuestas, estas son complementadas con el apoyo y soporte de herramientas tecnológicas como Slide y Dips (Ambos de la casa Rocscience), particularmente en la determinación de la estabilidad física considerando las dimensiones obtenidas y características geotécnicas usaremos el método de Morgenstern Price, concluyendo y afirmando la hipótesis que manifiesta que: con una adecuada determinación del diseño geométrico se mejorará la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

Hipótesis Específica 02:

Ho: Determinando adecuadamente los factores de seguridad no se garantiza la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

H1: Determinando adecuadamente los factores de seguridad se garantiza la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

Para la determinación adecuada del análisis de estabilidad física de taludes se determinaron los distintos factores de seguridad (FS), con el uso del software Slide 6.0, con el cual estimamos consideraciones estáticas y pseudoestáticas para la determinación de factores de seguridad óptimos. Para la evaluación de estabilidad física de taludes locales, se determinó los dominios estructurales en base a las estaciones geomecánicas, posterior a ello se realizó el análisis cinemático y un análisis por equilibrio límite por la presencia de los mecanismos de fallas (plana, cuña y vuelco), en el macizo rocoso. Además, este análisis permitió identificar zonas con similares condiciones geomecánicas para la estabilidad física de los taludes locales

Los factores de seguridad obtenidos en las secciones 1-1', 2-2', 3-3' y 4-4' son mayores que los mínimos recomendados en los criterios de aceptabilidad establecidos, para su condición actual y posterior cierre. Con lo que se afirma la hipótesis que menciona: determinando adecuadamente los factores de seguridad se garantiza la estabilidad del talud, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

Hipótesis Específica 03:

Ho: Realizando un adecuado análisis de estabilidad de taludes y bancos, no se optimiza la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

H1: Realizando un adecuado análisis de estabilidad de taludes y bancos, se optimiza la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho.

La importancia de garantizar la estabilidad de taludes no solo radica en garantizar la seguridad de los trabajadores y normal desempeño del proceso productivo en el tajo, sino que también influye en un óptimo desempeño en todo el ciclo de minado. Su omisión podría acaecer en una afección a la productividad, ya que podrían generarse colas, tiempos muertos y complicaciones en todo el proceso, los cuales se verán reflejados en mayores costos y

trabajos adicionales que implicarían mayor uso de horas máquina, gastos innecesarios, incumplimiento de programaciones y por ende disminución de rendimientos.

Es así que para afirmar o negar dicha hipótesis plantearemos un hipotético caso de inestabilidad con las dimensiones establecidas y simulamos un derrumbe en una zona específica del tajo el cual implicará movimiento de equipos para el acarreo y habilitación de dicho sector.

Es así que obtenemos costos operativos adicionales de **\$ 92,309.58**, los cuales inicialmente no estaban programados, así mismo detallamos que el tiempo que tardaríamos en eliminar dicho material excedente será de **10 días**, sin accesibilidad a las zonas operativas, condicionando el normal funcionamiento del ciclo de minado y disminuyendo las utilidades diarias de mina.

Entonces afirmamos la hipótesis que indica: Realizando un adecuado análisis de estabilidad de taludes y bancos, se optimiza la productividad, zona norte del Tajo Apumayo 1 – CIA Minera Apumayo S.A.C. – Ayacucho. Puesto que como se aprecia la no consideración de un adecuado análisis de estabilidad de taludes traería consigo mayores complicaciones como disminuir la eficiencia operativa y por ende mayores gastos operativos disminuyendo las utilidades de la minera.

V. CONCLUSIONES

Podemos afirmar que el cálculo de parámetros geométricos debe prestar amplia relación con respecto a los equipos y maquinarias a utilizar, puesto que el adecuado dimensionamiento y análisis de estabilidad de taludes garantizará una apropiada eficiencia en el normal desarrollo del ciclo de minado. Es así que determinando matemáticamente las dimensiones y posteriormente contrarrestando los datos para la determinación del F.S. concluimos que ancho de banco idóneo sería de 7.5m, una altura de banco de 8m, la cual puede ampliarse en dos etapas a 16m, y un ángulo de talud estable de 45° , así como un talud interrampa de 34° .

Mediante la determinación los parámetros geométricos haciendo uso de las fórmulas establecidas, es importante contrarrestar y complementar esta información con iteraciones mediante el software Slide, de forma que teniendo la geometría definida y datos geotécnicos previamente obtenidos, se puede estimar con mayor precisión si los taludes y sectores estudiados son estables o no, tal como se verifica en las distintas corridas mostradas en los anexos, haciendo uso de la metodología de equilibrio límite, obteniéndose: una altura de banco de 8m, un ancho de berma para banco simple de 3.6m y para banco doble de 7.7m. Así mismo establecer anchos de banco en función a los ángulos de banco y altura de banco podrían fluctuar de 9.20m a 21m, así también el ángulo interrampa fluctúa entre 37.14° a 41° . Un ancho de rampa de 12.20m.

Determinando adecuadamente el factor de seguridad en las distintas secciones mencionadas, se determinó su influencia en estado estático y pseudo estático, teniendo presente los periodos de retorno establecidos para un adecuado diseño, por lo cual concluimos que su adecuada aplicación ayuda ampliamente en mejorar y garantizar la estabilidad de taludes, previa consideración de datos anteriores como perforaciones geotécnicas, determinación de parámetros geotécnicos y caracterización del macizo rocoso mediante estaciones geomecánicas. Determinándose: en el SD-1 un FS estático no drenado de 1.79, y para un FS pseudoestático no drenado de 1.326, en el SD-2 un FS estático no

drenado de 1.67 y para un FS pseudoestático no drenado de 1.195, en el SD-3 un FS estático no drenado de 1.273 y para un FS pseudoestático no drenado de 0.978, en el SD-4 un FS estático no drenado de 1.99 y para un FS pseudoestático no drenado de 1.489, en el SD-5 un FS estático no drenado de 1.667 y para un FS pseudoestático no drenado de 1.230.

Podemos apreciar que, realizando un caso práctico hipotético ante un posible deslizamiento de un bloque, aflora un inconveniente que inicia con la rápida solución de carguío y acarreo, actividad que no estaba contemplada, por lo que se realizaría actividades adicionales e implicaría mayores gastos operativos no previstos, con lo cual podemos concluir que la productividad disminuye considerablemente. Es así que obtenemos costos operativos adicionales de **\$ 92,309.58**, los cuales inicialmente no estaban programados, así mismo detallamos que el tiempo que tardaríamos en eliminar dicho material excedente será de **10 días**, sin accesibilidad a las zonas operativas, condicionando el normal funcionamiento del ciclo de minado y disminuyendo las utilidades diarias de mina.

VI. RECOMENDACIONES

Para realizar un adecuado dimensionamiento de los componentes de un tajo, se recomienda considerar los equipos con los que se trabaja, de forma que la eficiencia de los equipos sea mayor, así mismo es recomendable complementar dichas dimensiones mediante la determinación de factores de seguridad para garantizar la estabilidad física, por ello se debe tener previamente parámetros geotécnicos de los materiales, que al contrarrestar esta información los resultados sean más representativos y óptimos.

Habiéndose determinado las dimensiones y características geotécnicas de los materiales a estudiar, se recomienda usar softwares que ayuden en la determinación de distintas iteraciones, renderizar o simular los distintos casos, de tal forma que al tomar decisiones definitivas sean estas más verídicas. Esto debe ser considerado oportunamente por el área de geotecnia y contrarrestado con planeamiento.

Se recomienda tener un control adicional para el control adecuado de la estabilidad de taludes, considerando mayores estaciones de monitoreo mediante prismas, tal como se menciona, así como tener un mayor control de daños post voladura, mediante monitoreos de vibraciones generadas. Esta implementación debe estar a cargo del área de geotecnia, topografía y voladura.

Para garantizar y optimizar la producción en una unidad minera es importante establecer medidas de control y prevención, por lo que se recomienda que ante ocurrencias inesperadas se tenga planes de contingencia que permitan el normal desempeño de actividades y proseguir con el planeamiento de la ejecución normal del ciclo de minado. Esta deberá ser implementada por el área de operaciones mina previa coordinación con planeamiento.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, S. (2018). *Tesis Ciencia*. Obtenido de <https://tesisciencia.com/2018/08/20/tesis-variables-dimensiones-indicadores/>
- Aguilar, G., & Zuñiga, R. (2015). Análisis Comparativo de Estabilidad de Taludes mediante los Métdoos de Equilibrio Límite Apicado a Taludes o Laderas Aledañas al Cerro de la Popa, Casco Urbano de Cartagena (Tesis de pregrado). Cartagena, Colombia.
- Alonso, E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya.
- APUMAYO SAC. (2022). *Estudios Geotécnicos Apumayo*.
- Cabellos Requejo, J. E. (2021). *Estudio Geotécnico para la Estabilidad de Taludes en la Mina de Hierro Olmos 8 HPM (Tesis de Pregrado)*. Universidad Césa Vallejo.
- Chávez, J. C. (2020). *Joel Chucos Chávez*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.ucss.edu.pe>
- Chile, U. d. (2010). *Diseño de Minas a Cielo Abierto*. Santiago: Departamento de Ingeniería de Minas -M158A.
- CISNEROS, A. J. (2023). *Reevaluación Geotécnica de la Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos Moderadamente Deformables Aplicada al Yacimiento Pierina, Huaraz, Ancash (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Ingeniería.
- Condezo Luna, M. L. (2019). Análisis de estabilidad de Taludes, empleando métodos aproximados de Dovelas, en depósitos de desmonte de mina Excélsor - Pasco (Tesis de Pregrado). Huancayo, Perú.
- Condori-Ojeda, P. (2020). *Universo, población y muestra*. Obtenido de <https://www.aacademica.org/cporfirio/18.pdf>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Santa Fé, México: Cengage Learning Editores.

Decreto Supremo N° 024-2016-EM, "*Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*"

Delsol. (2020). Obtenido de <https://www.sdelsol.com/glosario/productividad/>

Deree. (1967). *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice*, Classification Systems for Engineering Purposes

Gercovich, D. M. (2015). *Estabilidad de Taludes*. Lemoine Editores.

GonzalezdeVallejo. (2003). *Mecánica de Suelos*. Madrid.

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). Mc. Graw Hill.

Herrera, R. (2003). *Introducción a la Estabilidad de Taludes*. Zaragoza, Aragon.

Hoek, & Brown. (2002). El criterio de Rotura de Hoek - Brown. *RocScience Inc.*

Hoyos, F. (2001). *Geotecnia, Diccionario Básico*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Ingeniería Civil- Facultad de Minas.

INGEOTECNIA. (s.f.). Obtenido de <https://ingeotecnica.com/mecanica-de-rocas>

KACTUS. (22 de Agosto de 2022). *¿Qué es una napa freática?* Obtenido de <https://www.kactusempresa.cl/blog/qu-es-una-napa-fretica>

LOAYZA, J. A. (2016). *Análisis de Estabilidad de Taludes de Suelos de Gran Altura en la Mina ANTAPACCA Y (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

MEJÍA, C. A. (2018). *Geología y Estabilidad de Taludes en la Mina 2-3-4 SHOUGANG (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano.

MELENTIJEVIC, S. (2005). *Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos con Criterios de Rotura no Lineales y Leyes de Fluencia no Asociada (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Madrid.

- Mendoza (2016). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay (tesis de pregrado)* - Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Morales & Valiente (2017). *Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes, en la Institución Social Jardín Infantil Lipaya, casco urbano Barranquilla (Tesis de Pregrado)*. Universidad de Cartagena.
- N. Caba, O. C. (2016). *Gestión de la Producción y Operaciones*.
- Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006 - VIVIENDA
- OLIVO, H. J. (2017). *Evaluación Geotécnica de Estabilidad de Taludes. Caso de Estudio: Institución Social Jardín Infantil Lipaya, Casco Urbano de Barranquilla. (Tesis de pregrado)*. Universidad de Cartagena.
- OMS, O. M. (2018). NU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6296-la-seguridad-vial-la-region-americ-latina-caribe-situacion-actual-desafios>
- Perez de Agreda, E. A. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Universidad Politecnica de Catalunya.
- Ragan, D. (1987). *Geología Estructural: Introducción a las técnicas geométricas*. Barcelona: Edición Omega S.A.
- Romero (2018). *Geología y estabilidad de taludes en la mina Shougang (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano.

Sackschewski. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta - Huayllay entre las progresivas del Km 102 al 110 (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.

Sánchez, A. (2017). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/364414372/Geomecanica-vs-Geotecnia-Diferencias-y-Similitudes>

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.

Suárez, J. (2009). *Comportamiento Sísmico de Taludes - Análisis Geotécnico*.

Svetlana Melentijevic. (2005). *Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Madrid. España.

Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *CIVILIZATE(7)*, 50-54.

Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.

VIII. ANEXOS

ANEXO A: Aspectos Generales

ANEXO B: Planos

ANEXO C: Mapeo Geotécnico

ANEXO D: Clasificación Geomecánica

ANEXO E: Resultados Numéricos de los Ensayos de Mecánica de Rocas

ANEXO F: Resultados de Análisis Cinemático

ANEXO G: Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes

ANEXO H: Registro Fotográfico

ANEXO A: Marco

Contextual

Marco Contextual

Generalidades

La U.E.A. Apumayo cuenta con un yacimiento de tipo ácido sulfato (alta sulfatación), con alteraciones sílice masiva, sílice vuggy-granular, sílice alunita, argílico y propilítica; emplazada en rocas volcánicas de composición andesítica.

La UM Apumayo es una empresa minera de mediana minería que se encarga de la extracción de metales (oro y plata), cuenta con un (01) sector productivo en etapa de operación Tajo Apumayo 1 (Tika) y tres (03) sectores en etapa de cierre progresivo : Tajo Apumayo, relleno del tajo Ayahuanca y Tajo Huamanloma, donde la recuperación de los minerales económicamente rentables se realiza mediante pilas de lixiviación, la cianuración es realizada mediante percolación ubicadas en superficies impermeables adecuadamente estructuradas, dicho componente es denominado: pad de lixiviación. Así mismo en toda la extensión de los componentes se poseen puntos de control para monitoreos geotécnicos que ayudan a controlar la estabilidad y seguridad de los mencionados componentes (Apumayo S.A.C).

Contexto

Ubicación y Límite Territorial

La presente tesis se desarrolló en el Tajo Apumayo 1; también denominado Tika, en la U.E.A. Apumayo, situada en los distritos de Chaviña y Sancos de la provincia de Lucanas, región Ayacucho. Cuyas coordenadas en UTM con datum WGS-84 son: E= 616300, N = 8339300, zona 18, con una cota promedio de 4100m.s.n.m.

La U.E.A Apumayo, políticamente está ubicada en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho a unos 673 km de la cual está ubicada en la parte central de la planicie volcánica Tambillos.

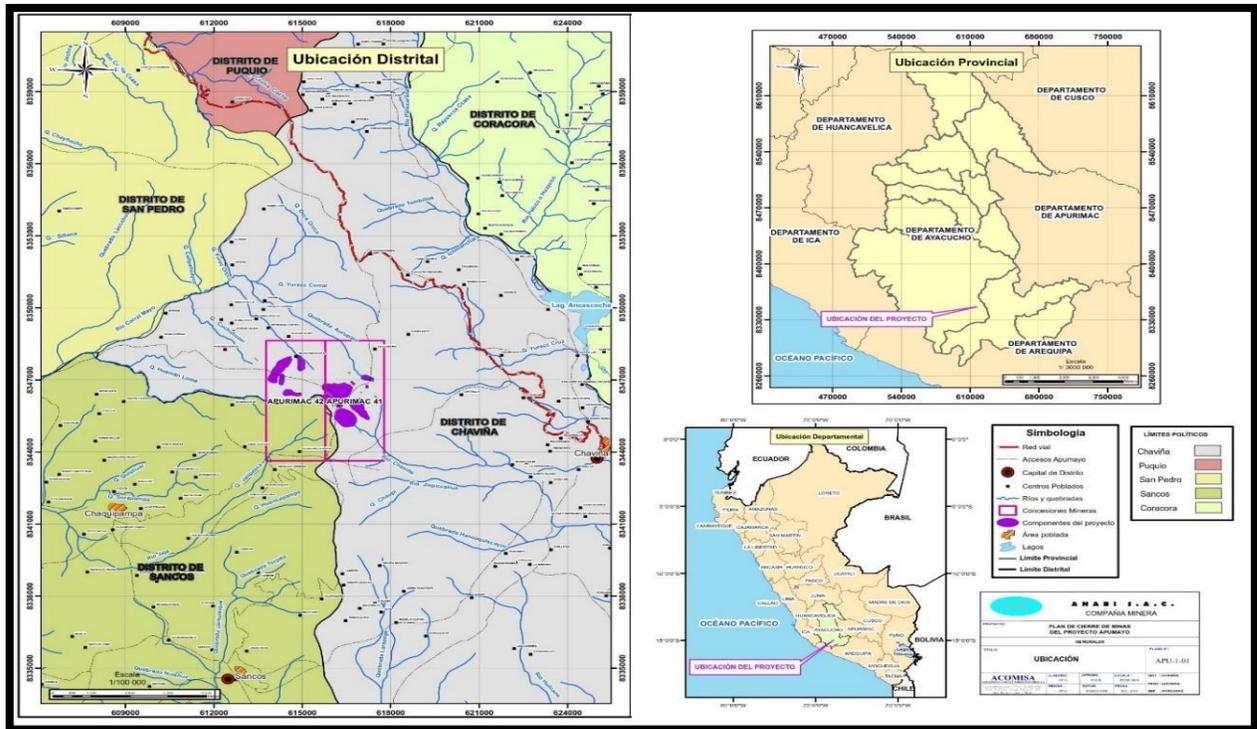
A continuación, se muestra las coordenadas de ubicación:

Tabla 1 Ubicación geográfica Mina Apumayo

Proyecto	Coordenada UTM		Sistema
	Este	Norte	
Instalaciones Administrativas	614551	8348025	WGS 84, zona 18 S
Tajo Apumayo 1	616850	8345942	WGS 84, zona 18 S

Nota. Elaboración propia

Figura 1 Ubicación y Acceso



Nota. Ubicación y acceso a la Unidad Minera Apumayo

Figura 2 Componentes de la Unidad Minera Apumayo



Nota. Adaptado de Apumayo SAC

Tabla 2 Accesibilidad Lima – Apumayo 1

Ruta	Tipo de Vía		Condición	Distancia (Km)	Tiempo (hr.)
Lima - Nazca	Panamericana Sur	Asfaltada	Buena	449	6
Nazca - Puquio	Carretera 30A	Asfaltada	Buena	156	4
Puquio - Desvío a U.M	Carretera 32	Asfaltada - Afirmada	Regular	58	2.5
Desvío Sancos - U.M. Apumayo	Carretera vía Sancos	Afirmada	Regular	10	0.2
TOTAL				673	12.7

Nota. Elaboración propia

Tabla 3 *Accesibilidad Cusco – Apumayo 2*

Ruta	Tipo de Vía		Condición	Distancia (Km)	Tiempo (hr.)
Cusco - Abancay	Carretera 3S	Asfaltada	Buena	184	4
Abancay - Puquio	Carretera 3S	Asfaltada	Buena	305	5.5
Puquio - Desvío a U.M	Carretera 32	Asfaltada - Afirmada	Regular	58	2.5
Desvío Sancos - U.M. Apumayo	Carretera vía Sancos	Afirmada	Regular	10	0.2
TOTAL				557	12.2

Nota. Elaboración propia

Recursos Minerales

El tipo de mineralización es de oro y plata, diseminados de baja ley en roca huésped (rocas volcánicas piroclásticas y de flujos, así como de estructuras tipos brechas y stock Works) silicificada y argilizada. La mena para el oro es una metasomatita de goethita, limonita, jarosita, escorodita y pirita rellenando fracturas, oquedades y diseminado en alteración de sílice vesicular y aquerosa “vuggy silica” que es un producto residual de la lixiviación ácida (hidrolisis extrema) y brechas hidrotermales. La mena para la plata es una metasomatita de cuarzo, hematita, rutilo, jarosita, platas rojas y pirita (Apumayo S.A.C).

Aspectos Geológicos

En el proyecto del Tajo Huamanloma NW, la mineralización está directamente relacionada a un cuerpo de brecha hidrotermal la cual tiene una tendencia NW-SE que llega a aflorar en superficie, cortando a los tufos.

La geología del lugar muestra la siguiente litología:

a) Brecha Hidrotermal: La brecha hidrotermal se caracteriza, por la presencia de moderada a fuerte oxidación, con algunas evidencias de fluidización, además de presentar algunos relictos de fragmentos sub angulosos que evidencian su protofito tufo.

b) Tufo: Esta roca, se caracteriza por presentar fragmentos sub redondeados masivos de color gris oscuro, con presencia de óxidos de moderada a baja intensidad. Esta roca se encuentra mineralizada en algunos sectores debido al halo de influencia de la brecha hidrotermal.

c) Andesita: Esta roca se encuentra en menor proporción que las rocas antes mencionadas. Se encuentra al borde del sistema de alteración hidrotermal.

d) Brecha Freatomagmática: Se caracteriza por presentar fragmentos medios a finos, esta aflora principalmente en el sector sur del área mineralizada y de forma puntual en algunos taladros.

En la litología presente se encuentran las siguientes alteraciones:

e) Sílice Granular (SG): Que es la alteración de mayor predominancia en el cuerpo mineralizado de Au, cuya intensidad es moderada a compacta y se presenta principalmente en la brecha hidrotermal y en parte de los tufos.

f) Sílice Masiva (SM): Se presenta en algunos afloramientos e identificándose de forma puntual un cuerpo en el sector sur del proyecto.

g) Sílice Clay (SC): Que se encuentra más en los bordes del cuerpo mineralizado, principalmente en los tufos y andesita.

h) Clay (C): Se presenta en el borde de todo el sistema hidrotermal.

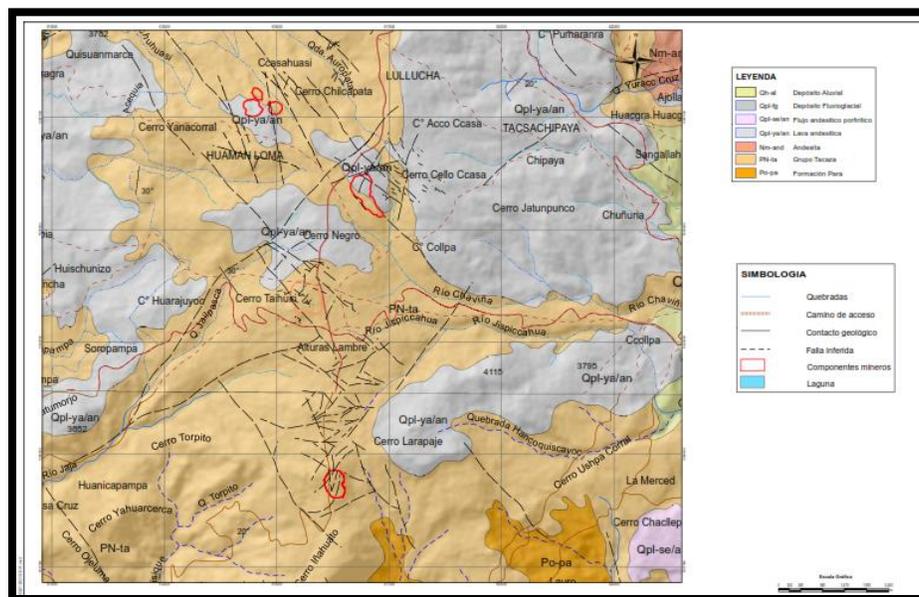
La presencia de la sílice alunita se muestra en algunos taladros.

Geología Regional

Geológicamente el área se caracteriza por presentar rocas variadas, las cuales datan desde el Neógeno hasta el Cuaternario, cuyos orígenes se deben a los procesos volcánicos y sedimentarios que afectaron la región. Asimismo, la región se caracteriza por la presencia de extensos depósitos cuaternarios que tienen un origen principalmente glaciar, y que fueron depositados durante las últimas glaciaciones andinas que cubrieron gran parte del área de estudio.

Geográficamente el área de la unidad minera Apumayo se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental, específicamente en la cadena volcánica del sur del Perú. La estratigrafía regional comprende una secuencia de rocas del Grupo Barroso y del Grupo Tacaza constituidos por rocas volcánicas, mayormente compuestas por lavas andesíticas. Sobreyacen en discordancia a estas secuencias, depósitos recientes constituido por material aluvial (Apumayo S.A.C).

Figura 3 Geología regional



Nota. Adaptado de Apumayo SAC

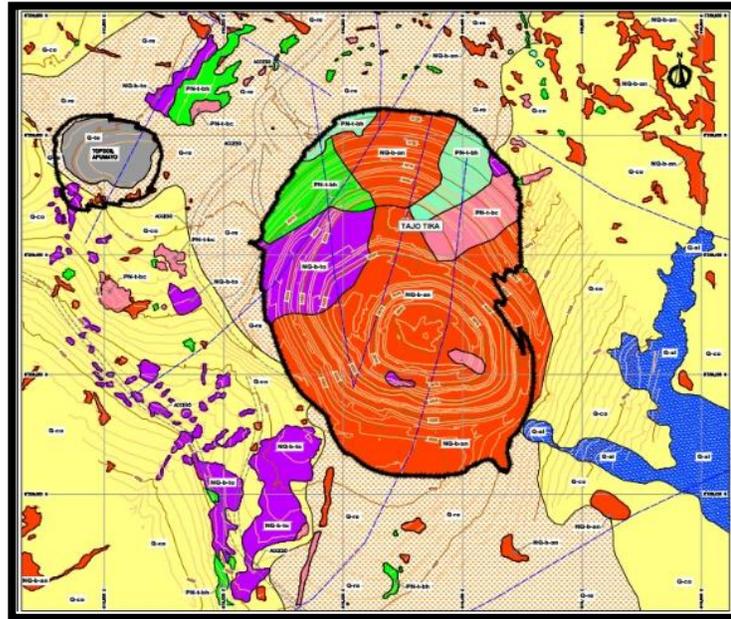
Geología local

En el área del yacimiento Apumayo, la litología dominante lo conforman rocas de origen volcánica, principalmente piroclásticos y derrames lávicos de composición andesítica, cuya secuencia grada de andesita porfirítica a andesita afanítica y ríodacita. Esta secuencia volcánica se encuentra intruida por domos y stocks ríodacíticos producto de eventos tardíos a la secuencia volcánica principal.

El yacimiento muestra el típico patrón de alteración de depósitos epitermales de alta sulfuración en donde el oro y la plata se presentan en forma diseminada y de baja ley en la roca silicificada y argilizada. Hacia el sector noreste, se observa la predominancia de rocas dacíticas.

El componente principal en este sector es el Tajo Apumayo 1 (Tika) que actualmente se encuentra en operación. Los afloramientos rocosos observados en los taludes del tajo Tika, corresponden a tobas blanquecinas argilizadas del Grupo Barroso (NQ-b-to), que se encuentran en contacto con brechas hidrotermales del grupo Tacaza (PN-t-bh), los depósitos cuaternarios están constituidos por suelos residuales (Q-re) y depósitos coluviales (Q-co), el control estructural del componente es de SW a NE (Apumayo S.A.C).

Figura 4 Geología sector Apumayo 1 (Tika)



Nota. Adaptado de Apumayo SAC

Geología estructural

La Unidad Minera Apumayo, se encuentra ubicada sobre el flanco andino, cerca de la cadena de conos volcánicos. Por continuación de fallas mayores que se tienen registrados al sureste de la zona de estudio, se tiene una traza no definida de la falla o estructura Arenizo de escala regional. La falla o estructura Arenizo se encuentra cubierta por los depósitos de rocas volcánicas y materiales fluvio-glaciares, con una dirección aproximada NNO-SSE y un buzamiento posiblemente subvertical. Regionalmente esta falla antigua no tiene movimiento actual; sin embargo, por las zonas de debilidad pueden ocurrir caídas de rocas (Apumayo S.A.C).

Las fracturas más frecuentes en la zona de estudio tienen direcciones N 45° y buzamiento de 65° al oeste y otros con dirección N 70° y buzamiento de 70° al norte. Cabe destacar que las fracturas se distancian aproximadamente cada 30 cm. Las rocas aflorantes en la Cordillera Occidental están constituidas principalmente por rocas volcánicas e

intrusivos subvolcánico, con edades entre el Oligoceno y Plioceno. Las rocas volcánicas composicionalmente varían desde andesitas basálticas a riolitas. Presentan una afinidad geoquímica calco alcalina con alto potasio y posiblemente depositadas entre los 30-17 Ma y 14-3 Ma (Schneider, 1987; Gardeweg y Ramírez, 1987; Coira et al., 1993; Kay et al., 1999; García et al., 2000. En Zappettini et al., 2001).

Hidrogeología

Para optimizar el planteamiento de las medidas de drenaje que cumplan con los objetivos de garantizar la estabilidad de los taludes, se requiere de un buen entendimiento del comportamiento de flujo subterráneo en el entorno, partiendo de un análisis detallado de la geología estructural y culminando con una fase de modelamiento que represente lo más aproximado posible las interacciones entre el flujo subterráneo y el medio (Apumayo S.A.C).

Operaciones Mineras

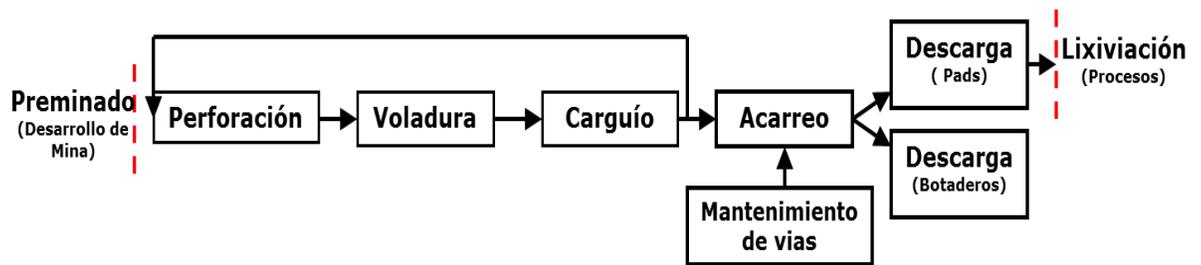
Ciclo de minado

La minería en Apumayo es un proceso sistemático que implica fragmentar, extraer, transportar (minar) y transportar materiales valiosos que contienen oro desde lugares naturales en las colinas hasta campos lavados (Pads).

La mano de obra, los materiales y el equipo minero cortan y perfilan continuamente materiales del área de la mina en capas horizontales para formar aberturas en el suelo de manera continua y ordenada. (tajo abierto).

En la siguiente Figura N°05 se muestra el proceso del minado:

Figura 5 Diagrama del proceso de minado de la unidad Minera Apumayo



Nota. Adaptado de Apumayo SAC

a) Perforación

La perforación es la apertura de taladros en el macizo rocoso con la finalidad de alojar explosivos. La empresa Apumayo cuenta con 03 perforadoras DM con un diámetro de barra perforación de 6 ¾”, con longitudes de perforación hasta los 9 m. asimismo cuenta con un equipo de perforación para el control de taludes (Taladros precorte) Rockdrill.

b) Voladura

El objetivo es romper los cimientos con un explosivo. Los taladros están cargados con aproximadamente 170 kg de explosivos y accesorios de voladura que garantizan la mayor seguridad posible y la mejor fragmentación del material. En este sentido, se realizan las siguientes pruebas: calibración de la ranura de mezcla, medición de la densidad de nitratos, medición de la dispersión. En la empresa Apumayo la voladura está a cargo de la empresa FAMESA EXPLOSIVOS, quienes para este fin hacen uso de emulsiones gasificadas, tañes como: HA37, HA 46, HA 55, HA 64. Determinadas en función del tipo de material.

c) Carguío

Para la extracción diaria se realiza una programación en coordinación estrecha con operaciones Mina y Geología (Ore Control) teniendo en cuenta el tipo de ley, accesibilidad y granulometría del mineral que se va a extraer.

Para esta actividad contamos con equipos de carguío de mediana productividad, como excavadoras y cargador frontal, que ejecutan el carguío del material ya sea a un carril o ambos carriles, dependiendo de las condiciones que exija la operación.

La incorrecta selección de un equipo de carguío en un frente de trabajo repercute en el avance del planeamiento a corto plazo; esto aparte de traer como consecuencia el no cumplimiento de la producción mineral y desmonte, traería consigo un incremento de los costos unitarios del carguío.

d) Transporte

El acarreo en APUMAYO S.A.C de los distintos frentes de trabajo a las descargas de mineral y desmonte se realizan con volquetes de 22 m³ de capacidad en una cantidad de 24 volquetes. Para el acarreo de mineral se utilizarán volquetes de la empresa MUR WY para transportar del tajo al PAD de lixiviación por una rampa con una pendiente máxima de 10% y 12 m de ancho mínimo. El transporte del material se realiza por las vías designadas y habilitadas para la circulación de volquetes, teniendo en cuenta la velocidad máxima permisible de las vías.

e) Mantenimiento de vías

El mantenimiento de vías se realiza con la finalidad de mantener en buenas condiciones las vías para el transporte de los volquetes con el uso de equipos auxiliares como: motoniveladora, retroexcavadora, rodillo, cisterna, tractor, etc.

f) Descarga

La descarga de material se realizará ya sea en el Botadero o Pad de Lixiviación. Verificar la plataforma de descarga, muro de seguridad con un ancho de 1.0 m. y una altura de 0.90 m. aproximadamente, y que el piso este nivelado. Hacer cumplir el ingreso de los volquetes a la plataforma de la zona de descarga de izquierda a derecha. El cuadrador deberá colocar su cono a 1.0 m perpendicular al muro de seguridad. Levantar los brazos horizontalmente y dirigir al operador del volquete cuidando que la posición del volquete sea perpendicular al muro de seguridad.

g) Beneficio

El mineral extraído de la mina se envía al circuito de trituración y se recupera mediante lavado convencional de pilas. La solución abundante se trata con el método Merrill Claw, se seca y se funde en una barra de oro (una mezcla de oro y plata).

La Lixiviación consiste en filtrar a través de una solución de cianuro de sodio en una pila de minerales sobre el suelo, y por su vía o permeación en la solución, el cianuro se filtra a través de la porosidad del mineral, alcanzando el oro y la plata físicamente libres. Se recolectaron muchas soluciones en suelo tampón impermeable y se utilizaron para la recuperación de metales preciosos mediante el método Merrill-Crowe.

La recuperación de los metales preciosos tiene el siguiente proceso metalúrgico:

- Riego de mineral apilado, por el sistema de riego por goteo, la solución atravesara la pila de mineral y se colectara en el piso impermeabilizado del pad.
- Conducción y recepción de las soluciones, en las pozas PLS (poza de solución rica) e ILS (poza de solución intermedia).
- Tratamiento de recuperación de los valores de la solución por el proceso Merrill Crowe.

- Recirculación por bombeo de la solución pobre que sale de la planta Merrill Crowe, hacia el pad, para continuar con la lixiviación del mineral.
- Recirculación directa por bombeo de la solución intermedia hacia el pad, para continuar con la lixiviación y elevar su ley.
- Secado y fundición del producto de la planta Merrill Crowe, para obtener barras doré.

Tabla 4 *Criterio de diseño operativo del Pad de Lixiviación*

Descripción – Características del	Unidad	Criterio
Tipo de mineral a procesar		ROM
Tiempo de operación	años	4.2
Tamaño máximo del mineral	mm	400
Tasa de producción máxima diaria	TM/día	15000
Ley promedio del mineral	g/t	0.39
Densidad promedio del mineral roto en	TM/m ³	1.6
Humedad del mineral en pila	%	8
Ciclo de lixiviación	días	80
Descripción – sistema de transporte del		
Camiones o fajas transportadoras	Und	camiones

Nota. Adaptado de Apumayo SAC

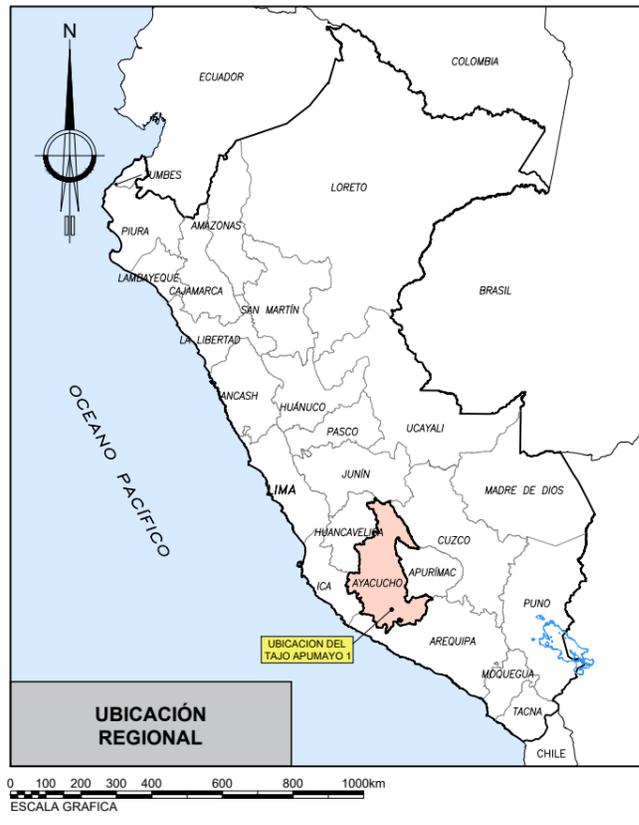
h) Comercialización

Una vez culminado el proceso de secado y fundido hasta obtener barras doré (mezcla de oro más plata) del mineral, se procede a la venta o comercialización del mineral.

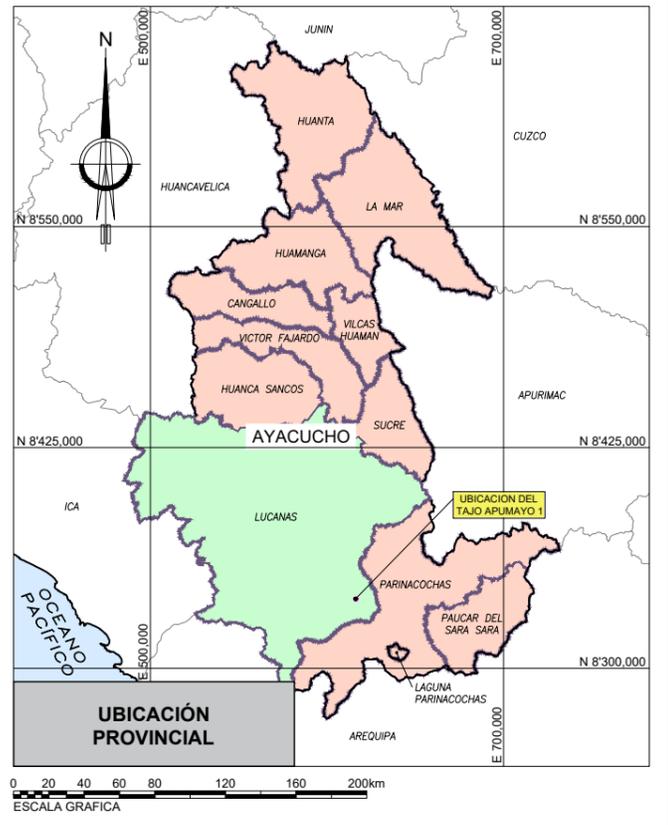
ANEXO B: Planos



PLANO DE UBICACIÓN
 0 2.5 5 7.5 10 12.5 Km
 1:250000-A1 1:500000-A3
 ESCALA GRAFICA

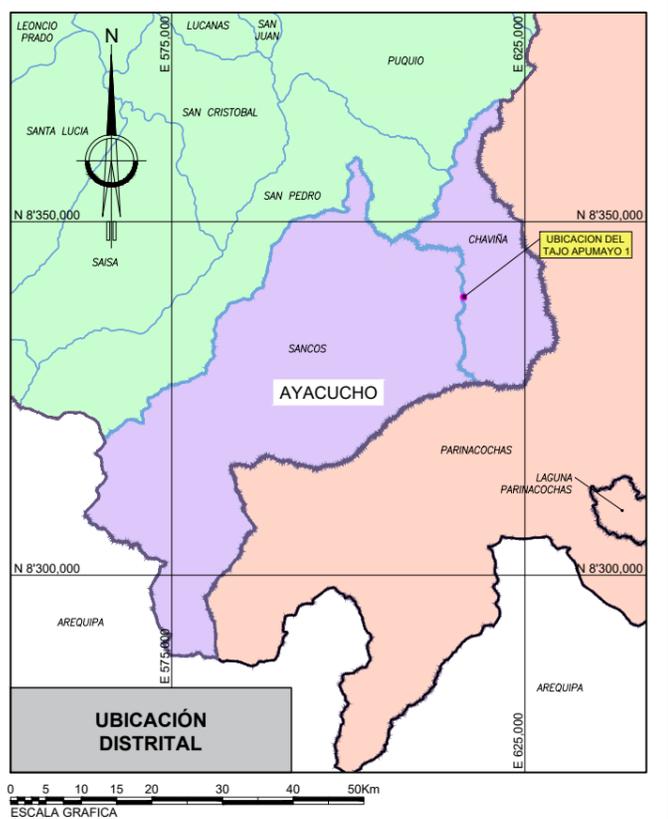


UBICACIÓN REGIONAL
 ESCALA GRAFICA



UBICACIÓN PROVINCIAL
 ESCALA GRAFICA

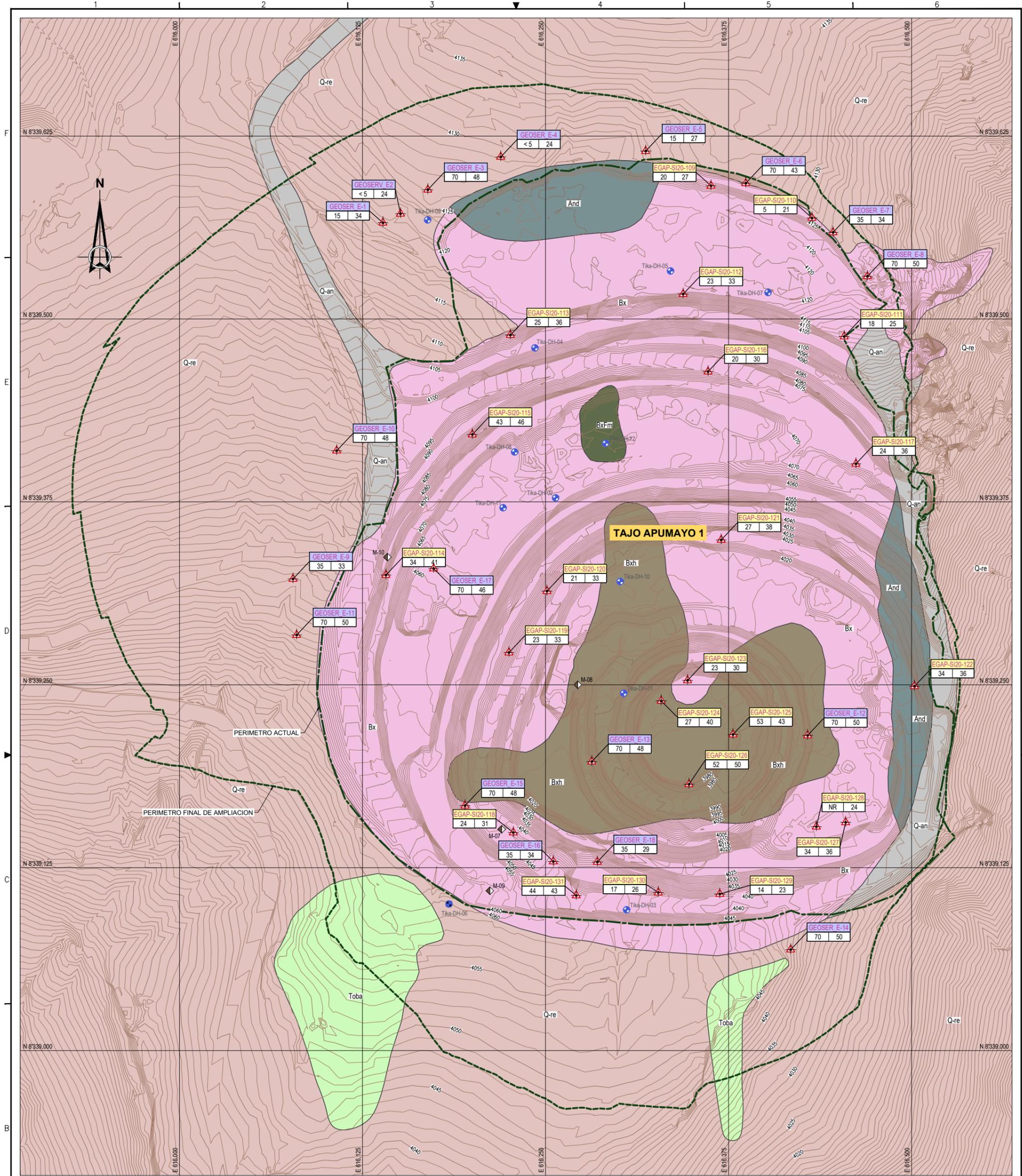
LEYENDA	
	AREA DEL TAJO TIKA
	LIMITE REGIONAL
	LIMITE PROVINCIAL
	LIMITE DISTRITAL



UBICACIÓN DISTRITAL
 ESCALA GRAFICA

- NOTAS:**
- TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS SE ENCUENTRAN EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U).
 - SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS84-18S.
 - LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESIÓN EN TAMAÑO A1-A3.

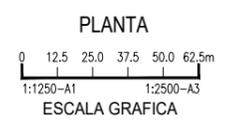
EMPRESA: 	DISEÑADO POR:	N° PROYECTO:	PROYECTO:
	DIBUJADO POR:	DISCIPLINA:	UNIDAD MINERA APUMAYO
	REVISADO POR:	ESCALA:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
	APROBADO POR:	FECHA:	TÍTULO:
			PLANO DE UBICACION
			NUMERO DE PLANO: APU-01
			REV. 0



UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	
	DEPOSITOS RECIENTES SUELO RESIDUAL: ESTA CONFORMADA POR ARENA LIMOSA CON GRAVA Y GRAVA LIMOSA CON ARENA. GRAVAS Y BOLONES, ANGULARES A SUBANGULARES DE T MAX 6".
	DEPOSITOS ANTROPOGENICOS: MEZCLA HETEROGENEA DE GRAVA, ARENA Y FINOS; EN MAYOR PORCENTAJE GRAVA LIMOSA Y GRAVA MAL GRADADA.
	BRECHA: SE CARACTERIZA POR PRESENTAR, EN MAYOR PORCENTAJE, CLASTOS ANDESITICOS; SON DE COLOR MARRON CON SECTORES GRIS Y PARDUSCOS.
	BRECHA HIDROTHERMAL: SE CARACTERIZA POR LA PRESENCIA DE MODERADA A FUERTE OXIDACION, CON ALGUNAS EVIDENCIAS DE FLUIDIZACION, AFANTICA, DE COLOR GRIS BRUNACEO A PARDUSCO.
	BRECHA FREATOMAGMATICA
	TUFO (TOBA): CONSISTE DE CAPAS DE TOBAS CON FRAGMENTOS LITICOS DE MATERIAL VOLCANICO, MARRON PARDUSCO CON TONALIDADES ANARANJADAS.
	ANDESITA: SON DE TEXTURA PORFIRITICA, GRANO FINO A MEDIO, COLOR GRIS VERDOSO.

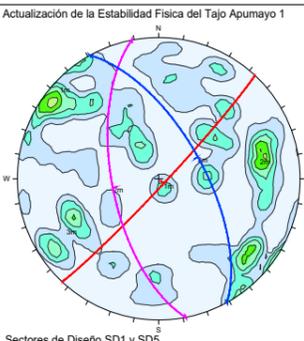
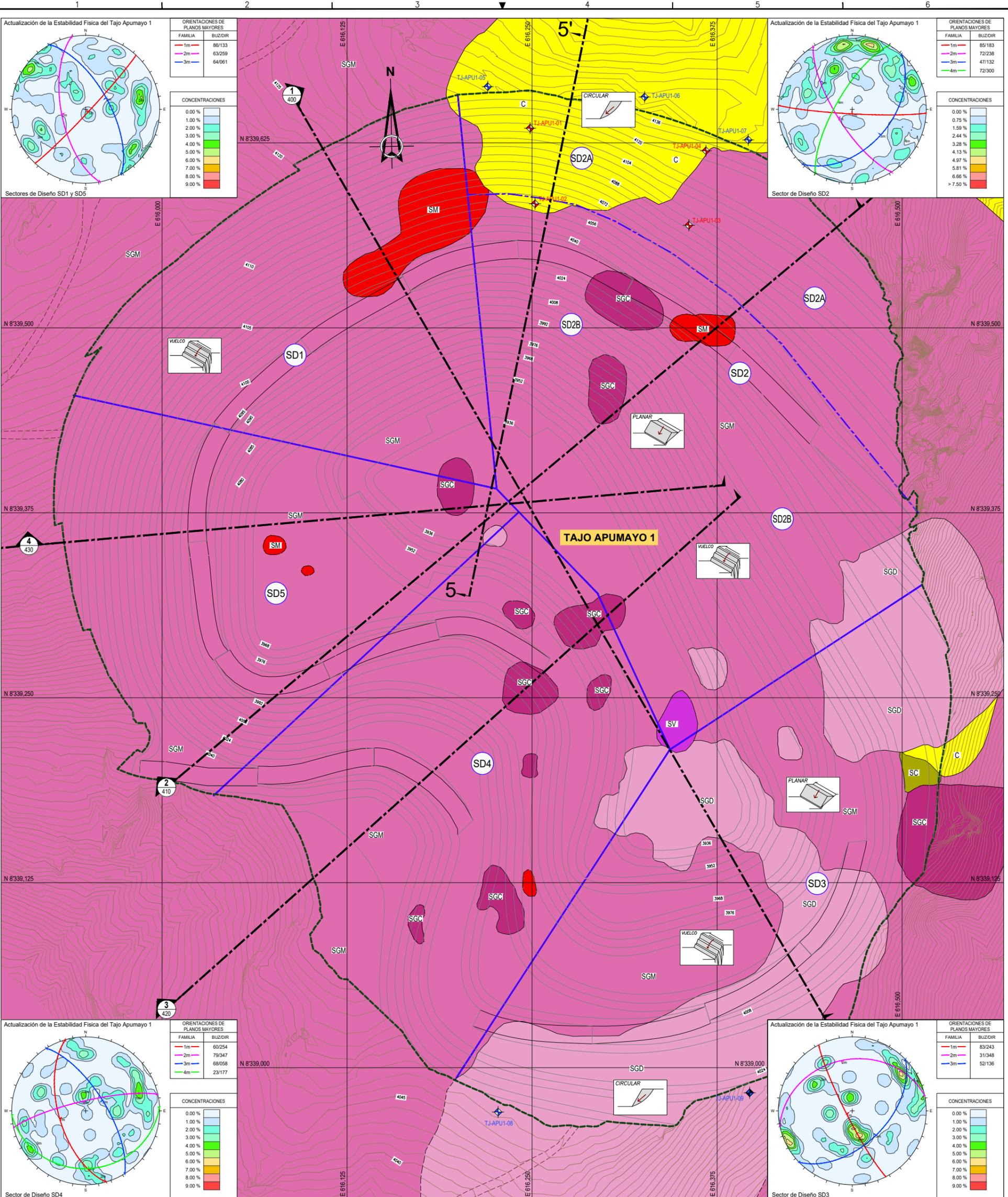
LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE (VER NOTA 1)
	CAMINO EXISTENTE
	CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO
	PERIMETRO ACTUAL
	PERIMETRO FINAL DE AMPLIACION
	ESTACION GEOMECANICA
	PERFORACIONES Y/O SONDAJES GEOTECNICOS
	MUESTRAS DE BLOQUES ROCOSOS
	ESTACIONES GEOMECANICAS - SIASMIN 2020
	ESTACIONES GEOMECANICAS - GEOSERVICE 2021

DETALLE DE SIMBOLOGIA	
	CODIGO DE ESTACION
	RESISTENCIA COMPRESIVA UNIAIXIAL (MPa)
	UBICACION DE LA ESTACION DE REGISTRO GEOMECANICO
	CLASIFICACION RMR-89



- NOTAS:**
- BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO PROPORCIONADO POR EL CLIENTE. SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84-18S.
 - TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U).
 - LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1-A3.
 - LAS ESTACIONES GEOMECANICAS HAN SIDO DESARROLLADAS EN LA CARA DE LOS TALUDES DE BANCO.

EMPRESA 	DISEÑADO POR:	N° PROYECTO:	PROYECTO:
	DIBUJADO POR:	DISCIPLINA:	UNIDAD MINERA APUMAYO ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
	REVISADO POR:	ESCALA:	TITULO:
	APROBADO POR:	FECHA:	INDICADA
			PLANO GEOLOGICO - GEOTECNICO
			NUMERO DE PLANO: APU-02
			REV.



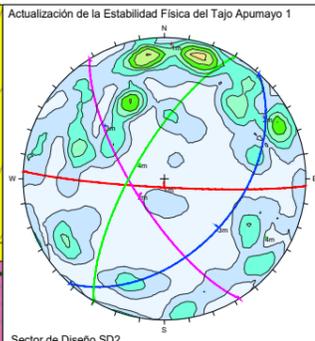
Actualización de la Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1

ORIENTACIONES DE PLANOS MAYORES

FAMILIA	BUZDIR
1m	86/133
2m	63/259
3m	64/061

CONCENTRACIONES

0.00 %
1.00 %
2.00 %
3.00 %
4.00 %
5.00 %
6.00 %
7.00 %
8.00 %
9.00 %



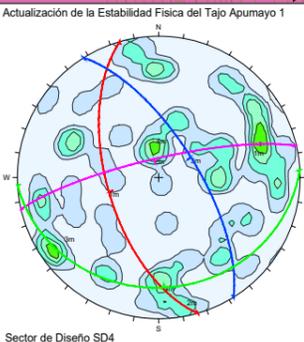
Actualización de la Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1

ORIENTACIONES DE PLANOS MAYORES

FAMILIA	BUZDIR
1m	85/183
2m	72/238
3m	47/132
4m	72/300

CONCENTRACIONES

0.00 %
0.75 %
1.59 %
2.44 %
3.29 %
4.13 %
4.97 %
5.81 %
6.66 %
> 7.50 %



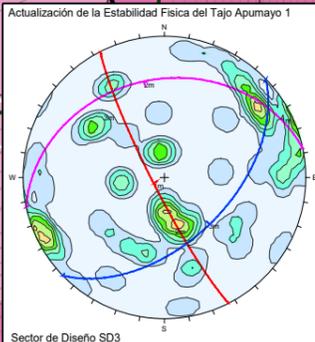
Actualización de la Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1

ORIENTACIONES DE PLANOS MAYORES

FAMILIA	BUZDIR
1m	60/254
2m	79/347
3m	68/058
4m	23/177

CONCENTRACIONES

0.00 %
1.00 %
2.00 %
3.00 %
4.00 %
5.00 %
6.00 %
7.00 %
8.00 %
9.00 %



Actualización de la Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1

ORIENTACIONES DE PLANOS MAYORES

FAMILIA	BUZDIR
1m	83/243
2m	31/348
3m	52/136

CONCENTRACIONES

0.00 %
1.00 %
2.00 %
3.00 %
4.00 %
5.00 %
6.00 %
7.00 %
8.00 %
9.00 %

LEYENDA

- 4000 CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE (VER NOTA 1)
- 4000 CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DE DISEÑO DEL TAJO APUMAYO 1
- CAMINO EXISTENTE
- CONTACTO DE ALTERACIONES INFERIDO
- PERIMETRO FINAL
- LIMITE SECTOR DE DISEÑO
- LIMITE SUB SECTOR DE DISEÑO
- SD2 DENOMINACION DE SECTOR DE DISEÑO O SECTOR DE ANALISIS DE ESTABILIDAD
- LINEA DE SECCION
- TJ-APU1-01 PUNTO DE CONTROL TOPOGRAFICO
- TJ-APU1-05 PUNTOS DE CONTROL TOPOGRAFICO (PRISMAS) PROPUESTO POR SIASMIN, AÑO 2022 (VER TABLA 1)

INSTRUMENTACION PROPUESTA:

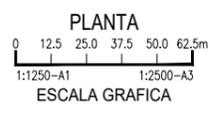
TABLA 1 PRISMAS O PUNTOS DE CONTROL TOPOGRAFICOS PROPUESTOS

CODIGO	NORTE	ESTE
TJ-APU1-05	8.339.663.00	616.220.00
TJ-APU1-06	8.339.656.00	616.326.00
TJ-APU1-07	8.339.627.00	616.396.00
TJ-APU1-08	8.338.970.00	616.227.00
TJ-APU1-09	8.338.983.00	616.397.00

- NOTAS:**
- BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO PROPORCIONADO POR EL CLIENTE. SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84-18S.
 - TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U.).
 - LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1-A3.
 - LAS ESTACIONES GEOMECANICAS HAN SIDO DESARROLLADAS EN LAS CARAS DE LOS TALUDES DE BANCO.

MODOS DE INESTABILIDAD CINEMATICA

- FALLA TIPO VUELCO
- FALLA PLANAR
- FALLA CIRCULAR
- FALLA TIPO CUÑA

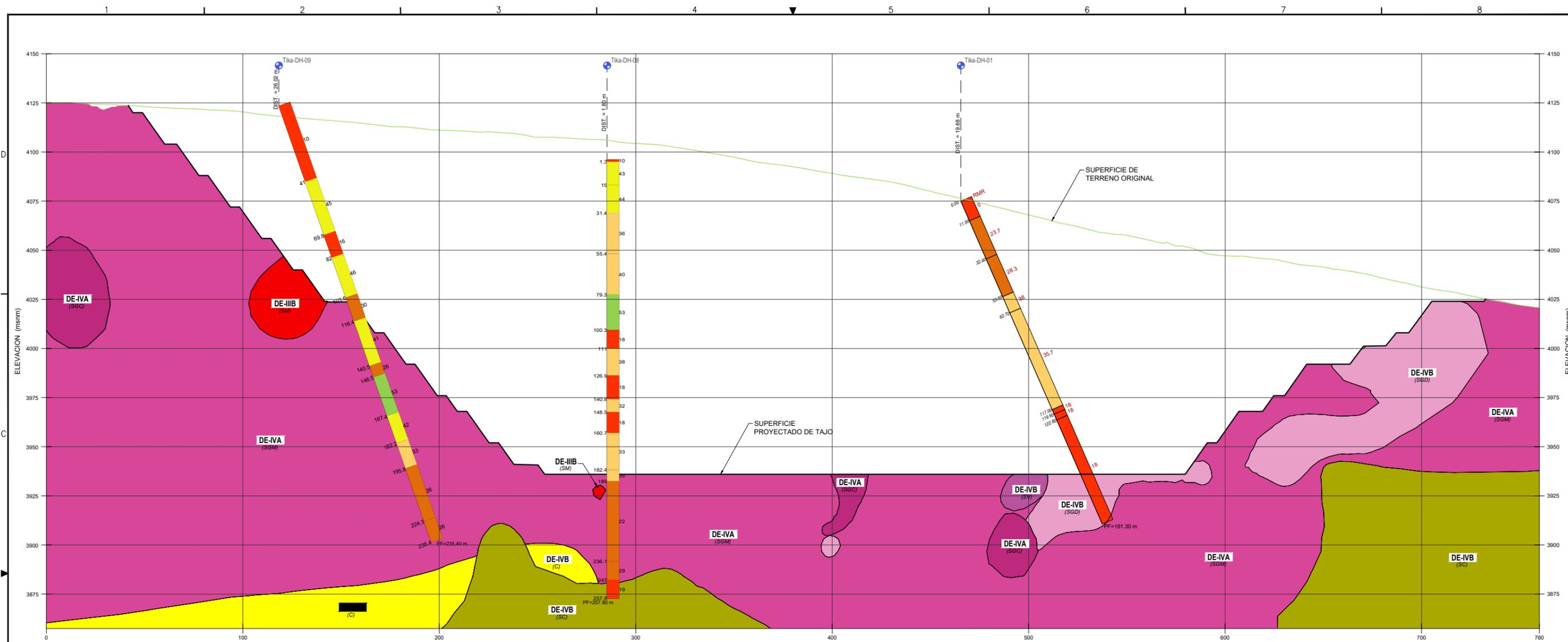


ALTERACIONES

- C** CLAY: CONSISTE DE ARCILLA CON ARENA, DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, RIGIDA A MUY RIGIDA, HUMEDA, GRIS A GRIS OSCURO. GRAVYS Y BOLONES ANGULARES A SUBANGULARES DE T MAX 4.5°.
- SC** SILICE CLAY: SE CARACTERIZA POR PRESENTARSE EN LA MATRIZ DE ROCA CON ARGILIZACION DE LOS FENOS (CAOLINIZACION), ALTERANDO A DIVERSOS TIPOS DE ARCILLAS.
- SGC** SILICE GLANULAR COMPACTA / SILICE MASIVA: SON DE COLOR GRIS, GRIS BRUNACEO Y MARRON OSCURO, LIGERA A MODERADAMENTE METEORIZADA, RESISTENCIA MEDIA A ALTA, MODERADAMENTE FRACTURADA CON SECTORES MUY FRACTURADOS; FRACTURAS DE SUPERFICIE RUGOSA Y RELLENO DE OXIDOS.
- SGD** SILICE GRANULAR DELEZNAZBLE: PRINCIPALMENTE SON DE COLOR BLANQUECINO Y PRESENTAN MODERADA A ALTA METEORIZACION, RESISTENCIA MEDIA A BAJA, MODERADAMENTE FRACTURADA CON SECTORES MUY FRACTURADOS; FRACTURAS DE SUPERFICIE LIGERAMENTE RUGOSA Y LISA Y RELLENO DE LIMOS Y ARCILLAS.
- SGM** SILICE GRANULAR MODERADA: SON DE COLOR MARRON CON SECTORES GRIS Y PARDUSCOS, MODERADAMENTE METEORIZADAS, RESISTENCIA MEDIA, LIGERA A MODERADAMENTE FRACTURADA Y CON TRAMOS MUY FRACTURADOS; FRACTURAS DE SUPERFICIE RUGOSAS A LIGERAMENTE RUGOSAS Y RELLENO DE OXIDOS, LIMOS Y ARCILLAS.
- SV** SILICE VUGGY: SE CARACTERIZA POR SU ASPECTO DE MASA DE SILICE OQUEROSA RESIDUAL. ESTE TIPO DE ALTERACION FUE DETECTADO EN LOS SONDAJES EN UN MINIMO PORCENTAJE.

EMPRESA: **APUMAYO**

DISENADO POR:	N° PROYECTO:	PROYECTO: UNIDAD MINERA APUMAYO
DESBUADO POR:	DISCIPLINA: GEOTECNIA/CIVIL	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
REVISADO POR:	ESCALA: INDICADA	TÍTULO: PLANO DE ALTERACIONES Y SECTORES DE ANALISIS
APROBADO POR:	FECHA:	NUMERO DE PLANO: APU-03
		REV. 0



1 SECCION GEOTECNICA 1-1'
300

LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO ORIGINAL
- SUPERFICIE PROYECTADO DE TAJO
- CONTACTO GEOTECNICO ESTIMADO
- PERFORACION PARA SONDAJE GEOTECNICO
- RMR
- VALORACION DE LA MASA ROCOSA - ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI-1989)
- GRAFICO DE RMR
- DISTANCIA HACIA LA LINEA DE SECCION
- PERFORACION Y/O CALICATA EN SECCION Y PROFUNDIDAD FINAL EN METROS
- DE-IVB (SGD)
- NOMENCLATURA DE DOMINIO ESTRUCTURAL Y ALTERACION

ALTERACIONES

- C CLAY
- SC SILICE CLAY
- SGC SILICE GRANULAR COMPACTA
- SGD SILICE GRANULAR DELEZNABLE
- SGM SILICE GRANULAR MODERADA
- SM SILICE MASIVA
- SV SILICE VUGGY

DOMINIO ESTRUCTURAL

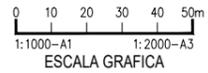
DOMINIO	ALTERACION
DE-IIB	RF
	SM
	SCP
DE-IVA	SGM
	SGC
	SGD
DE-IVB	SC - SV
	C

RMR

RANGO	TIPO	DESCRIPCION
0-20	V	MUY MALA
21-30	IVB	MALA B
31-40	IVA	MALA A
41-50	IIIB	REGULAR B
51-60	IIIA	REGULAR A
61-80	II	BUENA
81-100	I	MUY BUENA

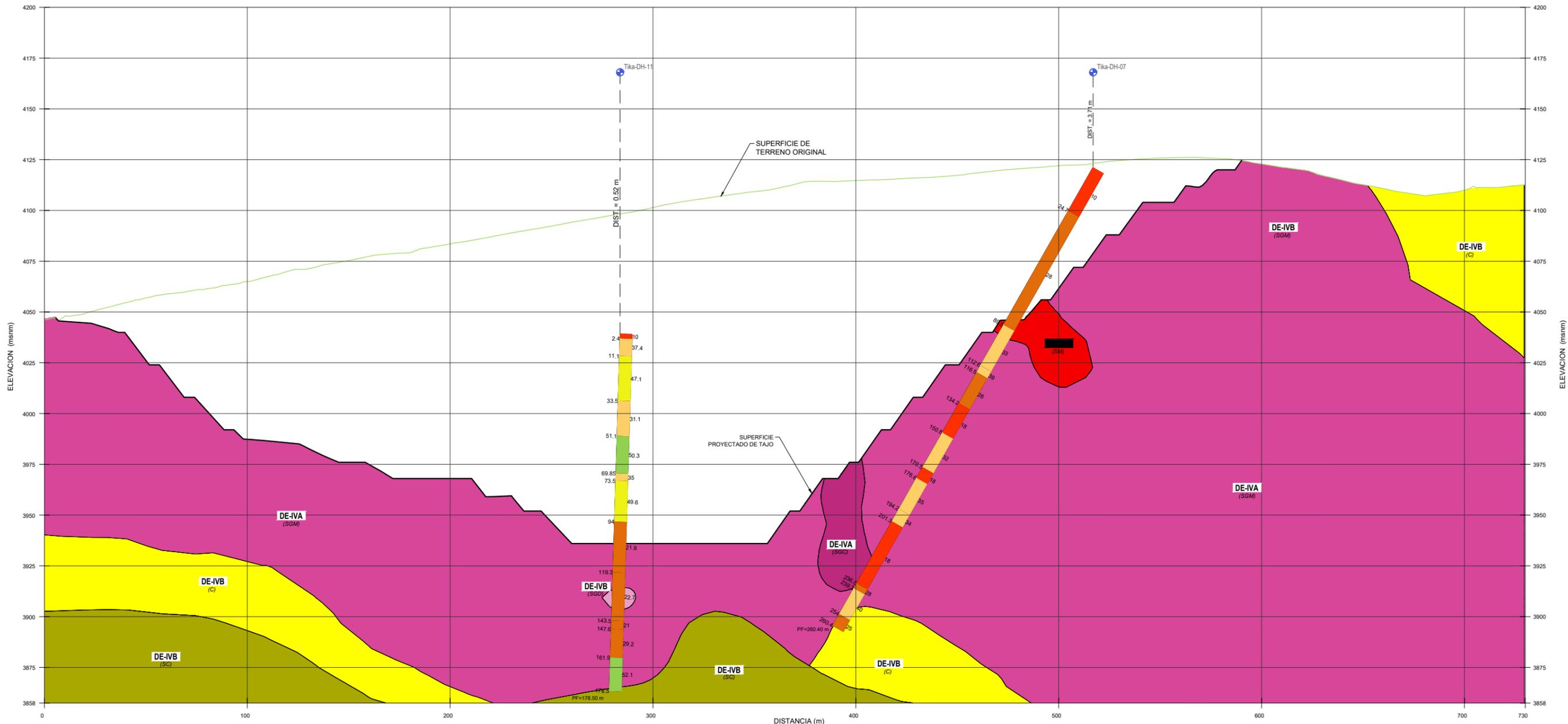
NOTAS:

- BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO PROPORCIONADO POR EL CLIENTE. SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84-18S.
- TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS SE ENCUENTRAN EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U.).
- LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1-A3.



EMPRESA: **APUMAYO**

DISEÑADO POR:	Nº PROYECTO:	PROYECTO: UNIDAD MINERA APUMAYO
DIBUJADO POR:	DISCIPLINA: GEOTECNIA/CIVIL	ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
REVISADO POR:	ESCALA: INDICADA	TITULO: SECCION GEOTECNICA 1-1'
APROBADO POR:	FECHA:	NUMERO DE PLANO: APU-04
		REV: 0



2 SECCION GEOTECNICA 2-2'
300

LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO ORIGINAL
- SUPERFICIE PROYECTADO DE TAJO
- CONTACTO GEOTECNICO ESTIMADO
- Tika-DH-01
- PERFORACION PARA SONDAJE GEOTECNICO
- RMR
- VALORACION DE LA MASA ROCOSA - ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI-1989)
- GRAFICO DE RMR
- DISTANCIA HACIA LA LINEA DE SECCION
- PERFORACION Y/O CALICATA EN SECCION Y PROFUNDIDAD FINAL EN METROS
- PF
- DE-IVB (SGD)
- NOMENCLATURA DE DOMINIO ESTRUCTURAL Y ALTERACION

ALTERACIONES

- C CLAY
- SC SILICE CLAY
- SGC SILICE GLANULAR COMPACTA
- SGD SILICE GRANULAR DELEZNABLE
- SGM SILICE GRANULAR MODERADA
- SM SILICE MASIVA

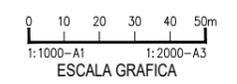
DOMINIO ESTRUCTURAL

DOMINIO	ALTERACION
DE-IIIB	RF
	SM
DE-IVA	SCP
	SGM
	SGC
DE-IVB	SGD
	SC - SV
	C

RMR

RANGO	TIPO	DESCRIPCION
0-20	V	MUY MALA
21-30	IVB	MALA B
31-40	IVA	MALA A
41-50	IIIB	REGULAR B
51-60	IIIA	REGULAR A
61-80	II	BUENA
81-100	I	MUY BUENA

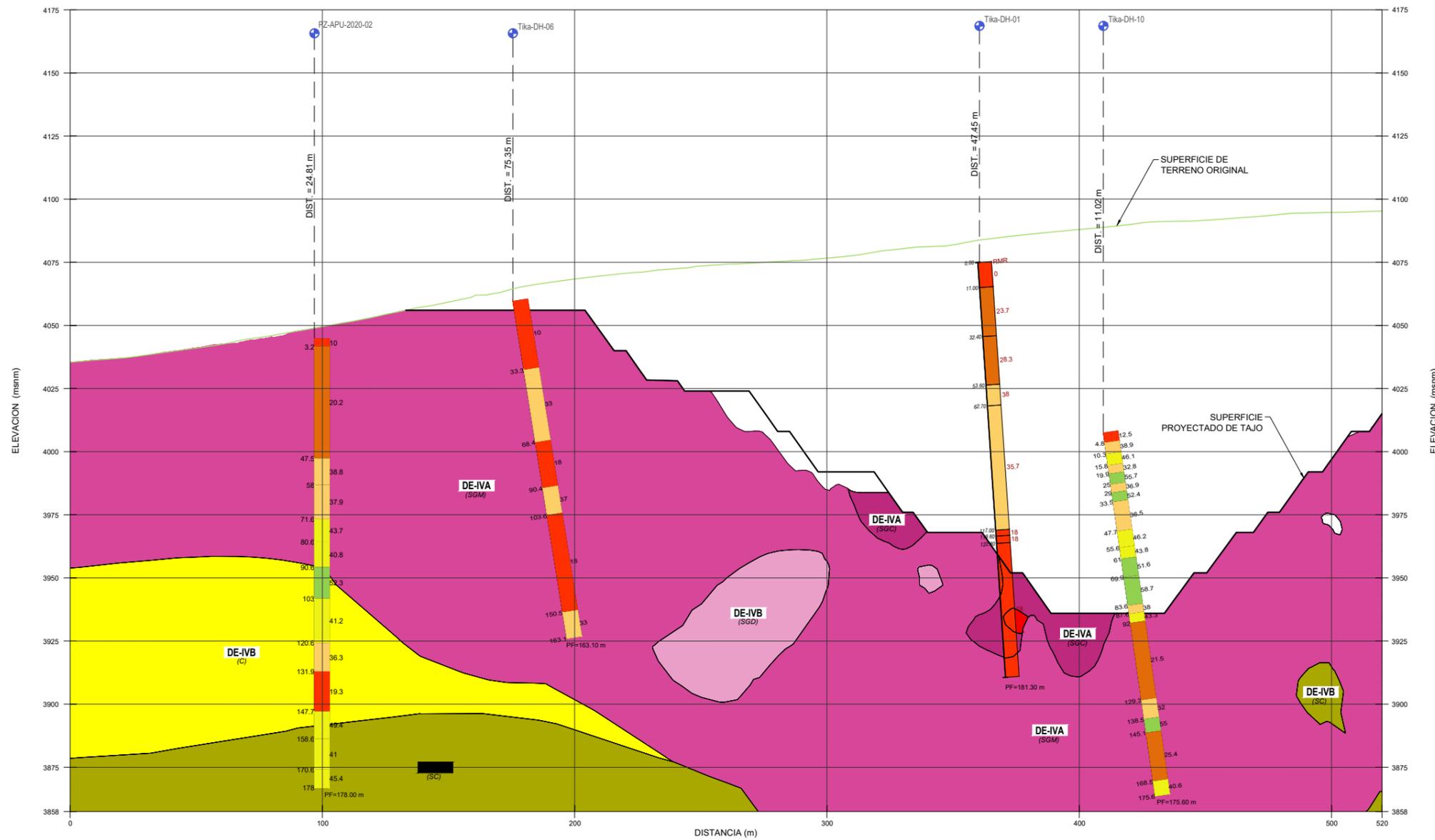
- NOTAS:**
- BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO PROPORCIONADO POR EL CLIENTE. SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84-18S
 - TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS SE ENCUENTRAN EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U).
 - LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1-A3.



EMPRESA: **APUMAYO**

DISEÑADO POR:	Nº PROYECTO:	PROYECTO: UNIDAD MINERA APUMAYO
DIBUJADO POR:	DISCIPLINA: GEOTECNIA/CIVIL	ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
REVISADO POR:	ESCALA: INDICADA	TITULO: SECCION GEOTECNICA 2-2'
APROBADO POR:	FECHA:	NUMERO DE PLANO: APU-05

REV. **0**



3
300
SECCION GEOTECNICA 3-3'

LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO ORIGINAL
- SUPERFICIE PROYECTADO DE TAJO
- CONTACTO GEOTECNICO ESTIMADO
- Tika-DH-01
- PERFORACION PARA SONDAJE GEOTECNICO
- RMR
- VALORACION DE LA MASA ROCOSA - ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI-1989)
- GRAFICO DE RMR
- DISTANCIA HACIA LA LINEA DE SECCION
- PERFORACION Y/O CALICATA EN SECCION Y PROFUNDIDAD FINAL EN METROS
- PF
- DE-IVB (SGD)
- NOMENCLATURA DE DOMINIO ESTRUCTURAL Y ALTERACION

ALTERACIONES

C	CLAY
SC	SILICE CLAY
SGC	SILICE GLANULAR COMPACTA
SGD	SILICE GRANULAR DELEZNABLE
SGM	SILICE GRANULAR MODERADA
SM	SILICE MASIVA

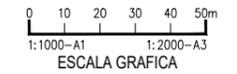
DOMINIO ESTRUCTURAL

DOMINIO	ALTERACION
DE-III B	RF
	SM
	SCP
DE-IV A	SGM
	SGC
	SGD
DE-IV B	SC - SV
	C

RMR

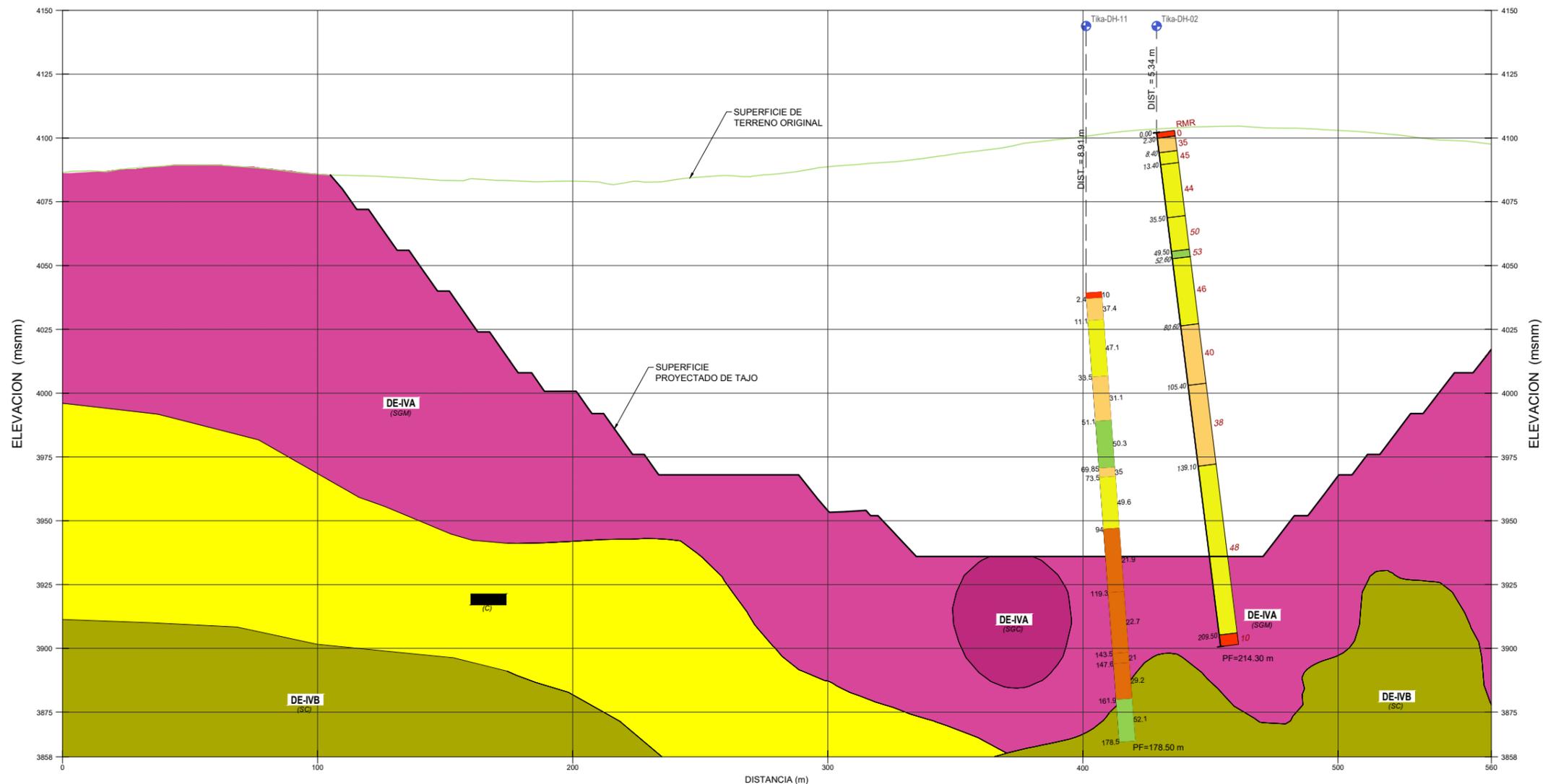
RANGO	TIPO	DESCRIPCION
0-20	V	MUY MALA
21-30	IVB	MALA B
31-40	IVA	MALA A
41-50	IIIB	REGULAR B
51-60	IIIA	REGULAR A
61-80	II	BUENA
81-100	I	MUY BUENA

- NOTAS:**
- BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO PROPORCIONADO POR EL CLIENTE. SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84-18S.
 - TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS SE ENCUENTRAN EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U).
 - LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1-A3.



EMPRESA:
APUMAYO

DISEÑADO POR:	N° PROYECTO:	PROYECTO:
DIBUJADO POR:	DISCIPLINA:	UNIDAD MINERA APUMAYO
REVISADO POR:	ESCALA:	ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
APROBADO POR:	FECHA:	TITULO:
		SECCION GEOTECNICA 3-3'
		NUMERO DE PLANO: APU-06
		REV. 0



4 SECCION GEOTECNICA 4-4'
300

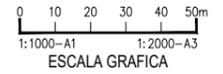
LEYENDA	
	SUPERFICIE DE TERRENO ORIGINAL
	SUPERFICIE PROYECTADO DE TAJO
	CONTACTO GEOTECNICO ESTIMADO
	PERFORACION PARA SONDAJE GEOTECNICO
	VALORACION DE LA MASA ROCOSA - ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI-1989)
	GRAFICO DE RMR
	DISTANCIA HACIA LA LINEA DE SECCION
	PERFORACION Y/O CALICATA EN SECCION Y PROFUNDIDAD FINAL EN METROS
	NOMENCLATURA DE DOMINIO ESTRUCTURAL Y ALTERACION

ALTERACIONES	
	C CLAY
	SC SILICE CLAY
	SGC SILICE GLANULAR COMPACTA
	SGM SILICE GRANULAR MODERADA

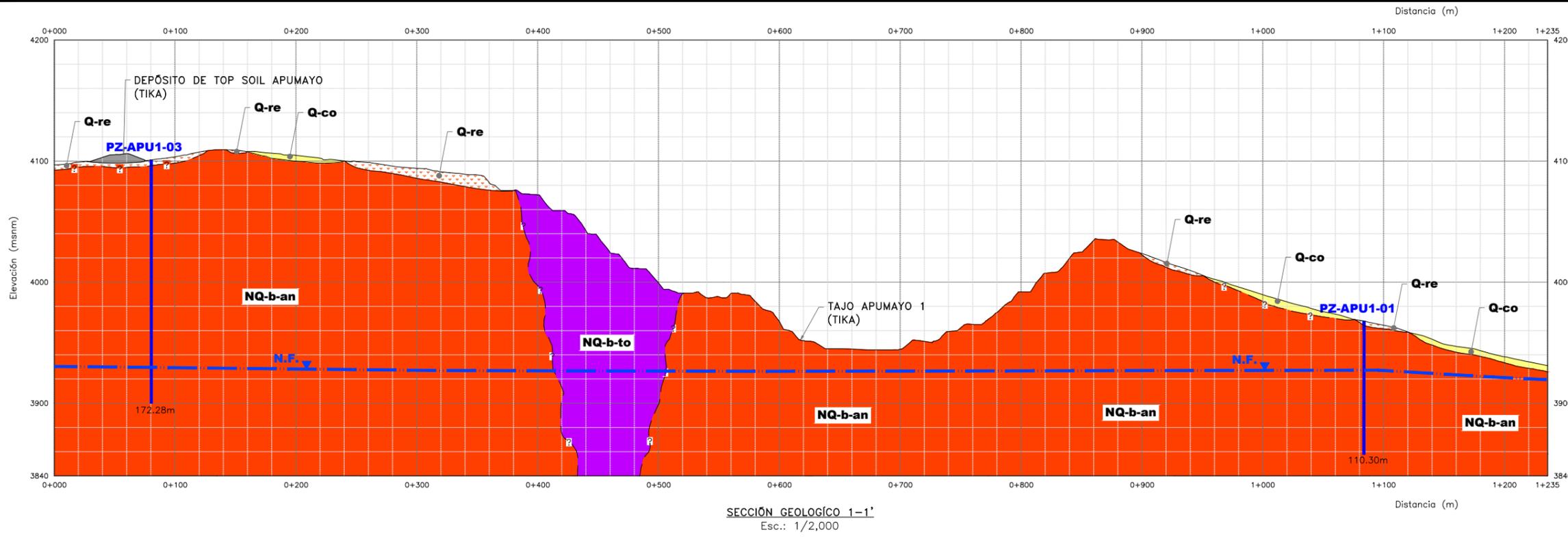
DOMINIO ESTRUCTURAL	
DE-III B	RF SM
DE-IV A	SCP SGM SGC
DE-IV B	SGD SC - SV C

RMR		
RANGO	TIPO	DESCRIPCION
0-20	V	MUY MALA
21-30	IVB	MALA B
31-40	IVA	MALA A
41-50	IIIB	REGULAR B
51-60	IIIA	REGULAR A
61-80	II	BUENA
81-100	I	MUY BUENA

- NOTAS:**
- BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO PROPORCIONADO POR EL CUENTE. SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84-18S.
 - TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS SE ENCUENTRAN EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.U).
 - LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1-A3.



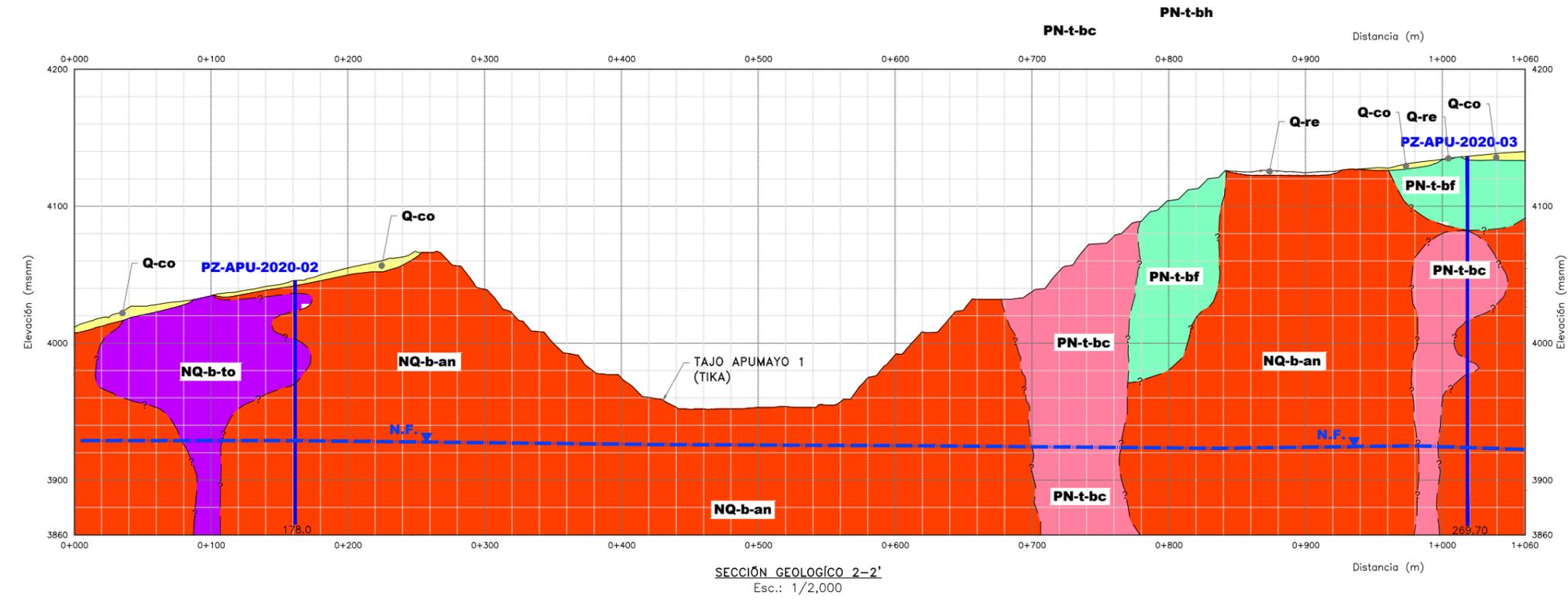
EMPRESA: 	DISEÑADO POR: DIBUJADO POR: REVISADO POR: APROBADO POR:	N° PROYECTO: DISCIPLINA: ESCALA: FECHA:	PROYECTO: UNIDAD MINERA APUMAYO ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TAJO APUMAYO 1
	TITULO: SECCION GEOTECNICA 4-4'		NUMERO DE PLANO: APU-07
	REV. 0		



SECCIÓN GEOLÓGICO 1-1'
Esc.: 1/2,000

LEYENDA GEOLÓGICA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Q-te	DEPÓSITO TECNOGENO
Q-re	DEPÓSITO RESIDUAL
Q-co	DEPÓSITO COLUVIAL
NQ-b-an	ANDESITA
NQ-b-to	TOBA O TUFO VOLCÁNICO
PN-t-bc	BRECHA CRAQUEL
PN-t-bf	BRECHA FREATOMAGMÁTICA

LEYENDA	
Pz	PIEZÓMETRO DE ESTUDIOS ANTERIORES
—	CONTACTO GEOLÓGICO
- - -	CONTACTO GEOLÓGICO INFERIDO
N.F.	NIVEL FREÁTICO



SECCIÓN GEOLÓGICO 2-2'
Esc.: 1/2,000

SIMBOLOGÍA	
↔	SECCIÓN GEOLÓGICA



SISTEMA COORD.: UTM ZONA: 18S
DATUM HORIZONTAL: WGS-84
BASE TOPOGRÁFICA: ELABORADA POR GEOSERVICE AMBIENTAL
NOTA: --

PLANOS DE REFERENCIA	---	
	No. PLANO REF.	NOMBRE PLANO DE REFERENCIA

REVISIONES	---						
	REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO

APUMAYO

TITULO: TAJO APUMAYO 1 (TIKA) GEOLOGÍA LOCAL			
DISEÑO: M.Z.M.	REVISÓ M.A.R.F.	ESCALA: INDICADA	ARCHIVO:
DIBUJO M.R.V.	APROBÓ N.A.G.	FECHA:	N° PLANO: APU - 09

ANEXO C: Mapeo Geotécnico

APUMAYO

PROYECTO : **Estudio de Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1**

POR : _____

APUMAYO S.A.C.

SECTOR : **de la U.M. Apumayo**

FECHA : _____

UNIDAD MINERA APUMAYO

COORD. ESTAC.: **N: 8339216 E: 616378 Cota: 3980**

HOJA : **17 de 23**

TAJO APUMAYO 1

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (m)	
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA
EGAP-SI20-125	N30E	68NW	0	35

TIPO DE ROCA				FRECUECIA FRACTURA Nº Fract. / ml.
A	%	B	%	
AND	100	-	-	18 a 21

TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		Comentarios
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR	
J	318	77	4, 3	Ox	<1 mm	
J	138	82	4, 3	Ox	<1 mm	
J	320	72	4, 3	Ox	<1 mm	
J	312	80	4, 3	Ox	<1 mm	
J	246	75	4, 5	Ox	<1 mm	
J	062	73	4	Ox, Arc	<1 mm	
J	203	83	4, 3	Ox, Arc	<1 mm	
J	246	72	4, 3	Ox	<1 mm	
J	108	52	4, 5	Ox	<1 mm	
J	168	75	4, 5	Ox	<1 mm	
J	172	76	4, 5	Ox	<1 mm	
J	235	50	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	056	30	4, 5	Ox, Arc	<1 mm	
J	290	73	4, 5	Ox, Arc	<1 mm	
J	281	64	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	140	85	5	Ox, Arc	<1 mm	

PARAMETRO	RANGO DE VALORES							VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO									
R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7		
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	8		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	X	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	7		
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)		1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	1
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X	Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	4
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)	X	Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D
ALTERACION	Sana (6)		Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)		Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Fiujo (0)	5	10

VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = **43**

CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala

III B

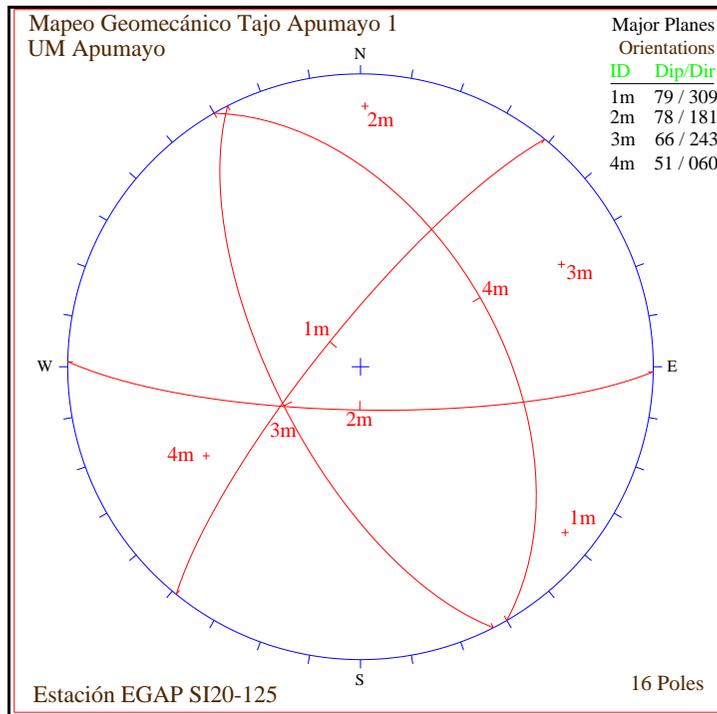
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
AND	Andesita	CZA	Caliza
MGR	Marga	DIO	Diorita
LIM	Limolita	TOBA	Toba volc.
LUT	Lutita	OXD	Oxido

ABREVIACION ESPACIAMIENTO			
1	> 2 m	4	0.06 - 0.2 m
2	0.6 - 2 m	5	< 0.06 m
3	0.2 - 0.6 m		

TIPO DE ESTRUCTURAS		TIPO DE RELLENO	
J	Junta	Ox	Oxido
Fn	Falla	Arc	Arcilla
E	Estrato	Ca	Carbonatos
Ct	Contacto	Bx	Brecha de falla



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS COMP (MPa)
R1	Deleznable con golpe firme con punta de picota de geólogo, se desconcha con cuchilla	1 - 5
R2	Marcas no profunda al golpe con la punta de picota. Dificil de desconchar con cuchilla	5 - 25
R3	La roca se rompe con un golpe de picota	25 - 50
R4	La roca se rompe con 2 ó 3 golpes de picota	50 - 100
R5	La roca se rompe con varios golpes de picota	100 - 250
R6	Gopes de picota solo rompe esquirlas en roca	> 250



APUMAYO

PROYECTO: **Estudio de Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1**

POR: _____

APUMAYO S.A.C.
UNIDAD MINERA APUMAYO

SECTOR: **de la U.M. Apumayo**

FECHA: _____

COORD.ESTAC.: **N: 8339182 E: 616348 Cota:**

HOJA: **18 de 23**

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (m)	
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA
EGAP-SI20-126	N80E	65NW	0	40

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA Nº Fract. / ml.
A	%	B	%	
AND	100	-	-	20

TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		Comentarios
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR	
J	058	76	5	Ox, Arc	<1 mm	Juntas rugosas
J	236	74	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	138	53	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	352	82	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	056	86	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	170	4	4	Ox, Arc	<1 mm	
J	155	16	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	310	48	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	295	53	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	265	57	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	340	52	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	028	70	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	035	46	5	Ox, Arc	<1 mm	

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR ESTIMADO	VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO									
R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	X	100-250 (12)	X	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 10	
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)	X	25-50 (8)	<25 (3)	2 8	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)		0.6-2 (15)		0.2-0.6 (10)	X	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3 8	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)		1-3 m Long. (4)	X	3-10m (2)		10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A 2
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	X	0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B 2
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X	Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)		Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C 5
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D 2
ALTERACION	Sana (6)		Lig. Alterada. (5)	X	Mod.Alterada. (3)		Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E 3	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Fiujo (0)	5 10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 50										
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III B		
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala			

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
AND	Andesita	CZA	Caliza
MGR	Marga	DIO	Diorita
LIM	Limolita	TOBA	Toba volc.
LUT	Lutita	OXD	Oxido

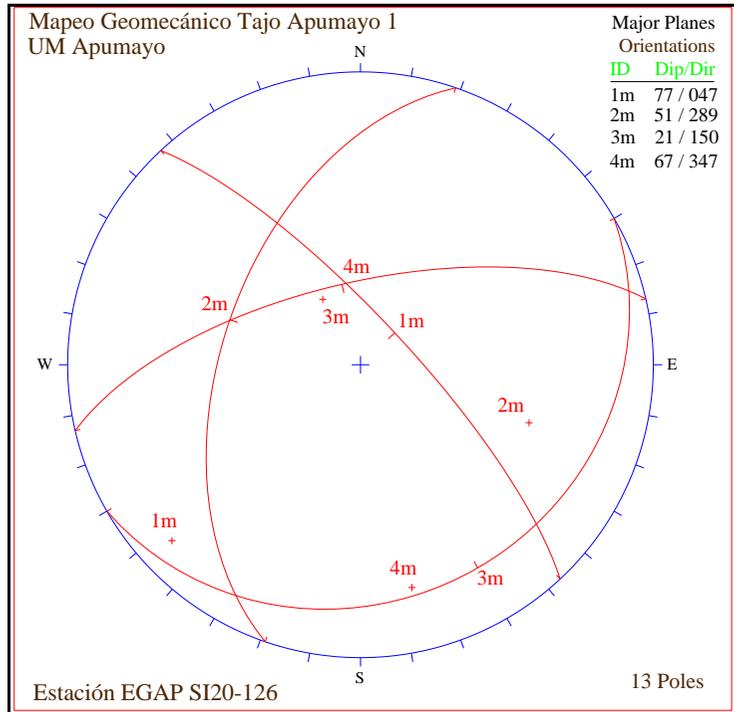
ABREVIACION ESPACIAMIENTO			
1	> 2 m	4	0.06 - 0.2 m
2	0.6 - 2 m	5	< 0.06 m
3	0.2 - 0.6 m		

TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
Fn	Falla
E	Estrato
Ct	Contacto

TIPO DE RELLENO	
Ox	Oxido
Arc	Arcilla
Ca	Carbonatos
Bx	Brecha de falla



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS COMP (MPa)
R1	Deleznable con golpe firme con punta de picota de geólogo, se desconcha con cuchilla	1 - 5
R2	Marcas no profunda al golpe con la punta de picota. Difícil de desconchar con cuchilla	5 - 25
R3	La roca se rompe con un golpe de picota	25 - 50
R4	La roca se rompe con 2 ó 3 golpes de picota	50 - 100
R5	La roca se rompe con varios golpes de picota	100 - 250
R6	Gopes de picota solo rompe esquirlas en roca	> 250



APUMAYO

PROYECTO : **Estudio de Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1**

POR : _____

APUMAYO S.A.C.

SECTOR : **de la U.M. Apumayo**

FECHA : _____

UNIDAD MINERA APUMAYO

COORD. ESTAC.: **N: 8339156 E: 616455 Cota: 4015**

HOJA : **19 de 23**

TAJO APUMAYO 1

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (m)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	
EGAP-SI20-127	N70E	60NW	0	20	

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA Nº Fract. / ml.	PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACION
A	%	B	%			VALOR ESTIMADO						
AND	100	-	-	20 a 25	R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	X 50-100 (7)	X 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	5
					RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	X 25-50 (8)	X <25 (3)	2	6
					ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	5

TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		Comentarios
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR	
J	312	62	4	Ox, Arc	<1 mm	
J	148	66	4, 3	Ox, Arc	<1 mm	
J	190	80	4	Ox, Arc	<1 mm	
J	266	87	4	Ox, Arc	<1 mm	
J	3085	82	4	Ox, Arc	<1 mm	
J	098	81	5	Ox Duro	5-15 mm	
J	301	86	5	Ox Duro	5-15 mm	
J	127	52	4, 5	Ox, Arc	<1 mm	
J	120	56	4, 5	Ox, Arc	<1 mm	
J	243	87	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	234	88	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	065	82	5	Ox, Arc	1-2 mm	

CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 36					
						CLASE DE MACIZO ROCOSO					
	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X 10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	1				
	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X 1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	1				
	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3				
	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4E	2				
	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	X Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4D	3				
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Fiujo (0)	5	10				

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	IV A
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala	

AND	Andesita	CZA	Caliza
MGR	Marga	DIO	Diorita
LIM	Limolita	TOBA	Toba volc.
LUT	Lutita	OXD	Oxido

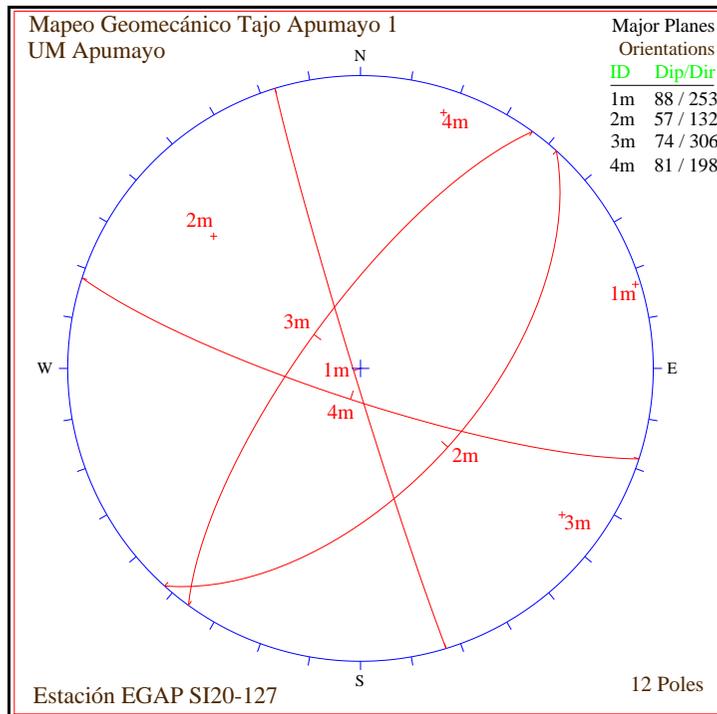
1	> 2 m	4	0.06 - 0.2 m
2	0.6 - 2 m	5	< 0.06 m
3	0.2 - 0.6 m		

J	Junta
Fn	Falla
E	Estrato
Ct	Contacto

Ox	Oxido
Arc	Arcilla
Ca	Carbonatos
Bx	Brecha de falla



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS COMP (MPa)
R1	Deleznable con golpe firme con punta de picota de geólogo, se desconcha con cuchilla	1 - 5
R2	Marcas no profunda al golpe con la punta de picota. Dificil de desconchar con cuchilla	5 - 25
R3	La roca se rompe con un golpe de picota	25 - 50
R4	La roca se rompe con 2 ó 3 golpes de picota	50 - 100
R5	La roca se rompe con varios golpes de picota	100 - 250
R6	Gopes de picota solo rompe esquirfas en roca	> 250



APUMAYO

PROYECTO : **Estudio de Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1**

POR : _____

APUMAYO S.A.C.
UNIDAD MINERA APUMAYO

SECTOR : **de la U.M. Apumayo**

FECHA : _____

COORD. ESTAC.: **N: 8339108 E: 616327 Cota: 4040**

HOJA : **22 de 23**

TAJO APUMAYO 1

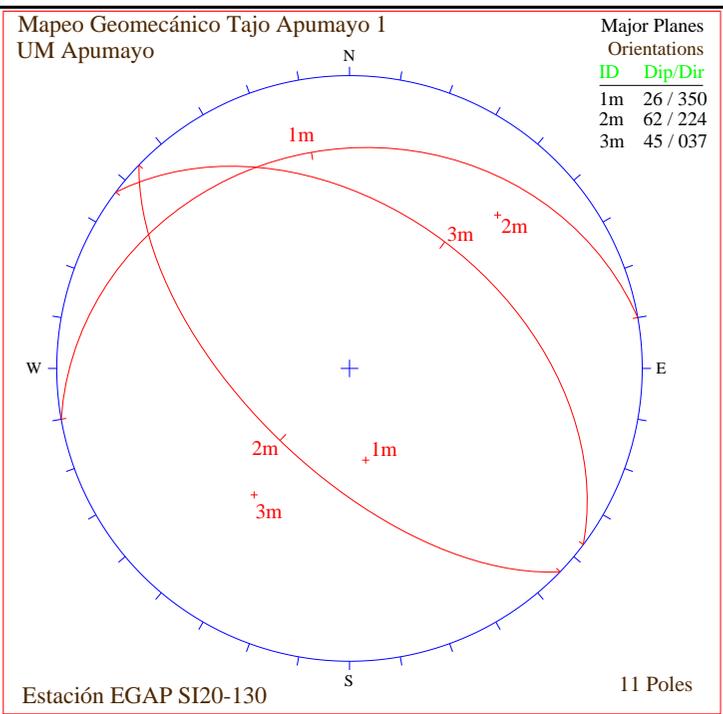
Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (m)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)														
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALORACI.				
EGAP-SI20-130	N80W	60NE	0	50	TIPO DE ROCA			FRECUECIA FRACTURA		VALOR ESTIMADO									
A			%	B	%	Nº Fract. / ml.		R. COMPRESION UNIAIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	1	1		
AND			100	-	-	> 22		RQD %		>2 (20)	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	X	25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		Comentarios	ESPACIAMIENTO (m)		CONDICION DE JUNTAS		AGUA SUBTERRANEA		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =						
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR		PERSISTENCIA	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
J	332	33	5	Ox, Arc	<1 mm	Silice granular	>2	90-100	<1m long. (6)	Cerrada (6)	Muy rugosa (6)	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
J	226	50	5	Ox, Arc	<1 mm	extremadamente argilizada	0,6-2	75-90	1-3 m Long. (4)	<0.1mm apert. (5)	Rugosa (5)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	355	24	5	Ox, Arc	<1 mm	argilizada	0,2-0,6	50-75	3-10m (2)	X	Lig. rugosa (3)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	054	46	5	Ox, Arc	<1 mm		0,06-0,2	25-50	10-20 m (1)	X	Lisa (1)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	222	75	5	Ox, Arc	<1 mm				> 20 m (0)	X	Espejo de falla (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	740	48	5	Ox, Arc	<1 mm				> 5 mm (0)	X	Descompuesta (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	350	33	5	Ox, Arc	<1 mm				0,06-0,2 (5)	X	Descompuesta (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	346	61	5	Ox, Arc	<1 mm				0,06-0,2 (5)	X	Descompuesta (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	358	24	5	Ox, Arc	<1 mm				0,06-0,2 (5)	X	Descompuesta (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	006	18	5	Ox, Arc	<1 mm				0,06-0,2 (5)	X	Descompuesta (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
J	175	38	5	Ox, Arc	<1 mm				0,06-0,2 (5)	X	Descompuesta (0)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	

TIPO DE ESTRUCTURAS		TIPO DE RELLENO	
J	Junta	Ox	Oxido
Fn	Falla	Arc	Arcilla
E	Estrato	Ca	Carbonatos
Ct	Contacto	Bx	Brecha de falla



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
AND	Andesita	CZA	Caliza
MGR	Marga	DIO	Diorita
LIM	Limolita	TOBA	Toba volc.
LUT	Lutita	OXD	Oxido

ABREVIACION ESPACIAMIENTO			
1	> 2 m	4	0.06 - 0.2 m
2	0.6 - 2 m	5	< 0.06 m
3	0.2 - 0.6 m		



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS COMP (MPa)
R1	Deleznable con golpe firme con punta de picota de geólogo, se desconcha con cuchilla	1 - 5
R2	Marcas no profunda al golpe con la punta de picota. Difícil de desconchar con cuchilla	5 - 25
R3	La roca se rompe con un golpe de picota	25 - 50
R4	La roca se rompe con 2 ó 3 golpes de picota	50 - 100
R5	La roca se rompe con varios golpes de picota	100 - 250
R6	Gopes de picota solo rompe esquirlas en roca	> 250

APUMAYO

PROYECTO : **Estudio de Estabilidad Física del Tajo Apumayo 1**
 SECTOR : **de la U.M. Apumayo**
 COORD.ESTAC.: **N: 8339106 E: 616271 Cota: 4045**

POR : _____
 FECHA : _____
 HOJA : **23 de 23**

APUMAYO S.A.C.
UNIDAD MINERA APUMAYO
TAJO APUMAYO 1

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (m)	
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA
EGAP-SI20-131	EW	70N	0	30

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA Nº Fract. / ml.
A	%	B	%	
AND	100	-	-	18 a 20

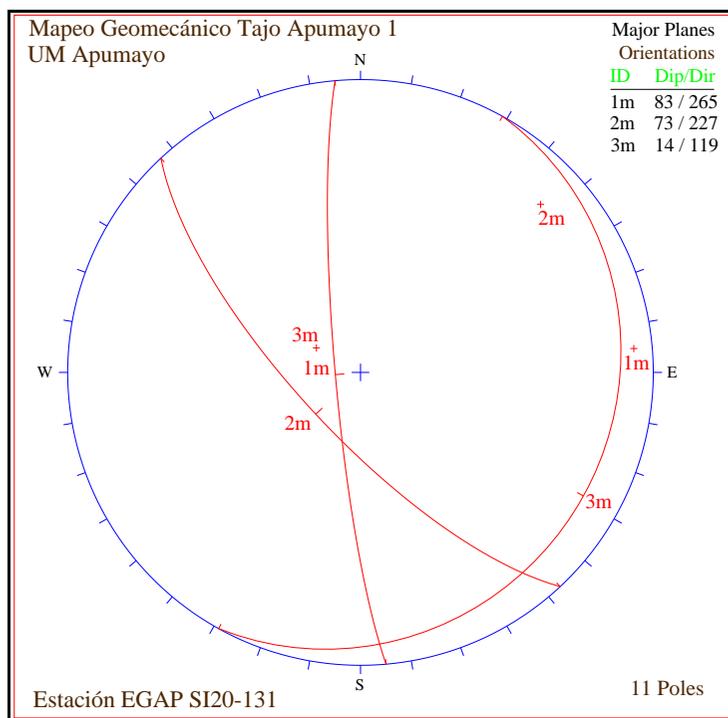
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		Comentarios
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR	
J	238	72	5	Ox, Arc	<1 mm	Silice granular
J	228	72	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	216	77	5	Ox, Arc	<1 mm	
J	250	68	5	Ox, Arc	4 mm	
J	086	26	5	Ox, Arc	<1 mm	Junta rugosa
J	272	73	5	Ox Duro	<2 mm	
J	188	15	5	Ox Duro	<1 mm	
J	085	74	5	Ox Duro	<1 mm	
J	258	82	5	Ox Duro	<1 mm	
J	152	62	5	Ox Duro	<1 mm	
J	266	72	5	Ox Duro	<1 mm	

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR ESTIMADO	VALORACI.	
	VALOR ESTIMADO								
R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	6	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)		50-75 (13)	X	25-50 (8)	<25	8	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)		0,2-0,6 (10)	X	0,06-0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)		1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X	Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D
ALTERACION	Sana (6)		Mod.Alterada. (5)	X	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Fiujo (0)		5	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 43									
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III B	
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala		

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
AND	Andesita	CZA	Caliza
MGR	Marga	DIO	Diorita
LIM	Limolita	TOBA	Toba volc.
LUT	Lutita	OXD	Oxido

ABREVIACION ESPACIAMIENTO			
1	> 2 m	4	0.06 - 0.2 m
2	0.6 - 2 m	5	< 0.06 m
3	0.2 - 0.6 m		

TIPO DE ESTRUCTURAS		TIPO DE RELLENO	
J	Junta	Ox	Oxido
Fn	Falla	Arc	Arcilla
E	Estrato	Ca	Carbonatos
Ct	Contacto	Bx	Brecha de falla



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS COMP (MPa)
R1	Deleznable con golpe firme con punta de picota de geólogo, se desconcha con cuchilla	1 - 5
R2	Marcas no profunda al golpe con la punta de picota. Dificil de desconchar con cuchilla	5 - 25
R3	La roca se rompe con un golpe de picota	25 - 50
R4	La roca se rompe con 2 ó 3 golpes de picota	50 - 100
R5	La roca se rompe con varios golpes de picota	100 - 250
R6	Gopes de picota solo rompe esquirfas en roca	> 250

ANEXO D: Clasificación

Geomecánica

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR
(Bieniaswski, 1989)



VALORACIÓN RMR

Proyecto : ELABORACIÓN DE INGENIERIA DE DETALLE CON FINES DE CIERRE DE COMPONENTES MINEROS PRINCIPALES DE LA UM. APUMAYO
 Cliente : Unidad Minera Apumayo
 Tipo de Roca : Brecha freatomagmatica
 Ubicación : Tajo Tika Estación: E-1
 Coordenadas Este 616139 Norte 8339566

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)

Este valor se ha determinado usando:	
Ensayo de laboratorio (compresión simple)	
Ensayo de laboratorio (carga puntual)	
Martillo Schmidt sobre testigo	
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso	X
Tablas (*)	

PUNTAJE ADOPTADO
2

TABLA			
Identificación (martillo de geólogo)	Rango Aproximado de Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Calidad	Puntaje
No rompe, solo saltan astillas	> 250 Mpa	Muy alta	15
Rompe con muchos golpes	250 - 100	Alta	12
Rompe con más de un golpe	100 - 50	Media	7
Rompe con un golpe	50 - 25	Baja	4
Se identifica la punta	25 - 5	Muy baja	X 2
Se machaca con un golpe	5 - 1		1
Idem y se raya con la uña	< 1		0

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RQD

DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE
Muy mala	0 a 25	3
Mala	25 a 50	X 6
Regular	50 a 75	13
Buena	75 a 90	17
Excelente	90 a 100	20

Nota:
El RQD se ha determinado en el macizo rocoso del interior de las Bocaminas, utilizando la siguiente expresión:

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

Donde: λ es el número de discontinuidades por metro lineal

PUNTAJE ADOPTADO
6

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

SEPARACIÓN DE DIACLASAS

DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE
Muy separadas	> 2.00	20
Separadas	2.00 - 0.60	15
Medianamente separadas	0.60 - 0.20	X 10
Próximas	0.20 - 0.06	8
Muy próximas	< 0.06	5

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE ADOPTADO
< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6
1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	5
3 - 10 m	X 2	0.10 - 1	3	Ligeramente rugosa	X 3
10 - 20 m	1	1 - 5	X 1	Ondulada	1
> 20 m	0	> 5	0	Suave	0
	2	1	3		2

PUNTAJE ADOPTADO
11

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

FLUJO DE AGUA

DESCRIPCIÓN	RELACIÓN: PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE
SECO	0	Nulo	SECO	15
LIGERAMENTE HÚMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	X 10
HÚMEDO	0.1 - 0.2	10-25 lt/min	HÚMEDO	7
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25-125lt/min	GOTEANDO	4
FLUYENDO	> 0.5	>125 lt/min	AGUA FLUYEMDO	0

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALOR RMR BASICO
39

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)

DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input type="checkbox"/> TúnelesCasi	<input type="checkbox"/> Cimentaciones	<input checked="" type="checkbox"/> Taludes
	FALSO	FALSO	VERDADERO
Muy favorables	0	0	0
Favorables	-2	-2	X -2
Medias	-5	-7	-25
Desfavorables	-10	-15	-50
Muy desfavorables	-12	-25	-60
	#N/D	#N/D	-2

PUNTAJE
-2

CLASIFICACIÓN RMR

CLASE	I		II		III		IV		V	
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA	MUY MALA	MUY MALA	MUY MALA
PUNTAJACIÓN	100-81	80-61	60-41	40-21	20-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	1 - 2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
FRICCIÓN (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	15 - 25	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15

Valor del RMR Ajustado 37

Correlaciones del RMR		
Cohesión (C)	1.8	Kg/cm ²
Ángulo de fricción	23.4	°

(Valores propuestos por Bieniaswski)

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR
(Bieniaswski, 1989)



VALORACIÓN RMR

Proyecto : ELABORACIÓN DE INGENIERIA DE DETALLE CON FINES DE CIERRE DE COMPONENTES MINEROS PRINCIPALES DE LA UM. APUMAYO
 Cliente : Unidad Minera Apumayo
 Tipo de Roca : Brecha freatomagmatica
 Ubicación : Tajo Tika Estación: E-3
 Coordenadas Este 616169 Norte 8339587

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)

Este valor se ha determinado usando:	
Ensayo de laboratorio (compresión simple)	
Ensayo de laboratorio (carga puntual)	
Martillo Schmidt sobre testigo	
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso	X
Tablas (*)	

PUNTAJE ADOPTADO
7

TABLA			
Identificación (martillo de geólogo)	Rango Aproximado de Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Calidad	Puntaje
No rompe, solo saltan astillas	> 250 Mpa	Muy alta	15
Rompe con muchos golpes	250 - 100	Alta	12
Rompe con más de un golpe	100 - 50	Media	X 7
Rompe con un golpe	50 - 25	Baja	4
Se identifica la punta	25 - 5	Muy baja	2
Se machaca con un golpe	5 - 1		1
Idem y se raya con la uña	< 1		0

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RQD

DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE
Muy mala	0 a 25	3
Mala	25 a 50	6
Regular	50 a 75	X 13
Buena	75 a 90	17
Excelente	90 a 100	20

Nota:
El RQD se ha determinado en el macizo rocoso del interior de las Bocaminas, utilizando la siguiente expresión:

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

Donde: λ es el número de discontinuidades por metro lineal

PUNTAJE ADOPTADO
13

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

SEPARACIÓN DE DIACLASAS

DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE
Muy separadas	> 2.00	20
Separadas	2.00 - 0.60	15
Medianamente separadas	0.60 - 0.20	X 10
Próximas	0.20 - 0.06	8
Muy próximas	< 0.06	5

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE ADOPTADO
< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6
1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	5
3 - 10 m	X 2	0.10 - 1	3	Ligeramente rugosa	X 3
10 - 20 m	1	1 - 5	X 1	Ondulada	1
> 20 m	0	> 5	0	Suave	0
	2	1	3		5

PUNTAJE ADOPTADO
13

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

FLUJO DE AGUA

DESCRIPCIÓN	RELACIÓN: PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE
SECO	0	Nulo	SECO	15
LIGERAMENTE HÚMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	X 10
HÚMEDO	0.1 - 0.2	10-25 lt/min	HÚMEDO	7
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25-125lt/min	GOTEANDO	4
FLUYENDO	> 0.5	>125 lt/min	AGUA FLUYEMDO	0

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALOR RMR BASICO
53

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)

DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input type="checkbox"/> TúnelesCasi	<input type="checkbox"/> Cimentaciones	<input checked="" type="checkbox"/> Taludes
	FALSO	FALSO	VERDADERO
Muy favorables	0	0	0
Favorables	-2	-2	X -2
Medias	-5	-7	-25
Desfavorables	-10	-15	-50
Muy desfavorables	-12	-25	-60
	#N/D	#N/D	-2

PUNTAJE
-2

CLASIFICACIÓN RMR

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
PUNTAJACIÓN	100-81	80-61	X 60-41	40-21	< 20
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1
FRICCIÓN (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Valor del RMR Ajustado 51

Correlaciones del RMR		
Cohesión (C)	2.5	Kg/cm ²
Ángulo de fricción	30.3	°

(Valores propuestos por Bieniaswski)

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR
(Bieniaswski, 1989)



VALORACIÓN RMR

Proyecto : ELABORACIÓN DE INGENIERIA DE DETALLE CON FINES DE CIERRE DE COMPONENTES MINEROS PRINCIPALES DE LA UM. APUMAYO
 Cliente : Unidad Minera Apumayo
 Tipo de Roca : Brecha freatomagmatica
 Ubicación : Tajo Tika Estación: E-6
 Coordenadas Este 616385 Norte 8339593

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)

Este valor se ha determinado usando:	
Ensayo de laboratorio (compresión simple)	
Ensayo de laboratorio (carga puntual)	
Martillo Schmidt sobre testigo	
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso	X
Tablas (*)	

PUNTAJE ADOPTADO
7

TABLA			
Identificación (martillo de geólogo)	Rango Aproximado de Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Calidad	Puntaje
No rompe, solo saltan astillas	> 250 Mpa	Muy alta	15
Rompe con muchos golpes	250 - 100	Alta	12
Rompe con más de un golpe	100 - 50	Media	X 7
Rompe con un golpe	50 - 25	Baja	4
Se identifica la punta	25 - 5	Muy baja	2
Se machaca con un golpe	5 - 1		1
Idem y se raya con la uña	< 1		0

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RQD

DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE
Muy mala	0 a 25	3
Mala	25 a 50	X 6
Regular	50 a 75	13
Buena	75 a 90	17
Excelente	90 a 100	20

Nota:
El RQD se ha determinado en el macizo rocoso del interior de las Bocaminas, utilizando la siguiente expresión:

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

Donde: λ es el número de discontinuidades por metro lineal

PUNTAJE ADOPTADO
6

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

SEPARACIÓN DE DIACLASAS

DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE
Muy separadas	> 2.00	20
Separadas	2.00 - 0.60	15
Medianamente separadas	0.60 - 0.20	X 10
Próximas	0.20 - 0.06	8
Muy próximas	< 0.06	5

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE ADOPTADO
< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6
1 - 3 m	X 4	< 0.10	5	Rugosa	5
3 - 10 m	2	0.10 - 1	3	Ligeramente rugosa	X 3
10 - 20 m	1	1 - 5	X 1	Ondulada	1
> 20 m	0	> 5	0	Suave	0
	4	1	3	2	5

PUNTAJE ADOPTADO
15

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

FLUJO DE AGUA

DESCRIPCIÓN	RELACIÓN: PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE
SECO	0	Nulo	SECO	15
LIGERAMENTE HÚMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	X 10
HÚMEDO	0.1 - 0.2	10-25 lt/min	HÚMEDO	7
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25-125lt/min	GOTEANDO	4
FLUYENDO	> 0.5	>125 lt/min	AGUA FLUYEMDO	0

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALOR RMR BASICO
48

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)

DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input type="checkbox"/> TúnelesCasi	<input type="checkbox"/> Cimentaciones	<input checked="" type="checkbox"/> Taludes
	FALSO	FALSO	VERDADERO
Muy favorables	0	0	0
Favorables	-2	-2	X -2
Medias	-5	-7	-25
Desfavorables	-10	-15	-50
Muy desfavorables	-12	-25	-60
	#N/D	#N/D	-2

PUNTAJE
-2

CLASIFICACIÓN RMR

CLASE	I		II		III		IV		V	
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA					
PUNTAJE	100-81	80-61	X 60-41	40-21	< 20					
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1					
FRICCIÓN (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15					

Valor del RMR Ajustado 46

Correlaciones del RMR		
Cohesión (C)	2.3	Kg/cm ²
Ángulo de fricción	27.6	°

(Valores propuestos por Bieniaswski)

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR
(Bieniaswski, 1989)



VALORACIÓN RMR

Proyecto : ELABORACIÓN DE INGENIERIA DE DETALLE CON FINES DE CIERRE DE COMPONENTES MINEROS PRINCIPALES DE LA UM. APUMAYO
 Cliente : Unidad Minera Apumayo
 Tipo de Roca : Andesita
 Ubicación : Tajo Tika Estación: E-11
 Coordenadas Este 616408 Norte 8339284

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)

Este valor se ha determinado usando:	
Ensayo de laboratorio (compresión simple)	
Ensayo de laboratorio (carga puntual)	
Martillo Schmidt sobre testigo	
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso	X
Tablas (*)	

PUNTAJE ADOPTADO
7

TABLA			
Identificación (martillo de geólogo)	Rango Aproximado de Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Calidad	Puntaje
No rompe, solo saltan astillas	> 250 Mpa	Muy alta	15
Rompe con muchos golpes	250 - 100	Alta	12
Rompe con más de un golpe	100 - 50	Media	X 7
Rompe con un golpe	50 - 25	Baja	4
Se identifica la punta	25 - 5	Muy baja	2
Se machaca con un golpe	5 - 1		1
Idem y se raya con la uña	< 1		0

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RQD

DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE
Muy mala	0 a 25	3
Mala	25 a 50	6
Regular	50 a 75	X 13
Buena	75 a 90	17
Excelente	90 a 100	20

Nota:
 El RQD se ha determinado en el macizo rocoso del interior de las Bocaminas, utilizando la siguiente expresión:
 $RQD = 100 \exp^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$
 Donde: λ es el número de discontinuidades por metro lineal

PUNTAJE ADOPTADO
13

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

SEPARACIÓN DE DIACLASAS

DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE
Muy separadas	> 2.00	20
Separadas	2.00 - 0.60	15
Medianamente separadas	0.60 - 0.20	X 10
Próximas	0.20 - 0.06	8
Muy próximas	< 0.06	5

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE ADOPTADO
< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6
1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	X 5
3 - 10 m	X 2	0.10 - 1	3	Ligeramente rugosa	3
10 - 20 m	1	1 - 5	X 1	Ondulada	1
> 20 m	0	> 5	0	Suave	0
	2	1	5		2

PUNTAJE ADOPTADO
15

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

FLUJO DE AGUA

DESCRIPCIÓN	RELACIÓN: PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE
SECO	0	Nulo	SECO	15
LIGERAMENTE HÚMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	X 10
HÚMEDO	0.1 - 0.2	10-25 lt/min	HÚMEDO	7
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25-125lt/min	GOTEANDO	4
FLUYENDO	> 0.5	>125 lt/min	AGUA FLUYEMDO	0

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALOR RMR BASICO
55

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)

DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input type="checkbox"/> TúnelesCasi	<input type="checkbox"/> Cimentaciones	<input checked="" type="checkbox"/> Taludes
	FALSO	FALSO	VERDADERO
Muy favorables	0	0	0
Favorables	-2	-2	X -2
Medias	-5	-7	-25
Desfavorables	-10	-15	-50
Muy desfavorables	-12	-25	-60
	#N/D	#N/D	-2

PUNTAJE
-2

CLASIFICACIÓN RMR

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
PUNTAJACIÓN	100-81	80-61	X 60-41	40-21	< 20
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1
FRICCIÓN (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Valor del RMR Ajustado 53

Correlaciones del RMR		
Cohesión (C)	2.6	Kg/cm ²
Ángulo de fricción	31.3	°

(Valores propuestos por Bieniaswski)

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR
(Bieniaswski, 1989)



VALORACIÓN RMR

Proyecto : ELABORACIÓN DE INGENIERIA DE DETALLE CON FINES DE CIERRE DE COMPONENTES MINEROS PRINCIPALES DE LA UM. APUMAYO
 Cliente : Unidad Minera Apumayo
 Tipo de Roca : Tufo volcanico
 Ubicación : Tajo Tika Estación: E-17
 Coordenadas Este 616174 Norte 8339329

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)

Este valor se ha determinado usando:	
Ensayo de laboratorio (compresión simple)	
Ensayo de laboratorio (carga puntual)	
Martillo Schmidt sobre testigo	
Martillo Schmidt sobre afloramiento rocoso	X
Tablas (*)	

PUNTAJE ADOPTADO
7

TABLA			
Identificación (martillo de geólogo)	Rango Aproximado de Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Calidad	Puntaje
No rompe, solo saltan astillas	> 250 Mpa	Muy alta	15
Rompe con muchos golpes	250 - 100	Alta	12
Rompe con más de un golpe	100 - 50	Media	X 7
Rompe con un golpe	50 - 25	Baja	4
Se identifica la punta	25 - 5	Muy baja	2
Se machaca con un golpe	5 - 1		1
Idem y se raya con la uña	< 1		0

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

RQD

DESCRIPCIÓN	VALOR	PUNTAJE
Muy mala	0 a 25	3
Mala	25 a 50	6
Regular	50 a 75	X 13
Buena	75 a 90	17
Excelente	90 a 100	20

Nota:
El RQD se ha determinado en el macizo rocoso del interior de las Bocaminas, utilizando la siguiente expresión:

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

Donde: λ es el número de discontinuidades por metro lineal

PUNTAJE ADOPTADO
13

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

SEPARACIÓN DE DIACLASAS

DESCRIPCIÓN	VALOR (m)	PUNTAJE
Muy separadas	> 2.00	20
Separadas	2.00 - 0.60	15
Medianamente separadas	0.60 - 0.20	X 10
Próximas	0.20 - 0.06	8
Muy próximas	< 0.06	5

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

Longitud de la discontinuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	PUNTAJE ADOPTADO
< 1 m	6	Nada	6	Muy rugosa	6
1 - 3 m	4	< 0.10	5	Rugosa	5
3 - 10 m	X 2	0.10 - 1	3	Ligeramente rugosa	X 3
10 - 20 m	1	1 - 5	X 1	Ondulada	1
> 20 m	0	> 5	0	Suave	0
	2	1	3		2

PUNTAJE ADOPTADO
11

VALORACIÓN DE PARÁMETROS

FLUJO DE AGUA

DESCRIPCIÓN	RELACIÓN: PRESIÓN DE AGUA/TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	CAUDAL POR 10 m DE TÚNEL	ESTADO GENERAL	PUNTAJE
SECO	0	Nulo	SECO	15
LIGERAMENTE HÚMEDO	0 - 0.1	< 10 lt/min	LIGERAMENTE HÚMEDO	X 10
HÚMEDO	0.1 - 0.2	10-25 lt/min	HÚMEDO	7
GOTEANDO	0.2 - 0.5	25-125lt/min	GOTEANDO	4
FLUYENDO	> 0.5	>125 lt/min	AGUA FLUYENDO	0

PUNTAJE ADOPTADO
10

VALOR RMR BASICO
51

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (F)

DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	<input type="checkbox"/> TúnelesCasi	<input type="checkbox"/> Cimentaciones	<input checked="" type="checkbox"/> Taludes
	FALSO	FALSO	VERDADERO
Muy favorables	0	0	0
Favorables	-2	-2	X -2
Medias	-5	-7	-25
Desfavorables	-10	-15	-50
Muy desfavorables	-12	-25	-60
	#N/D	#N/D	-2

PUNTAJE
-2

CLASIFICACIÓN RMR

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
PUNTAJACIÓN	100-81	80-61	X 60-41	40-21	< 20
COHESIÓN (Kg/cm ²)	> 4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1
FRICCIÓN (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Valor del RMR Ajustado 49

Correlaciones del RMR		
Cohesión (C)	2.4	Kg/cm ²
Ángulo de fricción	29.2	°

(Valores propuestos por Bieniaswski)

ANEXO E: Resultados
Numéricos de los Ensayos de
Mecánica de Rocas

i-Test LABORATORIO**REPORTE DE ENSAYO DE LABORATORIO #:****200034/LMR /i-TEST****“REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO”**

ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL
ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA
ENSAYO DE RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL

*Physical Properties Test
Triaxial Compresión Strength Test
Elastic Moduli of Intact Rock Test
Indirect Tensile Strength Test
Direct Shear Strength Test
Point Load Strength Test*

(Versión 1.0)

Reporte: FINAL

Lima, 16 de Febrero del 2021

PREPARADO PARA:

**SERVICIOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
Y SEGURIDAD MINERA S.R.L.**
Calle López de Ayala N° 1189, San Borja
Lima – PERÚ

**PERÚ**

Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
Teléfono: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597

BOLIVIA

Av. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
Teléfono: (+591) 2-2411079

CHILE

Almirante La Torre # 475 –SANTIAGO
Teléfono: (+562) 2-6984768

i-Test LABORATORIO**“REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO”***ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL**ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA**ENSAYO DE RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL**Physical Properties Test**Triaxial Compresión Strength Test**Elastic Moduli of Intact Rock Test**Indirect Tensile Strength Test**Direct Shear Strength Test**Point Load Strength Test***PREPARADO PARA:****SERVICIOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
Y SEGURIDAD MINERA S.R.L.**Calle López de Ayala N° 1189, San Borja
Lima – PERÚ**Reporte final
(Versión 1.0)****PERÚ**Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
Telefax: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597**BOLIVIA**Av. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
Telefax: (+591) 2-2411079**CHILE**Almirante La Torre # 475 –SANTIAGO
Telefax: (+562) 2-6984768

Lima, 16 de Febrero del 2021

REPORTE DE ENSAYO DE LABORATORIO #: 200034/LMR/i-TEST

Señores:

SERVICIOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y SEGURIDAD MINERA S.R.L.

Presente

**Atención: Jorge Bautista
Consultor Geólogo – Geotécnico**

REF. REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO: *“Ensayo de Propiedades Físicas / Ensayo de Resistencia a la Compresión Triaxial – TX / Ensayo de Constantes Elásticas – CE / Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta – TI / Ensayo de Resistencia al Corte Directo – CD / Ensayo de Resistencia a la Carga Puntual – PLT”, para el proyecto: “Estabilidad física del Pad de Lixiviación, Depósitos de Desmonte y Tajos de la U.M. Apumayo - GRUPO ARUNTANI”.*

De nuestra mayor consideración:

De acuerdo a nuestro compromiso con su Orden de Servicio/Compra/Pedido N° 0003-2020, recibido el 14/12/2020, relacionado a nuestra Cotización # 201330 (versión 1), de fecha 02/12/2020, hacemos presente nuestro reporte de Ensayos de Laboratorio efectuados entre el 18/12/2020 a la fecha, en nuestro laboratorio i-TEST de nuestra empresa GEOMECCÁNICA LATINA S.A.

Agradeciéndole por la atención al presente, y esperando sus comentarios, nos suscribimos.

Muy atentamente,



GEOMECCÁNICA LATINA S.A.
GAITHER DE LA SOTA PÉREZ
Representante Legal

c.c. Gerencia Técnica
Encargados de Laboratorio
Archivo

“REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO”

<i>ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS</i>	<i>Physical Properties Test</i>
<i>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL</i>	<i>Triaxial Compresión Strength Test</i>
<i>ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS</i>	<i>Elastic Moduli of Intact Rock Test</i>
<i>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</i>	<i>Indirect Tensile Strength Test</i>
<i>ENSAYO DE RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO</i>	<i>Direct Shear Strength Test</i>
<i>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL</i>	<i>Point Load Strength Test</i>

1. ALCANCES DEL SERVICIO

Los alcances del Servicio de Ensayo de Laboratorio y conforme los siguientes tipos son:

- Re-perforación de las Muestras Cilíndricas que no alcancen la relación de esbeltez o los que necesiten ser reducidos a un diámetro en específico para el tipo de ensayo requerido (caso de los Triaxiales estándares o Multi-Ensayo).
- Corte y Esmerilado de la base y tope de las muestras, hasta alcanzar la relación de esbeltez o aproximarle a ello y el Paralelismo.
- Aplicación de las normas internacionales para ensayos de Mecánica de Rocas como las indicadas en el ASTM (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales), las Sugerencias / Recomendaciones del ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas) y los estudios avanzados del ARMA (Asociación Americana de Mecánica de Rocas) (más detalles, ver 3.0).
- Entregables del Ensayo de Propiedades Físicas: Se entregará el resultado de: Parámetros dimensionales finales de la muestra (diámetro y Altura), Densidad Seca (g/cm³), Densidad Húmeda (g/cm³), Porosidad aparente (%), Absorción (%) y Peso específico aparente (kN/m³).
- Entregables del Ensayo de Resistencia a la Compresión Triaxial: Parámetros dimensionales finales de la muestra (diámetro y Altura), Cargas de Confinamiento (MPa), Esfuerzo de rotura máxima (MPa), Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa) teórica, Constante “mi”, Cohesión (MPa), Ángulo de Fricción (°), gráficos de la envolvente Hoek-Brown y envolvente Mohr-Coulomb y fotografías.
- Entregables del Ensayo de Constantes Elásticas: Parámetros dimensionales finales de la muestra (diámetro y Altura), Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa), Módulo de Young (GPa), Relación de Poisson (ν), gráficos de Carga vs Deformaciones Axial/ Diametral y fotografías.
- Entregables del Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta: Parámetros dimensionales finales de la muestra (diámetro y Altura), Carga de rotura (kN), Resistencia a la Tracción (MPa) y Fotografías.
- Entregables del Ensayo de Resistencia al Corte Directo: Parámetros dimensionales finales de la muestra (diámetro y Altura), Tipo de Discontinuidad de ensayo, Fuerza Normal (kN), Presión Normal (MPa), Fuerza de Corte (kN), Presión de Corte (MPa), Cohesión (MPa), Ángulo de Fricción (°) y fotografías.
- Entregables del Ensayo de Resistencia a la Carga Puntual: Parámetros dimensionales de la muestra (diámetro y altura), carga de rotura (KN), Índice de Carga Puntual corregido, Resistencia a la Compresión Simple individual/promedio (MPa) y Fotografías.

PERÚ

Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
Teléfono: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597

BOLIVIA

Av. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
Teléfono: (+591) 2-2411079

CHILE

Almirante La Torre # 475 – SANTIAGO
Teléfono: (+562) 2-6984768

2. TERMINOLOGÍA GENERAL

Prensa de compresión: Maquinaria utilizada en el laboratorio que permite ejercer presión de forma controlada a la probeta. Se usó en el Ensayo de compresión uniaxial, Ensayo de compresión triaxial y el Ensayo de tracción indirecta (o ensayo brasileño).

Esfuerzo: Es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que está hecho un miembro para una carga aplicada externa (fuerza, F). En este ensayo se mide en Mega Pascales (MPa).

$$\text{Esfuerzo } (\sigma) = \text{fuerza} / \text{área} = F / A$$

Deformación: La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.

$$\text{Deformación } (\epsilon) = (l - l') / l' \quad (l: \text{largo final}; l': \text{largo inicial})$$

Módulo de Young "E": Parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Coefficiente de Poisson: Es una constante elástica que proporciona una medida del Estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

$$\nu = - \frac{\Delta \epsilon_t}{\Delta \epsilon_l} \quad (\epsilon_t: \text{Deformación transversal}; \epsilon_l: \text{Deformación longitudinal})$$

Porosidad: Es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%.

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{v_p}{v_t} * 100 \quad (v_p: \text{Volumen de espacios vacíos de la muestra}; v_t: \text{Volumen total})$$

Probeta/Testigo/Core: Muestra del macizo rocoso con forma de cilindro.

ISMR: International Society for Rock Mechanics.

ASTM: American Society for Testing Materials.

Ensayo de compresión uniaxial: Ensayo que por medio del uso de un esfuerzo axial a una muestra permite obtener datos como el σ_{UES} , E (Modulo de Young) y el ν (Coeficiente de Poisson) por medio de las deformaciones de la probeta.

Resistencia a la compresión uniaxial (σ_{UES}): Esfuerzo crítico en el ensayo en el que la muestra se fractura, se obtiene a partir del Ensayo de compresión uniaxial.

Strain-gauges: Es un sensor, para medir la deformación, presión, carga, torque, posición, entre otras cosas, que está basado en el efecto piezorresistivo.

Tracción indirecta-Brasileño: Tipo de ensayo que por medio de esfuerzos permite determinar la resistencia a la tracción de la muestra.

Ensayo de compresión triaxial: Ensayo que somete a la probeta a un esfuerzo axial y un esfuerzo lateral de manera de determinar un σ_{tc} que es la máxima resistencia a la compresión triaxial de la muestra en la que muestra falla.

Permeabilidad: Capacidad de las rocas para transmitir el agua a través de sus intersticios.

Poros: Son intersticios granulares que hay entre los granos de las muestras de roca.

Ensayo de Corte Directo: tiene como finalidad encontrar el valor del ángulo de fricción residual (ϕ) en testigos de roca que han sido previamente fracturados. Este ensayo se puede aplicar en rocas duras o blandas y en testigos de roca que contengan planos de falla o discontinuidades naturales o artificiales.

PERÚ

Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
Telefax: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597

BOLIVIA

AV. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
Telefax: (+591) 2-2411079

CHILE

Almirante La Torre # 475 –SANTIAGO
Telefax: (+562) 2-6984768

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

La documentación estudiada y recopilada de diferentes pruebas en otros Laboratorios de Mecánica de rocas, han sido también aplicada aquí, bajo los procedimientos indicados en los siguientes documentos y referencias para cada caso.

Nuestros procedimientos son estrictamente basados en las Sugerencias del ISRM (International Society for Rock Mechanics) y complementadas con lo indicado por el ASTM (American Society of Testing Materials).

La norma principal de aplicación para Ensayos Especiales es conforme el **ASTM D7012-14**, que hace referencia a ensayos tipo A, B, C y D, bajo carga variable con control de Esfuerzo/Deformación, que logramos únicamente con nuestra máquina Automáticas Servo-Controladas.

3.1 REFERENCIAS PARA ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS:

Sugerencias Del ISRM: "SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING WATER CONTENT POROSITY DENSITY ABSORPTION AND RELATED PROPERTIES", "SUGGESTED METHODS FOR DETERMINATION OF THE WATER CONTENT OF A ROCK SAMPLE".

Norma ASTM C97-02: "STANDARD TEST METHODS FOR ABSORPTION AND BULK SPECIFIC GRAVITY OF DIMENSION STONE".

3.2 REFERENCIAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL ESTÁNDAR / ESPECIAL – MULTI-ESTADO:

ARMA 15- 767, COMPARISON OF MULTISTAGE TO SINGLE STAGE TRIAXIAL TESTS, University of Houston, Houston, Texas, USA.

Sugerencias Del ISRM: "SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING THE STRENGTH OF ROCK MATERIALS IN TRIAXIAL COMPRESSION".

Norma ASTM 2664-95: "STANDARD TEST METHOD FOR TRIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF UNDRAINED ROCK CORESPECIMENS WITHOUT PORE PRESSURE MEASUREMENTS".

3.3 REFERENCIAS PARA ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS:

Sugerencias Del ISRM: "SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING DEFORMABILITY OF ROCK MATERIALS IN UNIAXIAL COMPRESSION".

Norma ASTM D7012-14e1: "STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC MODULI OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS UNDER VARYING STATES OF STRESS AND TEMPERATURES".

Norma ASTM D3148-02: "STANDARD TEST METHOD FOR ELASTIC MODULI OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS IN UNIAXIAL COMPRESSION".

3.4 REFERENCIAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA:

Sugerencias Del ISRM: "SUGGESTED METHOD FOR DETERMINING INDIRECT TENSILE STRENGTH BY THE BRAZIL TEST".

Norma ASTM D3967-16: "STANDARD TEST METHOD FOR SPLITTING TENSILE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS".

3.5 REFERENCIAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO:

Sugerencias Del ISRM: "SUGGESTED METHOD FOR LABORATORY DETERMINATION OF DIRECT SHEAR STRENGTH"

Norma ASTM 2664-9 ASTM D5607-955: "STANDARD TEST METHOD FOR PERFORMING LABORATORY DIRECT SHEAR STRENGTH TESTS OF ROCK SPECIMENS UNDER CONSTANT NORMAL FORCE".

3.6 REFERENCIA PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL

Sugerencias Del ISRM: "SUGGESTED METHOD FOR DETERMINING POINT LOAD STRENGTH".

Norma ASTM D5731-16 (2016): "STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINATION OF THE POINT LOAD STRENGTH INDEX OF ROCK AND APPLICATION TO ROCK STRENGTH CLASSIFICATIONS".

PERÚ

Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
Telefax: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597

BOLIVIA

AV. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
Telefax: (+591) 2-2411079

CHILE

Almirante La Torre # 475 –SANTIAGO
Telefax: (+562) 2-6984768

5. RESULTADOS NUMÉRICOS DE LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS

5.1 RESULTADOS DE ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS – PF

Cuadro 4: Resultados de Ensayo de Propiedades Físicas

CÓDIGO DE MUESTRA	DIÁMETRO "d" (cm)	ALTURA "h" (cm)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (kN/m ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	POROSIDAD APARENTE (%)
AP M-01	4.18	2.10	1.89	2.10	20.62	10.28	21.65
	4.18	2.09	1.70	1.98	19.37	13.83	27.34
	4.18	2.02	1.80	2.04	20.01	11.82	24.15
Promedio			1.80	2.04	20.00	11.98	24.38
AP M-02	4.18	1.94	2.24	2.32	22.74	3.54	8.25
	4.18	1.99	2.24	2.31	22.69	3.09	7.17
	4.18	1.77	2.20	2.30	22.52	4.32	9.96
Promedio			2.23	2.31	22.65	3.65	8.46
AP M-03	4.20	2.05	2.02	2.13	20.92	5.18	11.08
	4.20	1.29	2.21	2.26	22.19	2.37	5.39
	4.20	1.71	2.29	2.34	22.99	2.11	4.97
Promedio			2.18	2.25	22.03	3.22	7.15
AP M-04	4.19	2.07	1.90	2.10	20.55	9.23	19.38
	4.19	1.97	1.87	2.08	20.37	9.76	20.30
	4.19	1.99	1.89	2.10	20.57	9.97	20.93
Promedio			1.89	2.09	20.50	9.65	20.21
AP M-05	4.18	2.08	1.86	2.13	20.84	12.43	26.44
	4.18	1.97	1.92	2.18	21.33	11.77	25.63
	4.18	2.12	1.82	2.12	20.81	14.44	30.66
Promedio			1.87	2.14	20.99	12.88	27.58
AP M-06	4.19	1.80	1.94	2.19	21.43	11.24	24.60
	4.19	2.12	2.08	2.34	22.97	11.19	26.23
	4.19	2.07	2.03	2.29	22.43	11.08	25.37
Promedio			2.02	2.27	22.28	11.17	25.40
AP M-07	4.18	1.90	1.60	1.86	18.20	13.78	25.61
	4.18	2.33	1.84	2.05	20.14	10.50	21.58
	4.18	1.93	1.57	1.82	17.88	14.14	25.80
Promedio			1.67	1.91	18.74	12.81	24.33

CÓDIGO DE MUESTRA	DIÁMETRO "d" (cm)	ALTURA "h" (cm)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (kN/m ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	POROSIDAD APARENTE (%)
AP M-08	4.18	1.68	2.16	2.25	22.07	4.03	9.09
	4.18	1.64	2.15	2.25	22.01	4.10	9.22
	4.18	1.65	1.99	2.09	20.51	4.93	10.35
Promedio			2.10	2.20	21.53	4.35	9.55
AP M-11	4.19	1.95	2.39	2.46	24.16	2.94	7.27
	4.19	2.13	2.40	2.48	24.36	3.31	8.26
	4.19	2.18	2.33	2.41	23.61	3.03	7.32
Promedio			2.38	2.45	24.04	3.09	7.62
AP M-13	4.19	1.79	2.16	2.28	22.34	5.32	12.14
	4.19	1.85	2.14	2.27	22.23	5.48	12.45
	4.19	1.88	2.22	2.32	22.78	4.61	10.73
Promedio			2.17	2.29	22.45	5.13	11.77
AP M-15	4.19	1.42	2.51	2.57	25.24	2.28	5.90
	4.19	1.41	2.51	2.57	25.22	2.22	5.74
	4.19	1.44	2.49	2.54	24.95	2.06	5.27
Promedio			2.51	2.56	25.13	2.18	5.63
TPAP SI 20-12	4.20	1.84	1.89	2.11	20.67	10.37	21.88
	4.20	1.73	1.87	2.08	20.43	10.31	21.51
	4.20	1.99	1.69	1.90	18.66	11.26	21.45
Promedio			1.82	2.03	19.92	10.65	21.61
TPAP SI 20-18	4.19	1.82	1.79	2.03	19.86	11.63	23.59
	4.19	1.78	1.76	2.01	19.71	12.27	24.70
	4.19	2.01	1.76	2.01	19.69	12.14	24.40
Promedio			1.77	2.01	19.75	12.02	24.23

PERÚ

 Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
 Telefax: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597

BOLIVIA

 Av. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
 Telefax: (+591) 2-2411079

CHILE

 Almirante La Torre # 475 – SANTIAGO
 Telefax: (+562) 2-6984768

5.2 RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL – TX

Cuadro 5: Resultados de Ensayo de Resistencia a la Compresión Triaxial

CÓDIGO DE MUESTRA	DÍA. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	CONF. σ_3 (MPa)	ESFUERZO COMP. (MPa)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL – UCS(t) (MPa)	COHESIÓN (MPa) (*)	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (°) (*)	CONSTANTE "mi"
AP M-01	41.8	85.52	10.0	38.33	12.85	8.72	20.12	5.51
			12.0	45.60				
			14.0	48.54				
			16.0	51.01				
AP M-02	41.9	88.1	10.0	90.25	57.73	18.55	28.26	5.31
			12.0	95.34				
			14.0	101.30				
			16.0	106.92				
AP M-13	42.0	83.9	9.0	61.50	29.49	10.84	28.39	7.13
			11.0	67.65				
			13.0	72.75				
			15.0	78.55				

R.E.: Relación de Esbeltez = $h/d=2.0$

Conf. = Confinamiento Lateral (σ_3)

Esfuerzo Comp. = Esfuerzo de Compresión, de Rotura, Vertical (MPa)

UCS(t) = Resistencia a la Compresión Uniaxial, teórico (valor indirecto, tomado de las formulaciones para el cálculo de las constantes "mi", Cohesión y Fricción). No es un parámetro Directo como si lo es el ensayo UCS(d) o UCS(50).

(*) Parámetros Conforme el Criterio de Mohr Coulomb. Demás parámetros (mi), conforme Criterio de Hoek-Brown.

5.3 RESULTADOS DE ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS – CE

Cuadro 6: Resultados de Ensayo de Constantes Elásticas

CÓDIGO DE MUESTRA	DIÁ. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	CARGA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL - UCS(d) (MPa)	MÓDULO DE YOUNG "E" (GPa) (*) (Transductores)	MÓDULO DE YOUNG "E" (GPa) (**) (Strain Gauges)	RELACIÓN DE POISSON "ν" (Strain Gauges)
AP M-01	41.9	93.9	23.27	16.88	7.41	8.48	- - -
AP M-02	42.0	93.9	75.33	54.50	19.04	24.75	0.08
AP M-03	41.9	89.4	84.27	61.03	21.52	24.08	0.16
AP M-04	41.9	94.6	61.07	44.29	9.39	6.92	0.11
AP M-07	41.8	90.2	34.19	24.76	7.55	19.99	0.09
AP M-13	41.9	85.0	54.58	39.58	11.53	15.05	- - -
AP M-15	41.9	89.7	149.59	108.50	27.55	24.18	0.19

R.E.: Relación de Esbeltez = $h/d \approx 2.0$

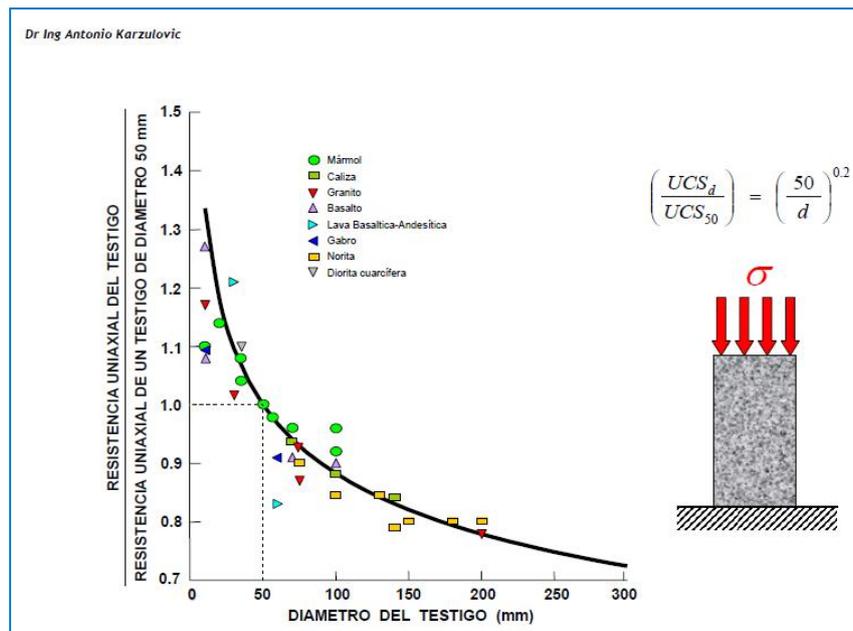
Valor de "E" = Módulo de Young Tangencial.

(*) Valor del Módulo de Young "E", obtenido con los Transductores LDT al momento del ensayo CE (UCS(d)). Los transductores muestran la deformación Total del testigo de roca. Valores opcionales para el cliente.

(**) Otros valores de "E" secante y "E" Promedio, pueden ser evaluados por el cliente para su aplicación, estos valores se pueden obtener de los Gráficos de los Módulos Elásticos "E" y "ν". (Ver 6.2 GRÁFICOS DE ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS – CE, Pág. 27).

Este(os) valor(es) "E" tangente, ha(n) sido calculados al 50% de tu Resistencia máxima UCS(d)

Nota 1: El/Los valore(s) de UCS(d) mostrados en este cuadro, son al diámetro directo del testigo ensayado, no existe corrección al diámetro UCS(50). Si el cliente lo requiere, tendría que usar alguna formulación como "Hoek-Brown Diagram for UCS Corrections, 1980", "Hawkins, Relation between UCS and size (core), 1998", "Dr. Ing. Antonio K. / AKL Ingeniería & Geomeccánica Ltda. (Chile)" u otras.



Fuente: Dr. Ing. Antonio K. / AKL Ingeniería & Geomeccánica Ltda. (Chile).

PERÚ

Av. Marginal # 467, Salamanca, Ate - LIMA
 Telefax: (+511) 4351969 / RUC: 20415405597

BOLIVIA

Av. Ecuador 2074, Sopocachi – LA PAZ
 Telefax: (+591) 2-2411079

CHILE

Almirante La Torre # 475 –SANTIAGO
 Telefax: (+562) 2-6984768

5.4 RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA – TI

Cuadro 7: Resultados de Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

CÓDIGO DE MUESTRA	DIÁ. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	CARGA (kN)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (MPa)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (MPa)
AP M-01	54.6	28.7	5.10	2.07	2.07
	54.6	28.3	5.02	2.07	
	54.7	28.5	2.17	0.89	
AP M-02	54.7	29.4	10.73	4.26	4.56
	54.8	28.7	12.04	4.87	
AP M-03	54.8	26.8	25.17	10.91	10.45
	54.7	29.6	25.36	9.98	
	54.9	31.7	41.00	15.02	
AP M-04	54.6	29.2	10.20	4.08	3.91
	54.7	27.4	9.34	3.97	
	54.9	26.2	8.33	3.69	
AP M-05	42.0	23.2	2.91	1.90	1.60
	42.3	20.8	1.78	1.29	
AP M-06	41.8	20.3	0.52	0.39	0.55
	42.2	23.9	1.09	0.69	
	41.9	23.4	0.87	0.56	
AP M-11	41.9	21.8	9.96	6.93	6.79
	41.9	21.5	6.51	4.59	
	41.9	21.0	12.26	8.85	
AP M-13	54.6	29.8	11.74	4.59	6.58
	54.6	27.1	14.72	6.34	
	54.6	29.9	22.55	8.80	
AP M-15	54.7	29.3	24.13	9.59	9.20
	54.7	27.0	21.17	9.13	
	54.7	29.0	22.11	8.88	

R.E.: Relación de Esbeltez = $h/d \approx 0.5$

Valor(es) marcado(s) en **ROJO**, no ha(n) sido considerado(s) en los cálculos de los PROMEDIOS, puede ser considerado como un valor anómalo. Dependerá del cliente considerarlo o no.

5.5 RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO – CD

Cuadro 8: Resultados de Ensayo de Resistencia al Corte Directo

CÓDIGO DE MUESTRA	DÍA. "D" (mm)	TIPO DE DISCONT.	FUERZA NORMAL (kN)	FUERZA DE CORTE (kN)	FUERZA NORMAL (MPa)	FUERZA DE CORTE (MPa)	COHESIÓN (MPa)	ANGULO DE FRICCIÓN RESIDUAL(°)
AP M-01	54.70	Simulada ($\alpha=0^\circ$)	1.00	1.29	0.43	0.55	0.32	30.46
			2.00	1.96	0.85	0.83		
			3.00	2.53	1.28	1.08		
			4.00	3.18	1.70	1.35		
			5.00	3.63	2.13	1.54		
AP M-02	54.70	Simulada ($\alpha=0^\circ$)	1.00	0.99	0.43	0.42	0.12	34.58
			2.00	1.66	0.85	0.71		
			3.00	2.33	1.28	0.99		
			4.00	3.05	1.70	1.30		
			5.00	3.74	2.13	1.59		
AP M-04	54.60	Simulada ($\alpha=0^\circ$)	1.00	0.55	0.43	0.23	0.00	33.74
			2.00	1.41	0.85	0.60		
			3.00	2.03	1.28	0.87		
			4.00	2.63	1.71	1.12		
			5.00	3.28	2.14	1.40		
AP M-09	----	Natural ($\alpha=0^\circ$)	3.00	2.83	0.36	0.34	0.02	42.22
			5.00	4.24	0.60	0.51		
			7.00	6.72	0.84	0.81		
			9.00	8.61	1.08	1.04		
			12.00	11.72	1.45	1.41		
AP M-12	----	Natural ($\alpha=0^\circ$)	3.00	3.44	0.35	0.40	0.09	40.57
			5.00	4.99	0.58	0.58		
			7.00	6.64	0.82	0.78		
			9.00	8.52	1.05	1.00		
			12.00	11.08	1.40	1.29		
AP M-13	54.70	Simulada ($\alpha=0^\circ$)	1.00	0.92	0.43	0.39	0.09	33.76
			2.00	1.53	0.85	0.65		
			3.00	2.24	1.28	0.95		
			4.00	2.85	1.70	1.21		
			5.00	3.59	2.13	1.53		
AP M-15	54.80	Simulada ($\alpha=0^\circ$)	1.00	0.82	0.42	0.35	0.06	35.92
			2.00	1.60	0.85	0.68		
			3.00	2.51	1.27	1.06		
			4.00	2.87	1.70	1.22		
			5.00	3.81	2.12	1.62		

5.6 RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL – PLT

Cuadro 9: Resultado de Ensayo de Resistencia a la Carga Puntual

CÓDIGO DE MUESTRA	DIÁM. "d" (mm)	ALT. "h" (mm)	CARGA (kN)	Is	Is(50)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UCS (50) (MPa)	PROMEDIO-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UCS (50) (MPa)
AP M-11	41.9	21.3	6.74	5.94	4.97	109.43	101.55
	41.9	20.6	5.98	5.44	4.52	99.42	
	41.9	20.6	5.75	5.24	4.35	95.78	
TPAP SI 20-12	41.8	17.2	1.86	2.03	1.62	35.60	26.56
	41.8	18.6	0.97	0.98	0.80	17.51	
	41.8	18.8	0.47	0.47	0.38	8.39	
TPAP SI 20-18	41.9	23.7	1.63	1.29	1.11	24.36	26.45
	41.9	18.1	1.81	1.87	1.51	33.25	
	41.9	19.9	1.27	1.20	0.99	21.74	

Ensayo Tipo = Bloque.

Valor de la Constante "k" para convertir el Is(50) a MPa = 22 (de cuadro generalizado de Bieniawski, Z.T. para muestras con diámetro cercano al 50mm.).

Para la corrección del Is a Is(50), (Fórmula: $Is(50) = Is \times (De / 50)^{\alpha}$), el valor de "α" = 0.45.

Is(50) = Índice de Carga Puntual corregido a 50mm de diámetro.

Valor(es) marcado(s) en **ROJO**, no ha(n) sido considerado(s) en los cálculos de los PROMEDIOS, puede ser considerado como un valor anómalo.

6. RESULTADOS GRÁFICOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS

6.1 GRÁFICOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL – TX

Gráfico 1: Ensayo Triaxial Me, Envoltente Hoek-Brown, AP M-01

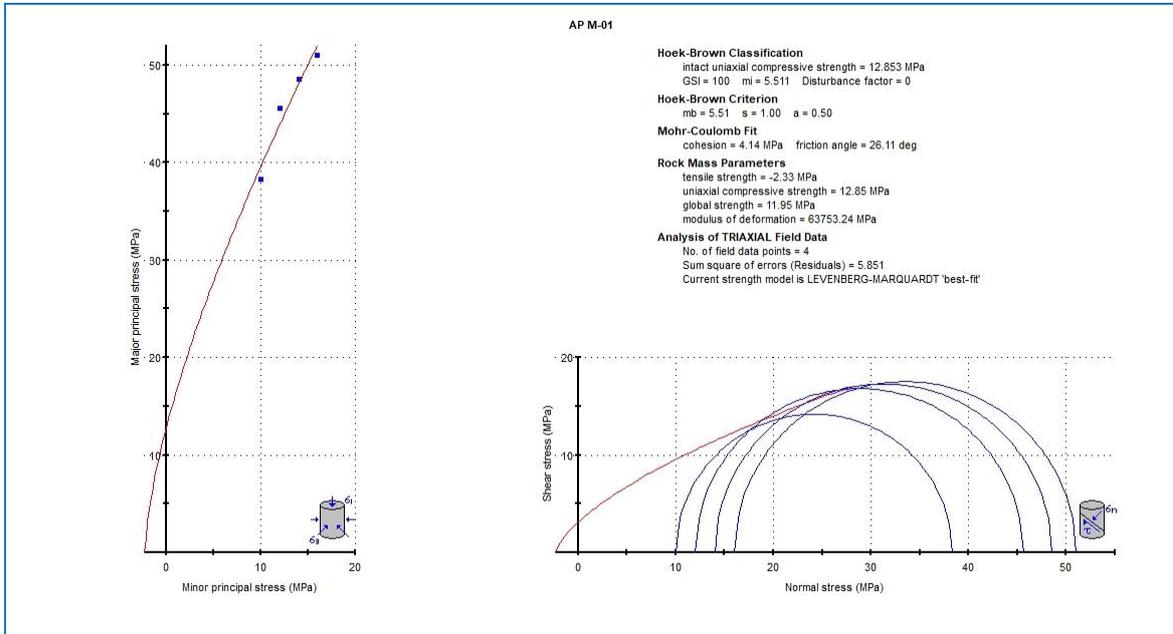
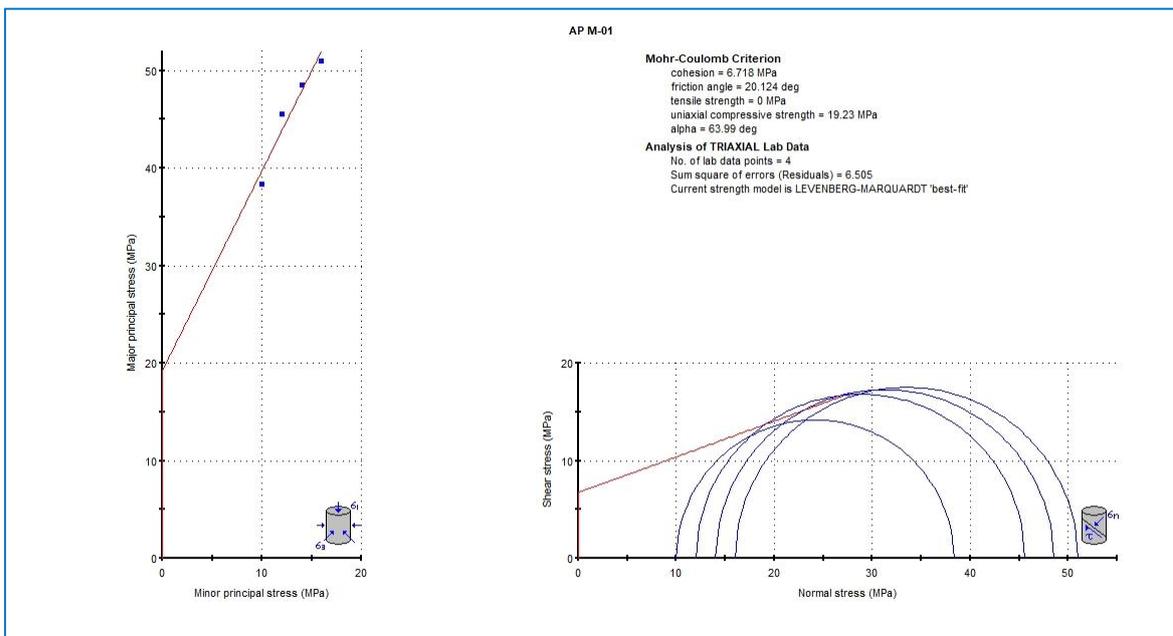


Gráfico 2: Ensayo Triaxial Me, Envoltente Mohr-Coulomb, AP M-01



6.2 GRÁFICOS DE ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS – CE

Los parámetros indicados como “Maximum Strength” y “Vertical Stress”, para todas las gráficas siguientes, son referenciales, dado la Corrección por escala del Software y Correcciones de máximos. El fin es mostrar las gráfica de Esfuerzo/Deformación de manera correcta. El valor correcto en cada caso, es el indicado en el Cuadro 8: RESULTADOS DE ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS – CE, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL – UCS (d), (MPa), Pág. 19.

Gráfico 7: Constantes Elásticas, Módulo de Young “E”, AP M-01

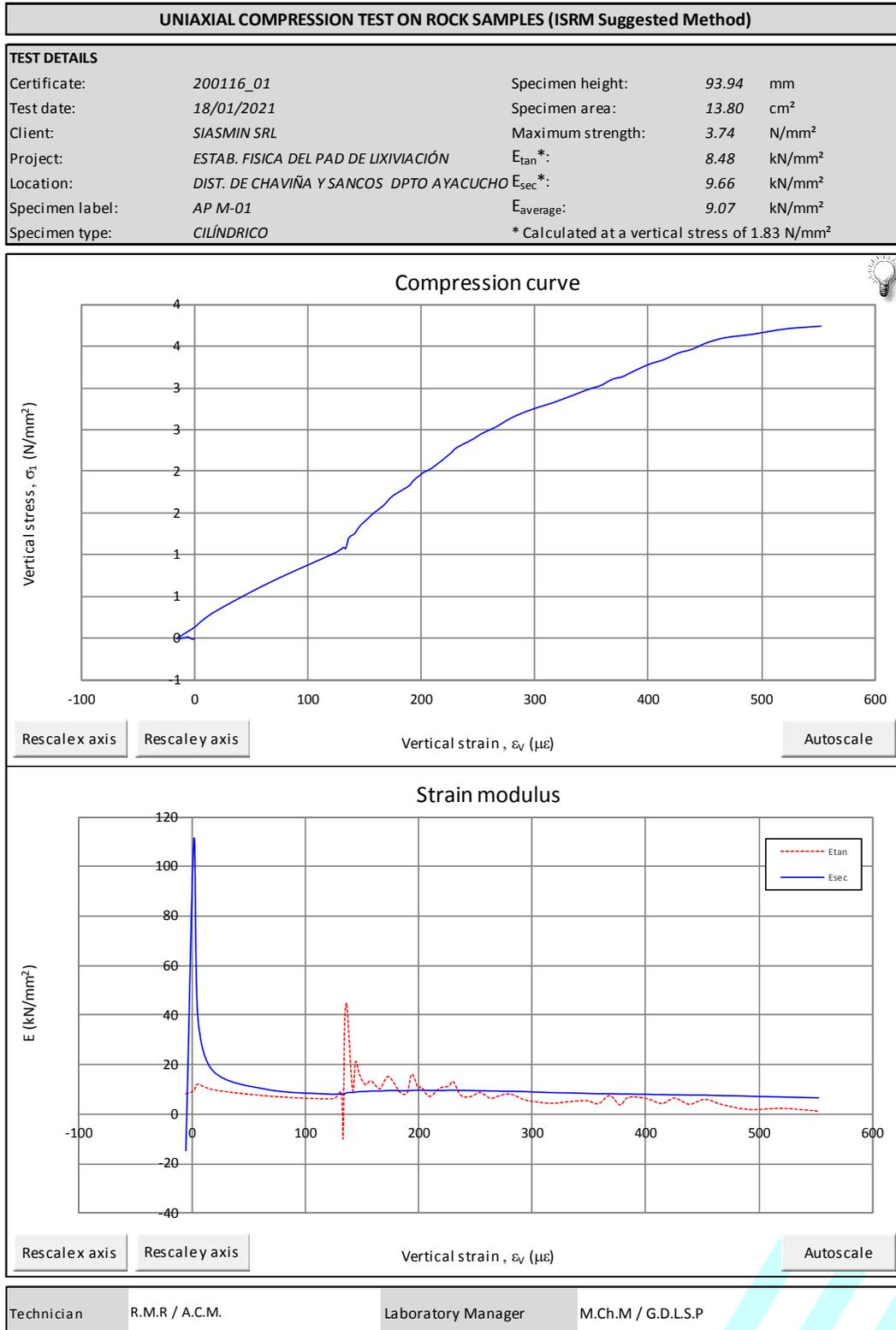
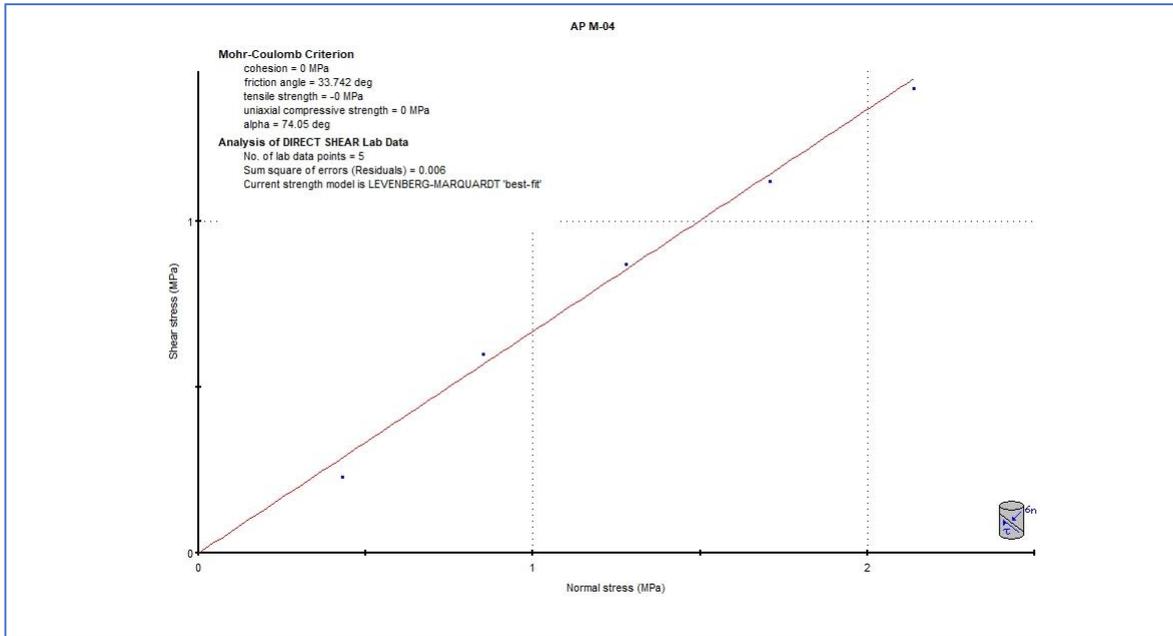
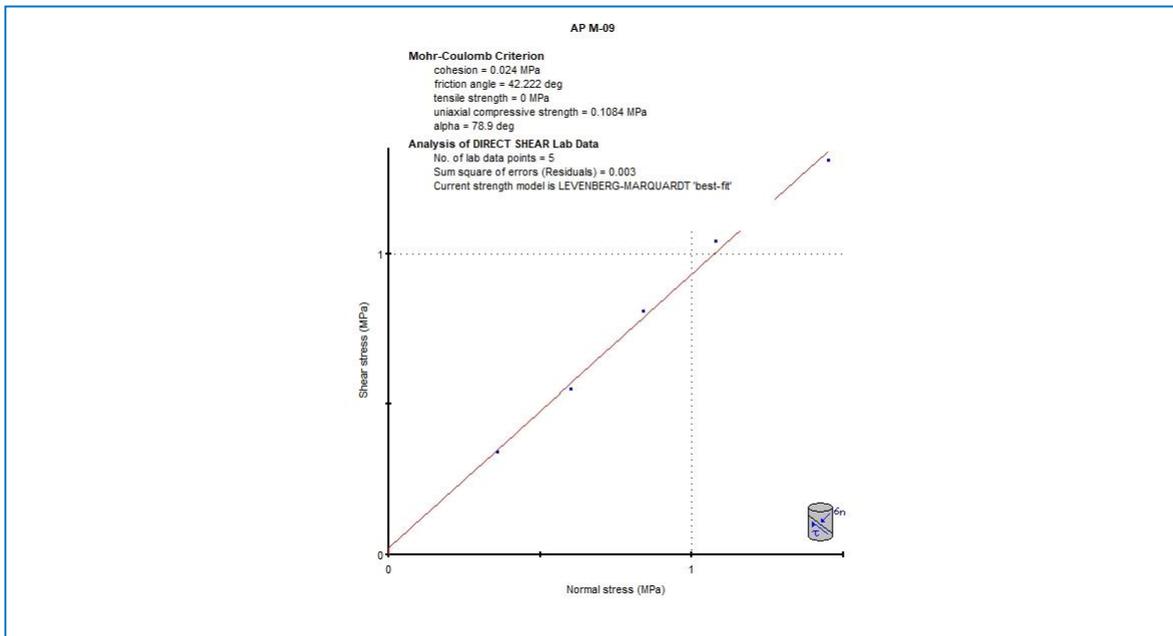


Gráfico 21: Ensayo de Resistencia al Corte Directo, AP M-04

Gráfico 22: Ensayo de Resistencia al Corte Directo, AP M-09


7. RESULTADOS FOTOGRÁFICOS DE LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS

7.1 FOTOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL – TX

Foto 1: Muestra para TX-Me, AP M-01 y AP M-02

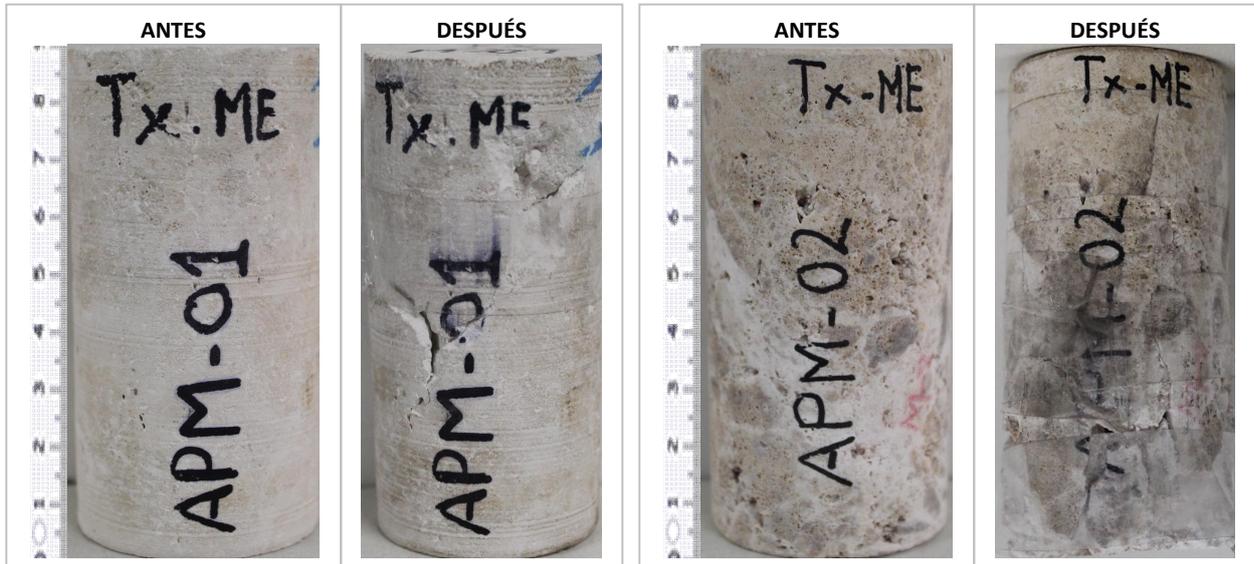


Foto 2: Muestra para TX-Me, AP M-13

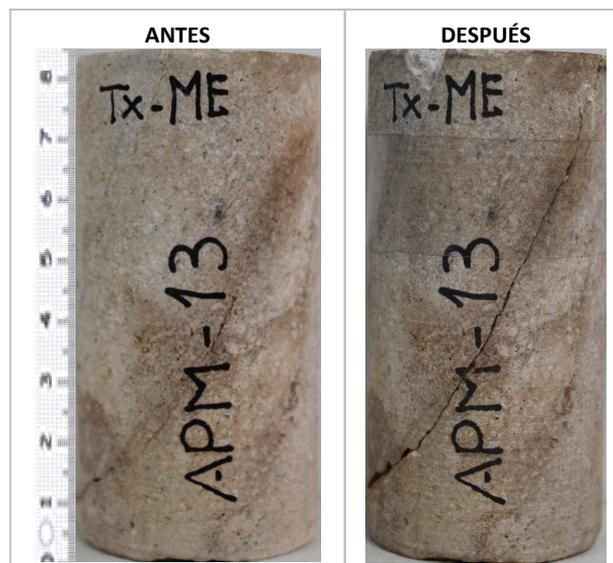


Foto 13: Muestra para TI, AP M-11

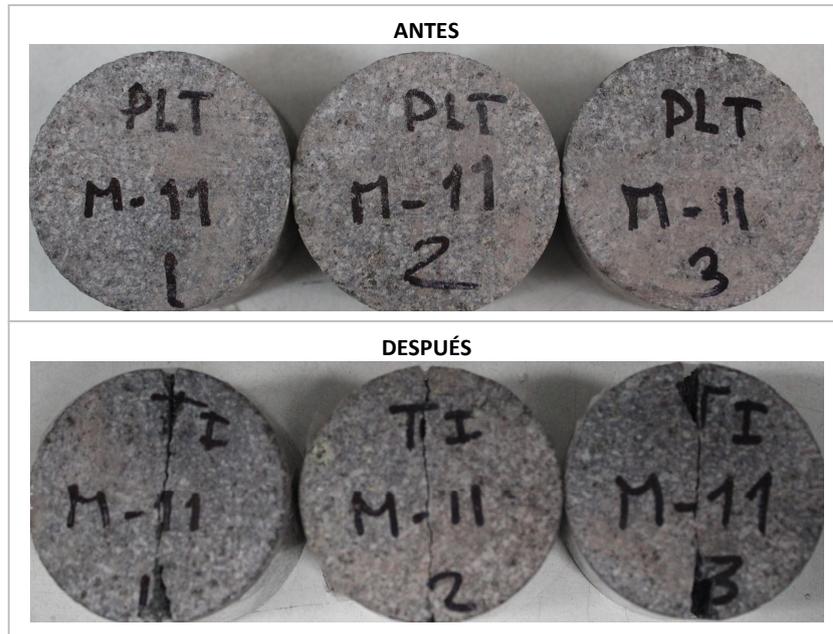
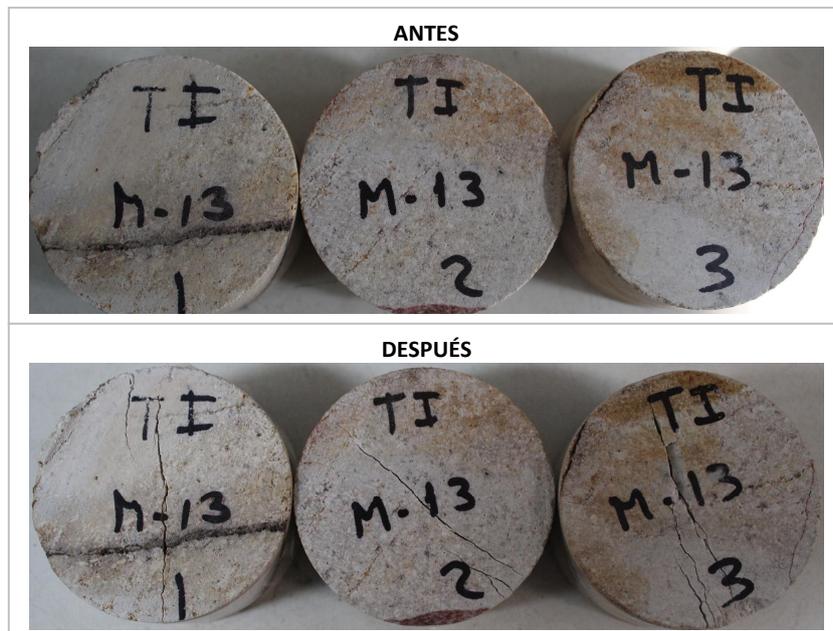


Foto 14: Muestra para TI, AP M-13



7.5 FOTOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO – CD

Foto 16: Muestra para CD, AP M-01



Foto 17: Muestra para CD, AP M-02

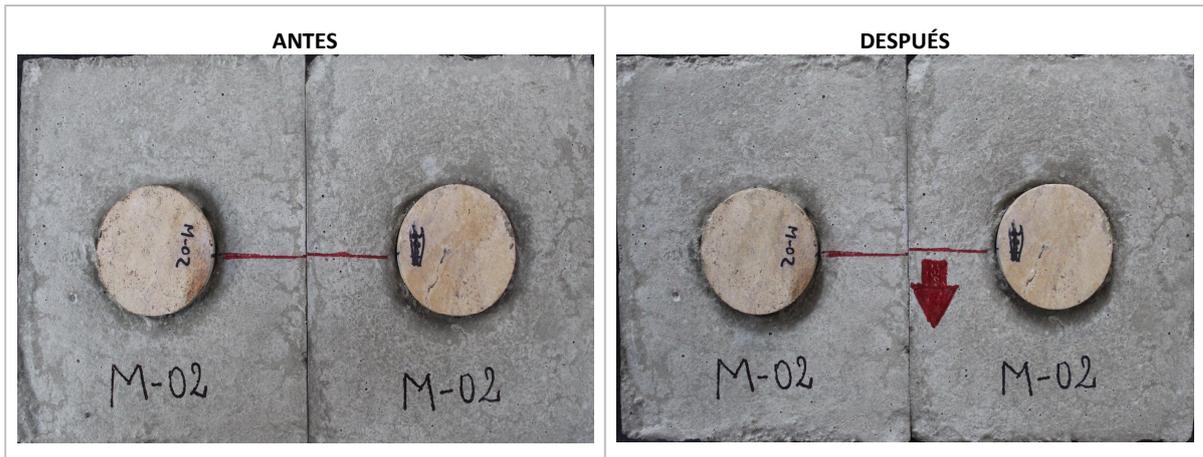
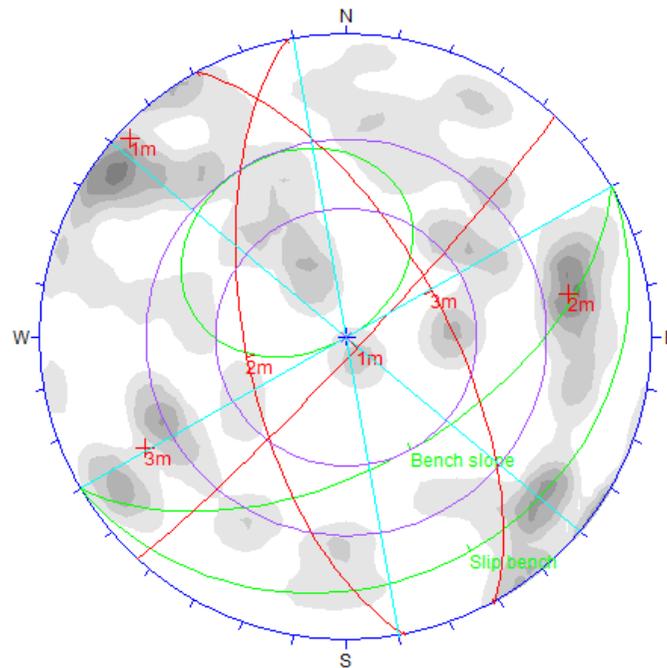


Foto 18: Muestra para CD, AP M-04



ANEXO F: Resultados de Análisis Cinemático



a) Estructuras menores

Tipo de roca : ANDESITA
 Tipo de discontinuidad : Junta
 Sets de discontinuidades :
 N° Dip / Dip Direction
 #1 86 / 133
 #2 63 / 259
 #3 64 / 061
 #4

b) Orientación del talud de banco

Buzamiento : 55°
 Dirección de buzamiento : 150°

c) Modo de inestabilidad : Tipo vuelco set #1

Suposiciones y consideraciones de estabilidad:

- 1) Dirección de buzamiento nominal del Sector 1 es 150°
- 2) Un ángulo de fricción de 35° se asumió para todos los tipos de discontinuidades de este sector
- 3) Inestabilidad tipo vuelco en talud de banco.
- 4) Arreglo estructural no produce inestabilidad cinemática importante el cual sería controlado por la berma de los bancos al retener bloques caídos de la cresta.
- 5) Es posible alcanzar taludes de banco de 55°.

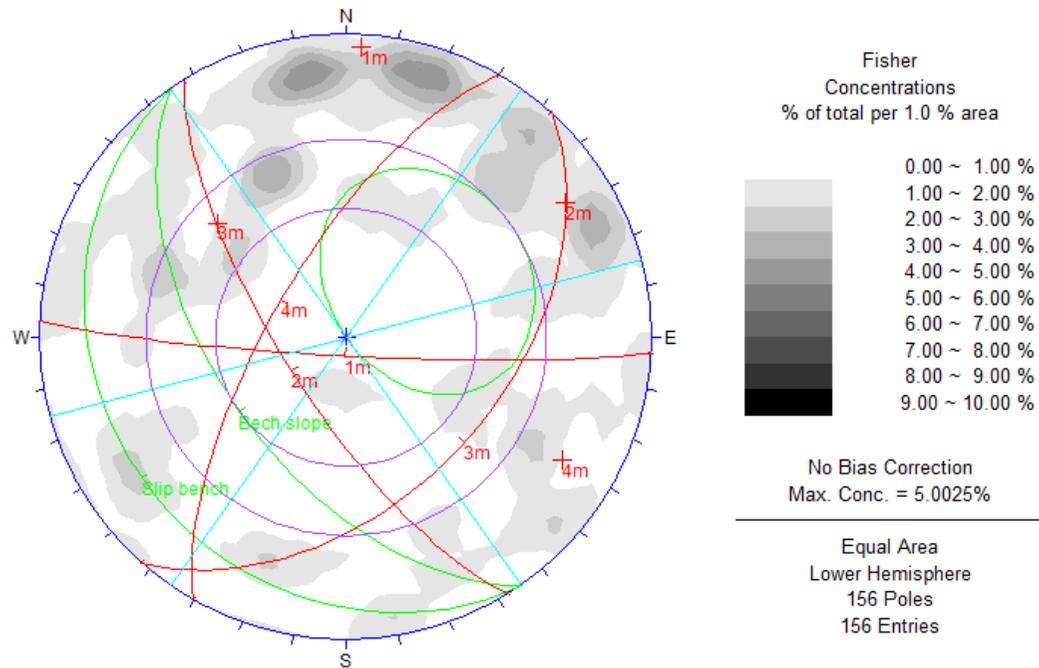
APUMAYO

ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 -
 U.M. APUMAYO

ANALISIS CINEMATICO
 Sector de Diseño 1

DIPS - 01

FECHA	REV.



a) Estructuras menores

Tipo de roca : ANDESITA
 Tipo de discontinuidad : Junta
 Sets de discontinuidades :
 N° Dip / Dip Direction
 #1 85 / 183
 #2 73 / 238
 #3 47 / 132
 #4 70 / 300

b) Orientación del talud de banco

Buzamiento : 55°
 Dirección de buzamiento : 235°

c) Modo de inestabilidad : Vuelco menor set #2
 Cuña menor Sets (#3 y #4)

Suposiciones y consideraciones de estabilidad:

- 1) Dirección de buzamiento nominal del Sector 2B es 235°
- 2) Un ángulo de fricción de 35° se asumió para todos los tipos de discontinuidades
- 3) Inestabilidad tipo cuña y vuelco menor en taludes de banco.
- 4) La estabilidad del talud de banco será evaluado empleando metodos de equilibrio límite

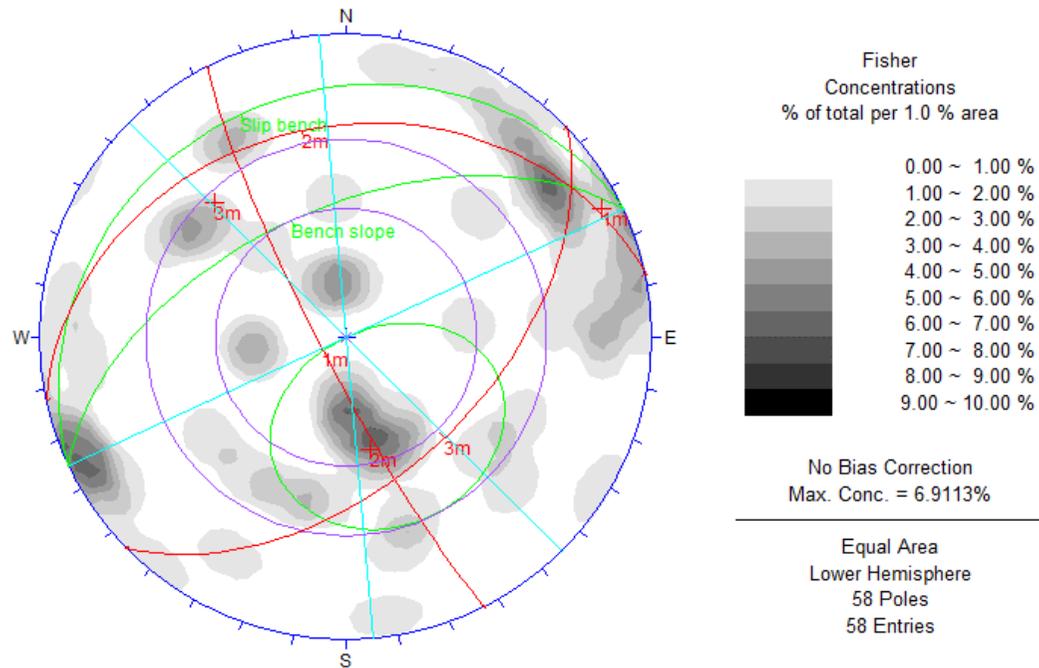
APUMAYO

ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 -
 U.M. APUMAYO

ANALISIS CINEMATICO
 Sector de Diseño 2B

DIPS - 02

FECHA	REV.



a) Estructuras menores

Tipo de roca : ANDESITA
 Tipo de discontinuidad : Junta
 Sets de discontinuidades : N° Dip / Dip Direction
 #1 83 / 243
 #2 31 / 348
 #3 52 / 136
 #4

b) Orientación del talud de banco

Buzamiento : 55°
 Dirección de buzamiento : 335°

c) Modo de inestabilidad : Falla planar menor set # 2

Suposiciones y consideraciones de estabilidad:

- 1) Dirección de buzamiento nominal del Sector 3 es 335°
- 2) Un ángulo de fricción de 35° se asumió para todos los tipos de discontinuidades
- 3) Inestabilidad menor tipo planar en talud de banco.
- 4) La estabilidad del talud de banco será evaluado empleando metodos de equilibrio límite.

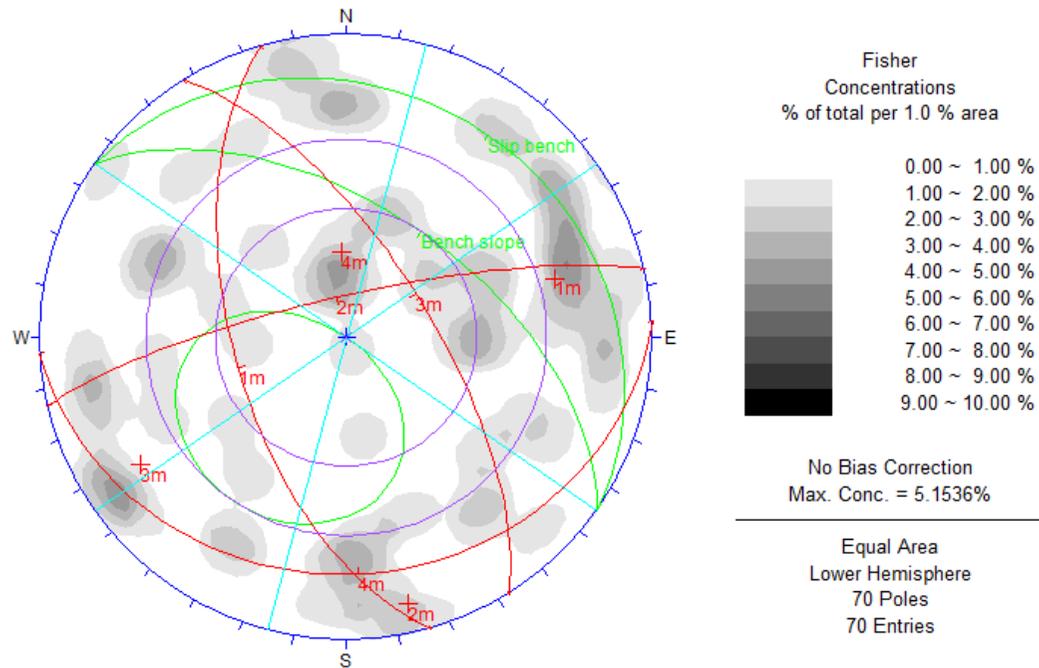
APUMAYO

ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 -
U.M. APUMAYO

ANALISIS CINEMATICO
Sector de Diseño 3

DIPS - 03

FECHA	REV.



a) Estructuras menores

Tipo de roca : ANDESITA
 Tipo de discontinuidad : Junta
 Sets de discontinuidades : N° Dip / Dip Direction
 #1 60 / 254
 #2 79 / 347
 #3 68 / 058
 #4 23 / 177

b) Orientación del talud de banco

Buzamiento : 55°
 Dirección de buzamiento : 035°

c) Modo de inestabilidad :

Vuelco menor juntas Set #1
 Falla planar Set #3 si talud de banco mayor a 60°

Suposiciones y consideraciones de estabilidad:

- 1) Dirección de buzamiento nominal del Sector 4 es 035°
- 2) Un ángulo de fricción de 35° se asumió para todos los tipos de discontinuidades
- 3) Inestabilidad menor tipo planar en talud de banco.
- 4) Arreglo estructural no produce inestabilidad cinemática importante, es posible alcanzar taludes de banco de 55°.

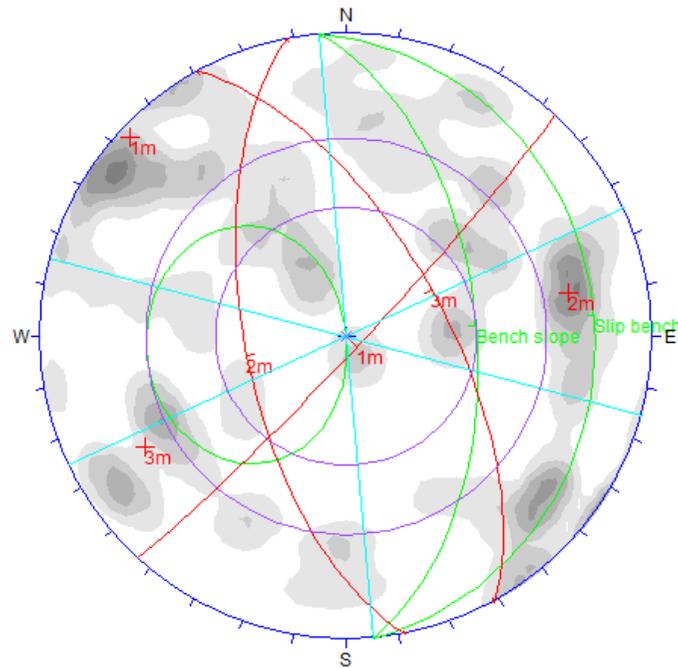
APUMAYO

ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 -
U.M. APUMAYO

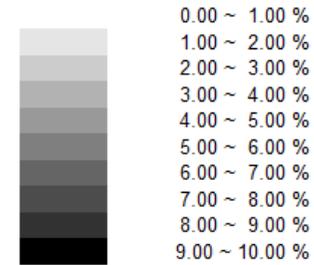
ANALISIS CINEMATICO
Sector de Diseño 4

DIPS - 04

FECHA	REV.



Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area



No Bias Correction
Max. Conc. = 5.7302%

Equal Area
Lower Hemisphere
85 Poles
85 Entries

a) Estructuras menores

Tipo de roca : ANDESITA
 Tipo de discontinuidad : Junta
 Sets de discontinuidades :
 #1 86 / 133
 #2 63 / 259
 #3 64 / 061
 #4

b) Orientación del talud de banco

Buzamiento : 55°
 Dirección de buzamiento : 085°

c) Modo de inestabilidad : Cuña menor Sets (#1 y #3) si talud de banco es > 55°
 Vuelco menor set #2

Suposiciones y consideraciones de estabilidad:

- 1) Dirección de buzamiento nominal del Sector 5 es 085°
- 2) Un ángulo de fricción de 35° se asumió para todos los tipos de discontinuidades
- 3) Inestabilidad menor tipo cuña mas vuelco menor en talud de banco si el talud de banco es mayor a 55°.
- 4) Inestabilidad menor es posible alcanzar taludes de banco de 55°.

APUMAYO

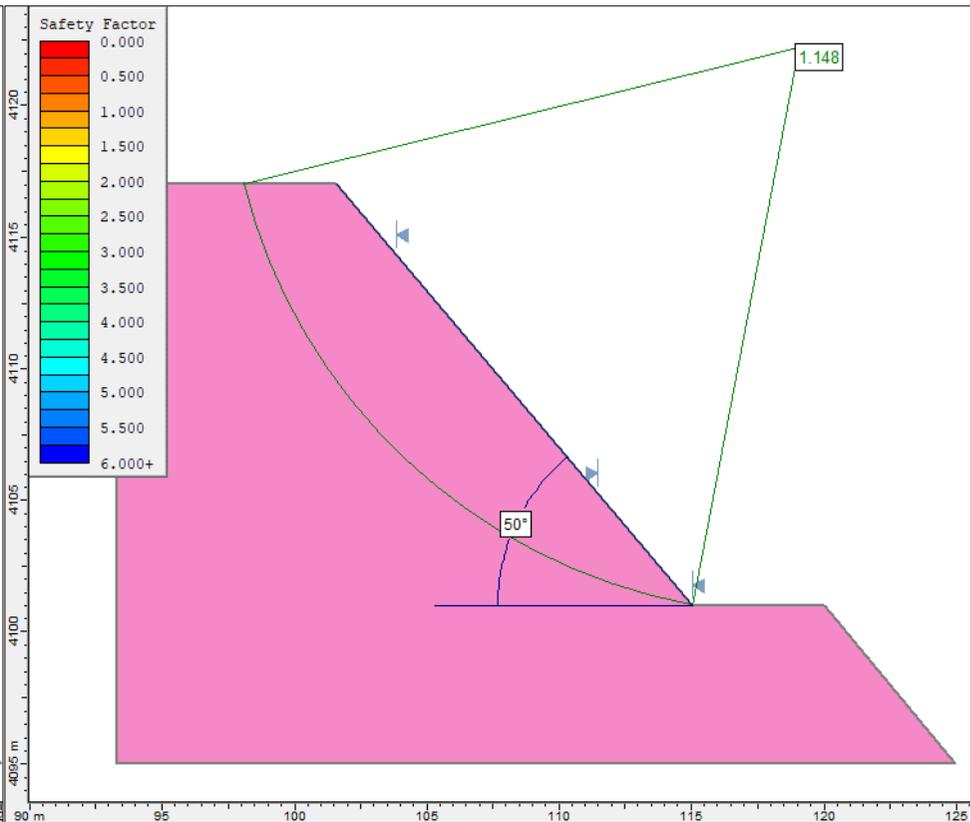
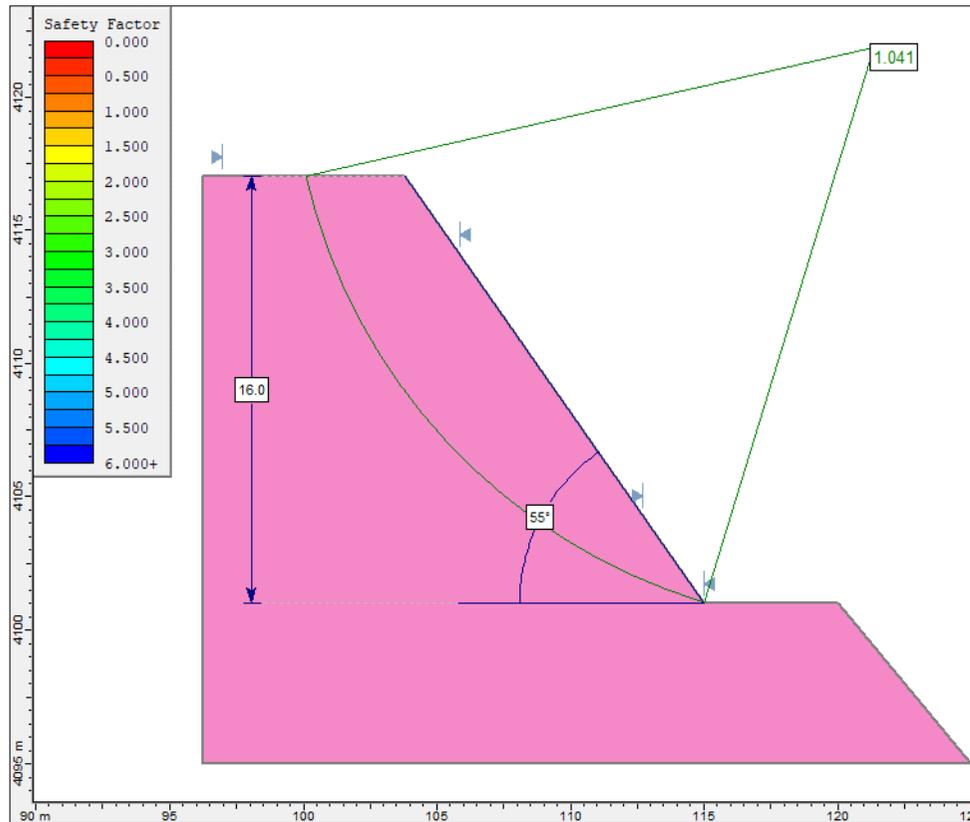
ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 -
U.M. APUMAYO

ANALISIS CINEMATICO
Sector de Diseño 5

DIPS - 05

FECHA	REV.
0	

**ANEXO G: Resultados del
Análisis de Estabilidad de
Taludes**



Talud de banco		Peso Especifico (kN/m ³)	Resistencia compresiva (MPa)	Cohesión kPa	Angulo fricción (°)	Presion de agua (Ru)	Factor de seguridad
Altura (m)	Angulo talud Buz (°) ⁽¹⁾						
16	55° 50°	21.4	< 5 Mpa	25	30	0.10	1.041 1.148

(1).- 55° talud de banco según diseño APUMAYO,

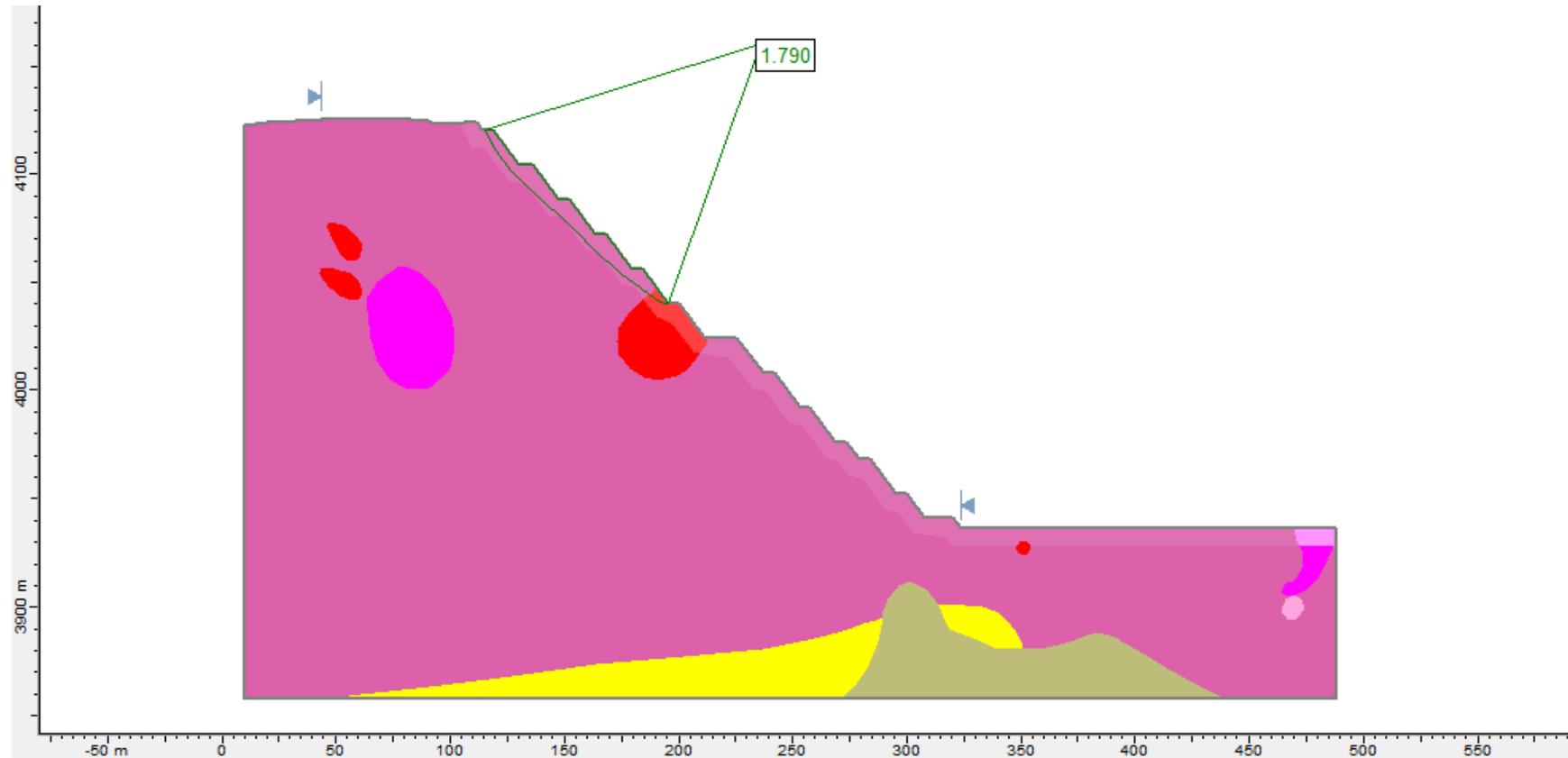
APUMAYO

ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 -
U.M. APUMAYO

ANALISIS ESTABILIDAD DE TALUD DE BANCO
Falla Circular - Sector de Diseño 2A (SD2A)

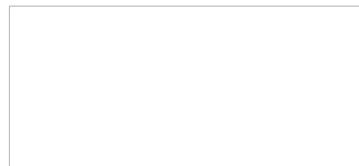
SLIDE - 01

FECHA	REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silíce Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silíce Granular Moderada	21.7	25.6	32	15	279	44	97	38
SGC	Silíce Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	-	-	-	-
PRO	Propilitico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silíce Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silíce Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica



Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

ESTABILIDAD FÍSICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

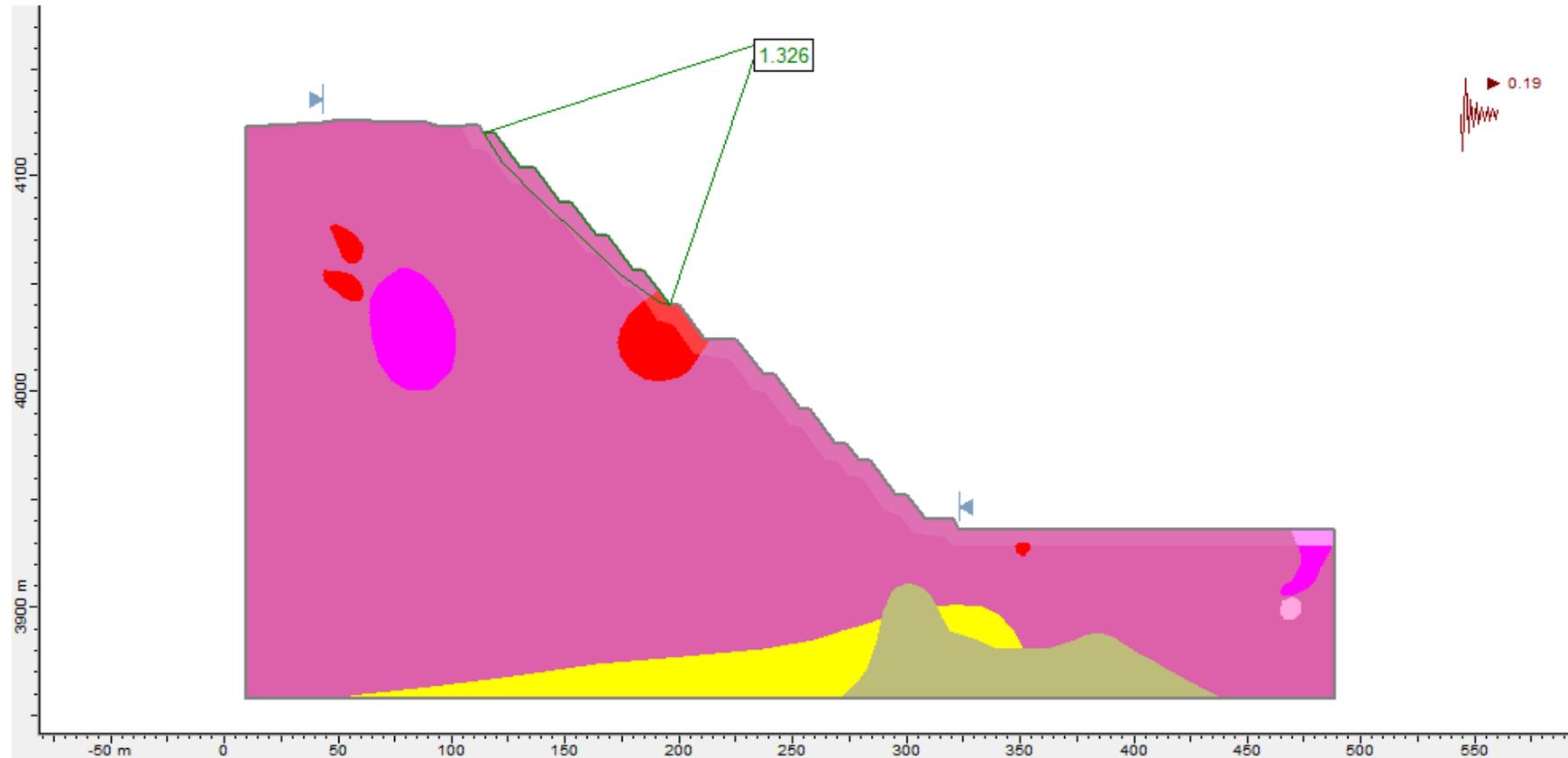
Análisis de estabilidad del Sector SD-1 Sección 1-1'

CONDICIÓN ESTÁTICA DRENADA

SLIDE - 02

FECHA

REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silice Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silice Granular Moderada	21.7	25.6	32	15	279	44	97	38
SGC	Silice Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	-	-	-	-
PRO	Propilitico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silice Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silice Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica

Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

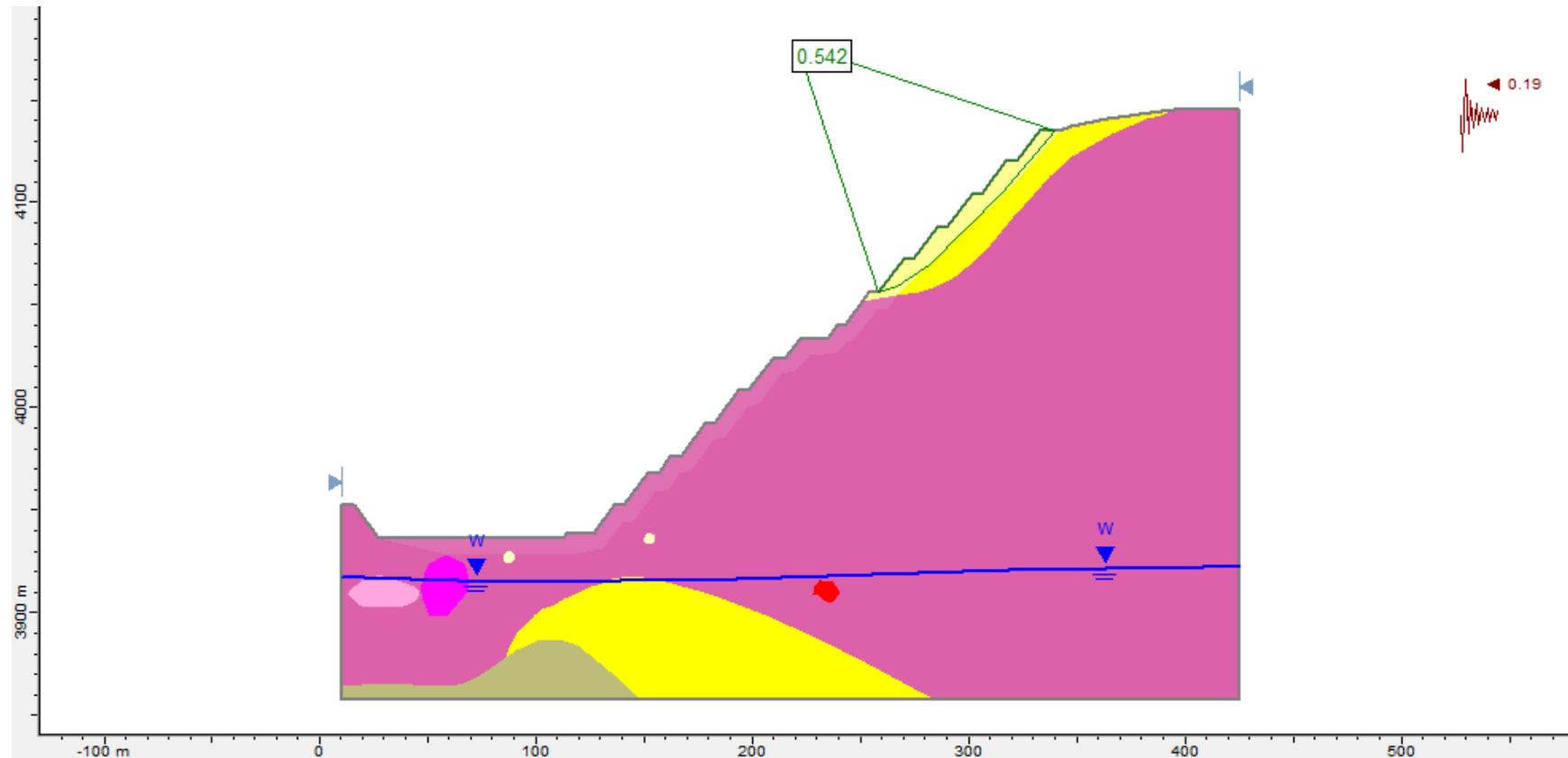
ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

Análisis de estabilidad del Sector SD-1 Sección 1-1'

CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA DRENADA C.S. 0.19

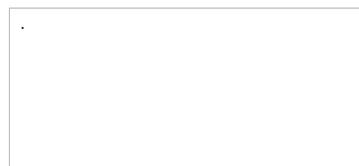
SLIDE - 04

FECHA	REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silice Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silice Granular Moderada	21.7	25.6	32	15	279	44	97	38
SGC	Silice Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	-	-	-	-
PRO	Propilítico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silice Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silice Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica



Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

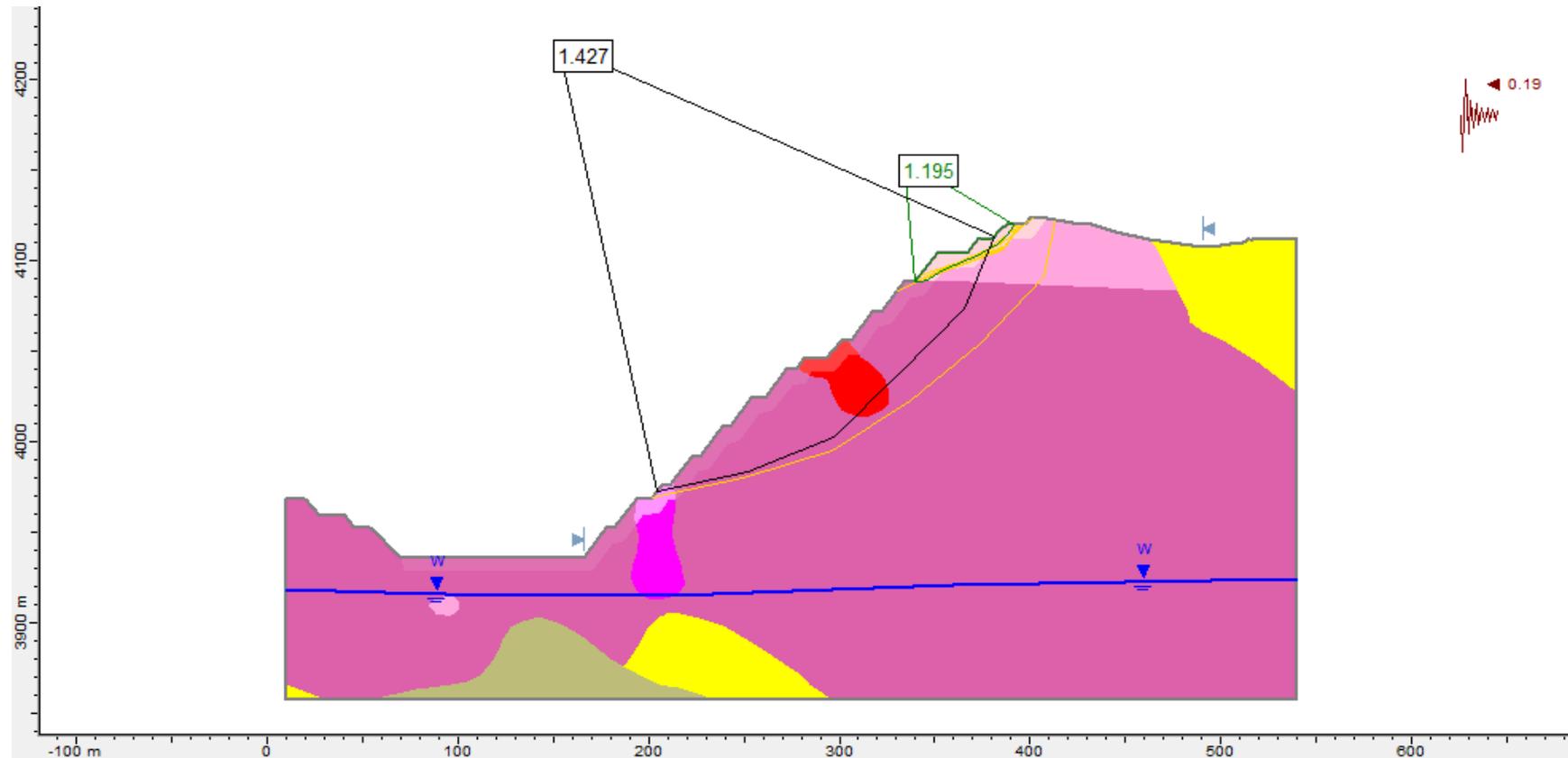
ESTABILIDAD FISICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

Análisis de estabilidad del Sector SD-2A Sección 5-5'

CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA NO DRENADA C.S. 0.19

SLIDE - 09

FECHA	REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silice Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silice Granular Moderada	21.7	25.6	32	15	279	44	97	38
SGC	Silice Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	-	-	-	-
PRO	Propilítico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silice Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silice Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica



Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

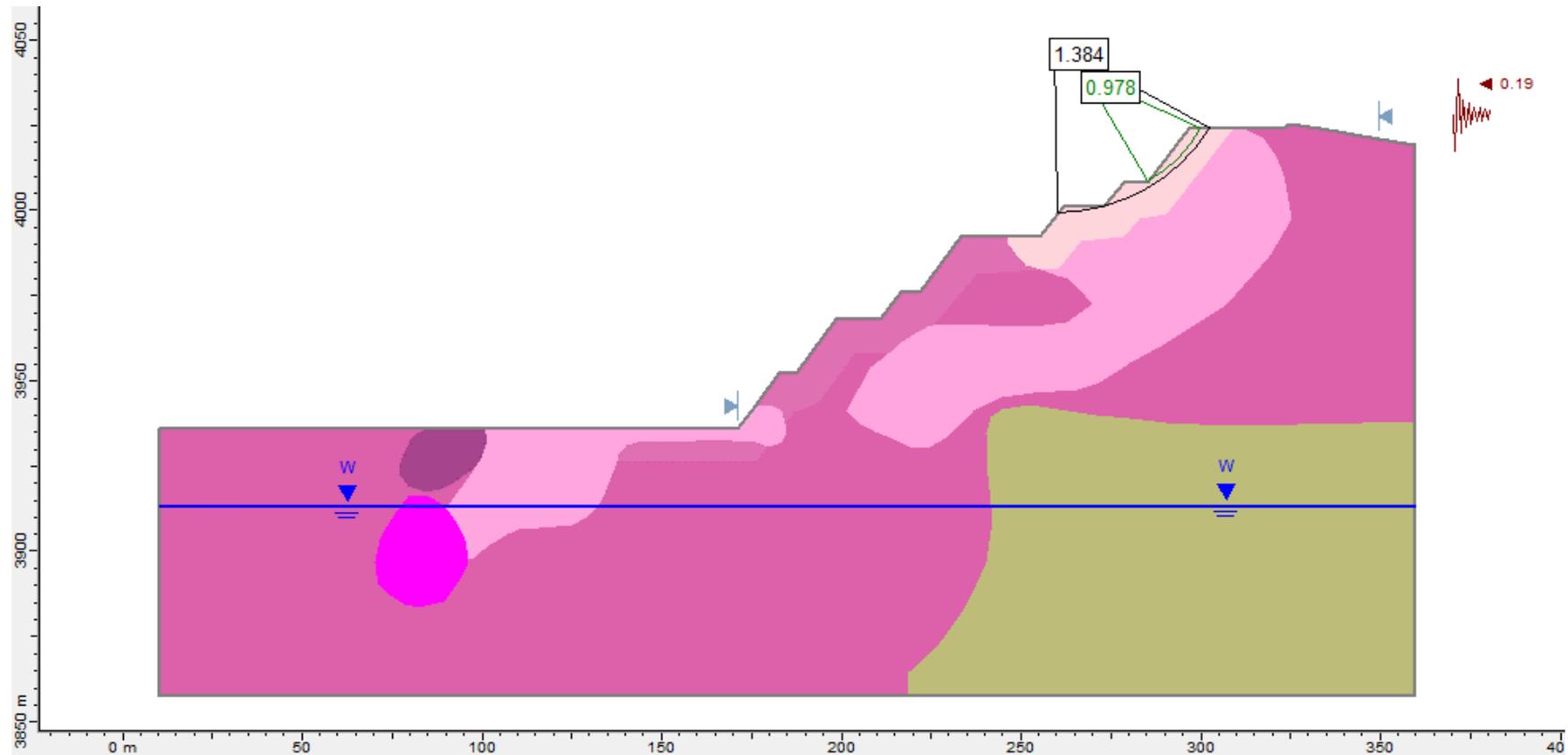
ESTABILIDAD FÍSICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

Análisis de estabilidad del Sector SD-2 Sección 2-2'

CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA NO DRENADA C.S. 0.19

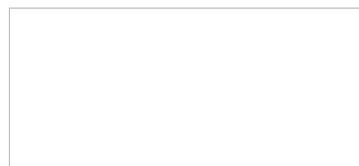
SLIDE - 13

FECHA	REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silice Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silice Granular Moderada	21.7	25.6	32	15	-	-	-	-
SGC	Silice Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	-	-	-	-
PRO	Propilítico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silice Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silice Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica



Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

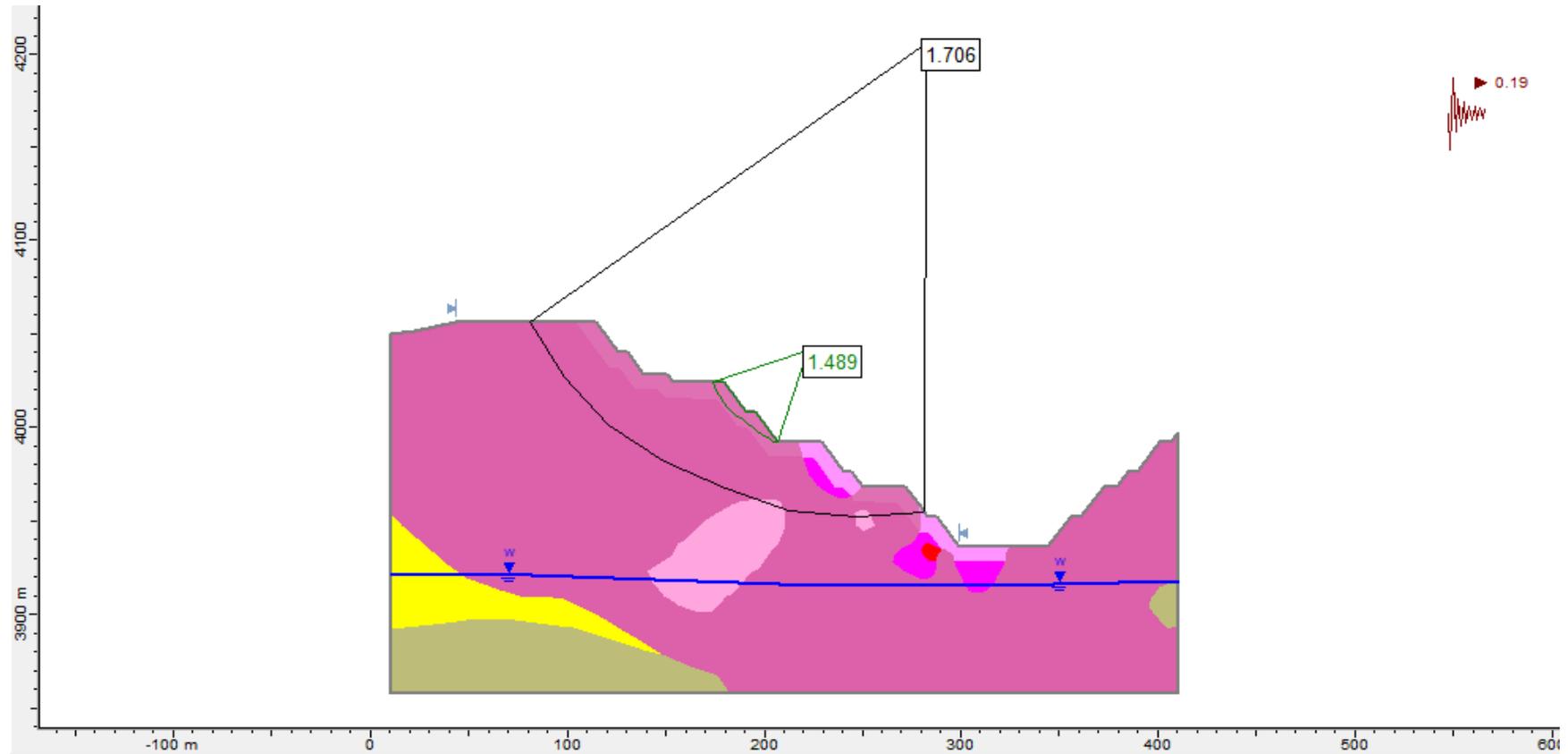
ESTABILIDAD FÍSICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

Análisis de estabilidad del Sector SD-3 Sección 1-1'

CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA NO DRENADA C.S. 0.19

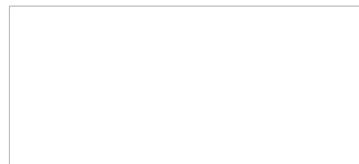
SLIDE - 17

	FECHA	REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silice Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silice Granular Moderada	21.7	15	26	12	215	35	86	37
SGC	Silice Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	440	51	123	40
PRO	Propilítico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silice Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silice Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica



Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

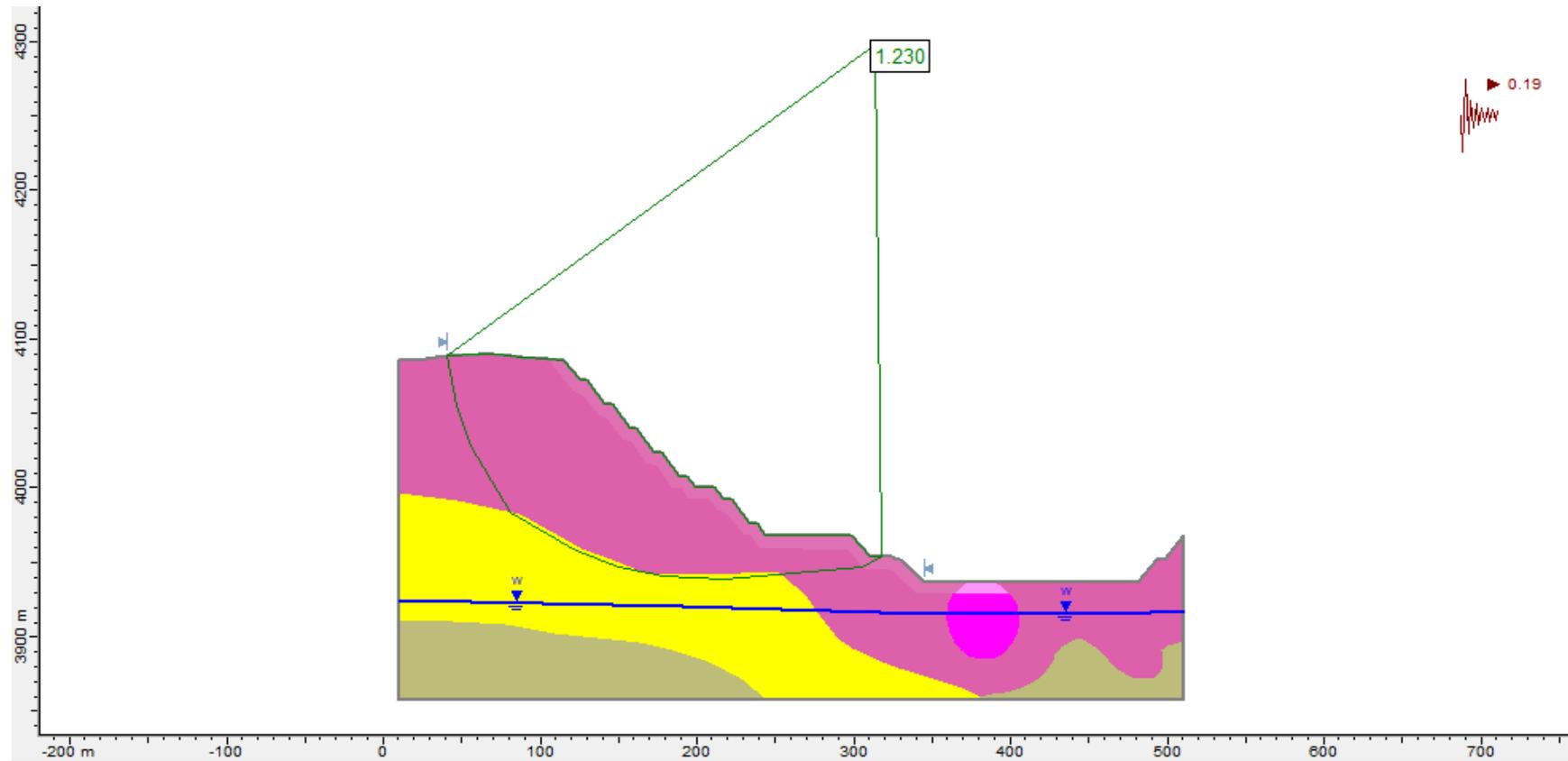
ESTABILIDAD FÍSICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

Análisis de estabilidad del Sector SD-4 Sección 3-3'

CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA NO DRENADA C.S. 0.19

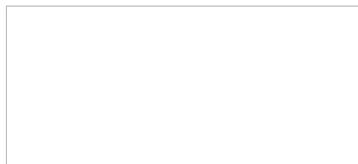
SLIDE - 21

FECHA	REV.



Tipo de Alteración		Peso Unitario (KN/m ³)	Resistencia Compresiva (MPa)	GSI	Constante mi	Masa Rocosa		Discontinuidad *	
Código	Nombre					C (kPa)	Ang Fric (°)	C (kPa)	Ang Fric (°)
RF	Roca Fresca-sana	24	120	49	20	-	-	-	-
SM	Silice Masiva	23.7	30.2	46	18	-	-	-	-
SGM	Silice Granular Moderada	21.7	38.4	32	15	279	44	97	38
SGC	Silice Granular Compacta	22.3	45.5	39	18	-	-	-	-
PRO	Propilítico	21.5	29.8	37	12	-	-	-	-
SGD	Silice Granular Deleznable	18.7	10	27	8	-	-	-	-
SC	Silice Clay	21.5	17	29	8	-	-	-	-
C	Clay	18	5	24	8	-	-	-	-

(*) valor de la cohesión y ángulo de fricción empleado en la función anisotrópica



Simbología:
 GSI : Índice de resistencia geológica
 C : cohesión
 Ang Fric : ángulo de fricción

APUMAYO

ESTABILIDAD FÍSICA DEL TAJO APUMAYO 1 - U.M. APUMAYO

Análisis de estabilidad del Sector SD-5 Sección 4-4'

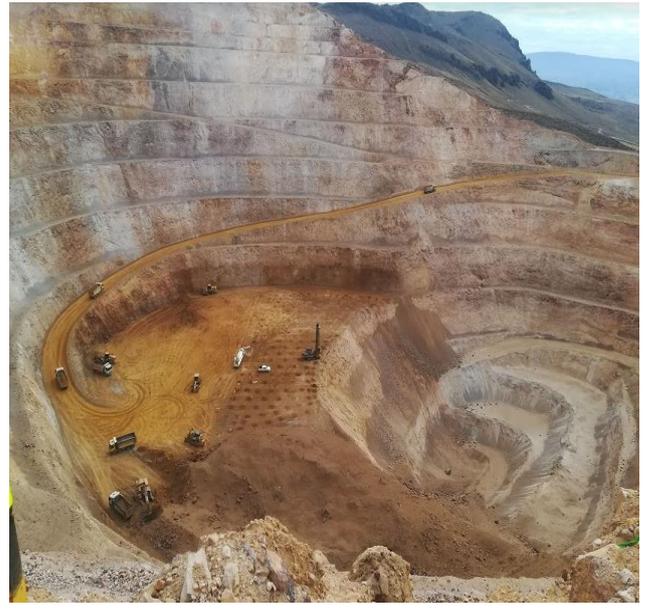
CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA NO DRENADA C.S. 0.19

SLIDE - 25

FECHA	REV.

ANEXO H: Registro

Fotográfico



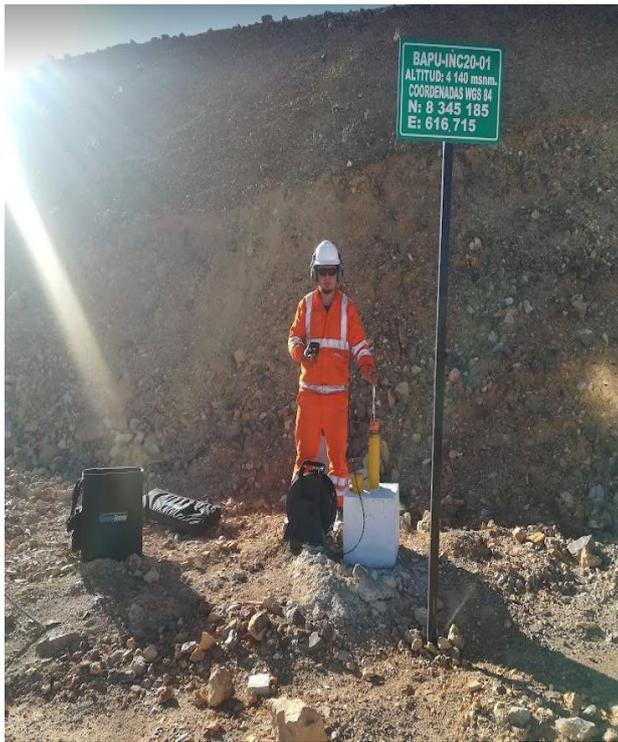
Fotografía N° 01: *Vista panorámica del Tajo Apumayo 1 (TIKA), durante la perforación y post voladura*



Fotografía N° 02: *Verificación de excavación de calicatas*



Fotografía N° 03: *Control de excavación de calicatas*



Fotografía N° 04: *Monitoreo geotécnico periódico*



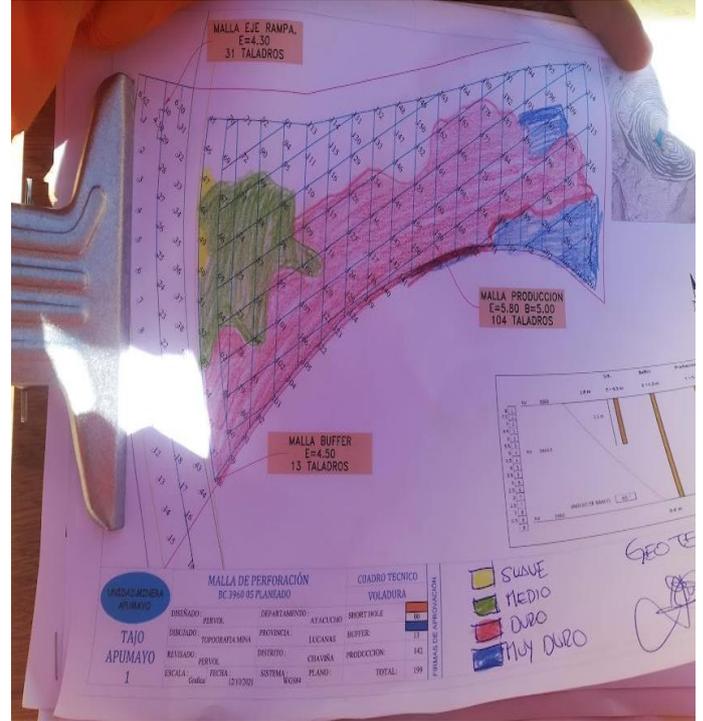
Fotografía N° 05: *Medición del nivel de agua freático (Piezómetro)*



Fotografía N° 06: *Control de perforaciones geotécnicas*



Fotografía N° 07: *Acarreo y rotulado de cajas con cores para el transporte a sala de logueo*



Fotografía N° 08: Mapeo geotécnico post perforaciones para colocación de materia explosivo

Fotografía N° 09: Modelo de mapeo geotécnico – in situ



Fotografía N° 10: Monitoreo geotécnico en las celdas de asentamiento e inclinómetros



Fotografía N° 11: Verificación de la habilitación adecuada para impermeabilizar el pad de lixiviación y posterior monitoreo mediante piezómetros de cuerda vibrante



Fotografía N° 12: Supervisión del control de vibración por voladura



Fotografía N° 13: Habilidad y recubrimiento de canales de coronación para un adecuado drenaje pluvial



Fotografía N° 14: *Acarro de material post voladura*



Fotografía N° 15: *Reducción de diámetro de bolonerías*



Fotografía N° 16: *Se aprecia el incendio provocado por los pobladores en los distintos componentes de la Unidad Minera*



Fotografía N° 17: *Los conflictos sociales en la actividad minera son el cuello de botella en la viabilidad de dichos proyectos, por lo que es crucial un adecuado manejo de RR.CC, de forma que no interfiera en el normal desempeño de las actividades productivas*

