



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA MINA
“MARÍA”, UBICADA EN EL SECTOR PIUNTZA, ZAMORA
CHINCHIPE.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS:

DIANA CAROLINA CHACÓN PIÑA

DAMARIS DIANEY PESANTEZ JARRO

Macas – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA MINA
“MARÍA” UBICADA EN EL SECTOR PIUNTZA, ZAMORA
CHINCHIPE.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS: DIANA CAROLINA CHACÓN PIÑA

DAMARIS DIANEY PESANTEZ JARRO

DIRECTOR: ING. MARCO ANTONIO MEJÍA FLORES MSc.

Macas – Ecuador

2023

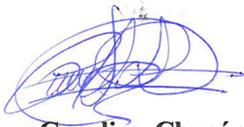
©2023, Diana Carolina Chacón Piña & Damaris Dianey Pesantez Jarro

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras Diana Carolina Chacón Piña & Damaris Dianey Pesantez Jarro, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 23 de mayo de 2023



Diana Carolina Chacón Piña

C.I: 140104031-4

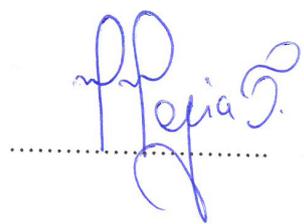
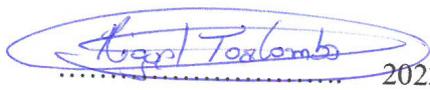


Damaris Dianey Pesantez Jarro

C.I: 140097781-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA MINA “MARÍA” UBICADA EN EL SECTOR PIUNTZA, ZAMORA CHINCHIPE**, realizado por las señoritas: **DIANA CAROLINA CHACÓN PIÑA y DAMARIS DIANEY PESANTEZ JARRO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Christian Adrián Ordoñez Guaycha PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023/05/23
Ing. Marco Antonio Mejía Flores DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023/05/23
Ing. Víctor Miguel Toalombo Vargas ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023/05/23

DEDICATORIA

La tesis se la dedico con gran amor y cariño a mis padres Julio Chacón y Zoila Piña por todo el apoyo otorgado desde el inicio hasta el fin de mis días de estudio universitario y por creer en mi capacidad, pasando momentos difíciles y que siempre supieron brindarme su comprensión, cariño y amor. A mi amada hija Isabela Reinozo por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

Diana

El presente trabajo se lo dedico a mis abuelos, Elena Jarro y Víctor Pesantez, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional generando el mayor apoyo con su cariño. A mi madre Mercy Pesantez que estuvo junto a mi durante los periodos académicos dándome ánimos para continuar hasta culminar la carrera y finalmente a mi hijo Sebastián Vera que ha sido mi inspiración por seguir adelante.

Damaris

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios y a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por cada día confiar y creer en nosotras y todas las expectativas. Agradecemos a los docentes de la carrera de minas que han sabido impartir en cada ciclo los conocimientos generando nuevos saberes, de manera especial a nuestro director que ha sabido brindar la ayuda necesaria para llevar a cabo el presente trabajo de integración curricular.

Diana & Damaris

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Antecedentes.....	2
1.1.1	<i>Generalidades del Cantón Zamora</i>	2
1.1.2	<i>Ubicación de la mina y acceso</i>	3
1.1.3	<i>Geología Regional</i>	3
1.1.4	<i>Geología a detalle</i>	4
1.1.4.1	<i>Depósitos Aluviales</i>	4
1.1.4.2	<i>Rocas Intrusivas</i>	4
1.1.5	<i>Clima y temperatura</i>	4
1.1.6	<i>Topografía</i>	5
1.1.7	<i>Mineralogía y Alteración</i>	6
1.1.8	<i>Geomorfología</i>	6
1.1.9	<i>Estructuras</i>	6
1.1.10	<i>Perfil litológico</i>	6
1.1.11	<i>Coordenadas significativas de la mina “María”</i>	7
1.2	Planteamiento del problema.....	8
1.3	Justificación.....	8
1.4	Objetivos.....	9
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	9
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	9

CAPITULO II

2	MARCO TEÓRICO	10
2.1	Referencias teóricas	10
2.1.1	<i>Caolín</i>	10
2.1.2	<i>Feldespatos</i>	10
2.1.3	<i>Factor de seguridad</i>	10
2.1.4	<i>Estabilidad de talud</i>	11
2.1.5	<i>Talud</i>	11
2.1.6	<i>SLIDE</i>	11
2.1.7	<i>AutoCAD</i>	11
2.2	Propiedades fisico-mecánicas	11
2.2.1	<i>Granulometría</i>	11
2.2.2	<i>Humedad Natural</i>	12
2.2.3	<i>Límites de Atterberg</i>	12
2.2.4	<i>Angulo de fricción</i>	12
2.2.5	<i>Cohesión</i>	12
2.2.6	<i>Peso específico</i>	12
2.2.7	<i>Triaxial de suelo</i>	12
2.3	Categorización de los movimientos de masa	12
2.3.1	<i>Flujos</i>	12
2.3.2	<i>Deslizamientos</i>	13
2.3.3	<i>Desprendimiento</i>	13
2.3.4	<i>Volcamiento</i>	13
2.4	Factores Influyentes en la inestabilidad	13
2.4.1	<i>Condiciones antrópicas</i>	13
2.4.2	<i>Pendiente Topográfica</i>	13
2.4.3	<i>Geometría del talud</i>	13
2.5	Métodos de análisis de inestabilidad de taludes	14
2.5.1	<i>Método de Fellenius</i>	14
2.5.2	<i>Método Janbu</i>	14
2.5.3	<i>Método de Bishop Simplificado</i>	14
2.5.4	<i>Método de Spencer</i>	15
2.5.5	<i>GLE/Morgenstern-Price</i>	15

CAPITULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	16
3.1	Tipo de investigación	16
3.2	Área de estudio	16
3.3	Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos	17
3.3.1	<i>Trabajo Preliminar</i>	17
3.3.2	<i>Trabajo en campo</i>	17
3.3.2.1	<i>Levantamiento Topográfico</i>	17
3.3.2.2	<i>Levantamiento geotécnico</i>	21
3.3.2.3	<i>Toma de muestras</i>	21
3.3.3	Fuentes de información	23
3.4	Procedimiento de recolección de datos	23
3.5	Análisis y procesamiento de datos	23
3.5.1	<i>Análisis geológico</i>	23
3.5.2	<i>Propiedades físico-mecánicas del talud</i>	24
3.5.3	<i>Análisis de Laboratorio</i>	25
3.5.3.1	<i>Equipos, materiales y procedimiento para el ensayo de compresión</i>	25
3.5.3.2	<i>Equipos, materiales y procedimiento para ensayos geotécnicos</i>	27
3.5.3.3	<i>Equipos, herramientas y proceso del ensayo de peso específico</i>	32
3.5.4	Métodos de estabilidad de talud	33
3.5.4.1	<i>Método de equilibrio limite (SPENCER/ GLE/Morgenstern-Price)</i>	34

CAPITULO IV

4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
4.1	Propiedades físico-mecánicas del Feldespato: MMP001	36
4.1.1	<i>Diagrama Esfuerzo-Deformación: Diaclasa 1</i>	36
4.1.2	<i>Diagrama Esfuerzo-Deformación: Diaclasa 2</i>	37
4.1.3	<i>Diagrama Esfuerzo-Deformación: Diaclasa 3</i>	38
4.1.4	<i>Competencia de la masa rocosa conformada por Feldespato</i>	39
4.2	Clasificación de suelo Mediante los Sistemas SUCS y AASHTO	42
4.2.1	<i>Resultados para la Muestra MMP002: Material de Transición</i>	42
4.2.1.1	<i>Humedad Natural, Límite Líquido e Índice de Plasticidad</i>	42
4.2.1.2	<i>Granulometría</i>	43
4.2.1.3	<i>Sistema De Clasificación SUCS</i>	44
4.2.1.4	<i>Sistema De Clasificación AASHTO</i>	45

4.2.2	Resultados para la Muestra MMP003: Caolín	46
4.2.2.1	<i>Humedad Natural</i>	46
4.2.2.2	<i>Límite Líquido</i>	47
4.2.2.3	<i>Límite Plástico</i>	48
4.2.2.4	<i>Índice de Plasticidad</i>	48
4.2.2.5	<i>Granulometría</i>	49
4.2.2.6	<i>Sistema de Clasificación SUCS</i>	50
4.2.2.7	<i>Sistema de Clasificación AASHTO</i>	52
4.2.3	Resultados para la muestra MMP004: Regolita	53
4.2.3.1	<i>Humedad Natural</i>	53
4.2.3.2	<i>Límite Líquido</i>	53
4.2.3.3	<i>Límite Plástico</i>	55
4.2.3.4	<i>Índice de Plasticidad</i>	55
4.2.3.5	<i>Granulometría</i>	56
4.2.3.6	<i>Sistema de Clasificación SUCS</i>	57
4.2.3.7	<i>Sistema de Clasificación AASHTO</i>	59
4.2.4	Comparativa entre SUCS y AASHTO	60
4.3	Resultados específicos para análisis de estabilidad en SLIDE	63
4.3.1	<i>Peso Específico</i>	63
4.3.2	<i>Ángulo de fricción y cohesión</i>	66
4.4	Métodos de Estabilidad de Talud	67
4.3.1	PERFIL 00	68
4.3.2	PERFIL 020	69
4.3.3	PERFIL 040	71
4.3.4	PERFIL 060	73
4.3.5	PERFIL 080	75
4.3.6	PERFIL 0100	77
4.3.7	PERFIL 0120	78
4.3.8	PERFIL 0140	80
4.3.9	PERFIL 0160	81
4.5	Métodos de Remediación	84
4.5.1	Cierre permanente del talud	86
4.5.2	Cierre progresivo del talud	88

CAPITULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1	Conclusiones	92
5.2	Recomendaciones	94

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Datos preliminares de la mina "María" ubicada en Piuntza, Zamora Chinchipe.	2
Tabla 1-2: Perfil Litológico de la mina "María" sector Piuntza, Zamora Chinchipe	6
Tabla 1-3: Coordenadas correspondientes al ingreso e instalaciones de la mina "María"	7
Tabla 1-4: Coordenadas correspondientes al frente de explotación de la mina "María"	7
Tabla 2-1: Principales Propiedades y características físico-mecánicas del Caolín	10
Tabla 3-1: Datos pertenecientes al área y perímetro del talud en análisis.....	18
Tabla 3-2: Datos correspondientes a la ubicación de las muestras representativas.....	22
Tabla 3-3: Ensayos de mecánica de suelos para clasificación SUCS y AASHTO	27
Tabla 3-4: Datos generales de la muestra MMP002 del material de transición	28
Tabla 3-5: Datos generales de la muestra MMP003 correspondiente al Caolín	28
Tabla 3-6: Datos generales de la muestra MMP004 correspondiente a la Regolita.....	29
Tabla 4-1: Propiedades Físico- mecánicas del Feldespato.....	36
Tabla 4-2: Bieniawski (1989) Rock Mass Rating: Calidad de la masa rocosa (Feldespato).....	42
Tabla 4-3: Datos para el cálculo de la humedad Natural del Material de Transición.....	43
Tabla 4-4: Datos para obtención de la granulometría del material de transición	43
Tabla 4-5: Sistema de Clasificación SUCS para suelos de granulometría gruesa.....	44
Tabla 4- 6: Sistema de Clasificación AASHTO para material granular y fino	45
Tabla 4-7: Humedad natural saturada correspondiente al caolín	47
Tabla 4- 8: Límite Líquido del caolín.....	47
Tabla 4-9: Límite plástico correspondiente al caolín.....	48
Tabla 4-10: Datos para obtención de la granulometría del caolín.....	49
Tabla 4-11: Sistema de Clasificación SUCS para suelos de granulometría fina.....	51
Tabla 4-12: Sistema de Clasificación AASHTO para material granular y fino	52
Tabla 4- 13: Humedad natural saturada correspondiente a la regolita	53
Tabla 4-14: Límite Líquido de la regolita	54
Tabla 4-15: Límite plástico correspondiente a la regolita.....	55
Tabla 4-16: Datos para obtención de la granulometría de la regolita	56
Tabla 4-17: Sistema de Clasificación SUCS para suelos de granulometría fina.....	58
Tabla 4-18: Sistema de Clasificación AASHTO para material granular y fino	59
Tabla 4-19: Comparativa entre los Sistemas SUCS y AASHTO	60
Tabla 4-20: Tabla del porcentaje de humedad del talud según su tipo de material.....	63
Tabla 4-21: Valores típicos de cohesión y ángulo de fricción de suelos y rocas	66
Tabla 4-22: Propiedades utilizadas en el software SLIDE	68
Tabla 4-23: Factores de seguridad obtenidos en los métodos.....	83

Tabla 4-24: Tabla de dimensiones de bermas según Protodyakonov.....85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Ubicación y acceso a la mina "María" en el sector piuntza.....	3
Ilustración 1-2: Topografía correspondiente a toda el área minera “María”	5
Ilustración 2-1: Esquema del análisis de estabilidad de taludes por el método de fellenius	14
Ilustración 2-2: Esquema estático del método de spencer para análisis de estabilidad	15
Ilustración 3-1: Mapa de ubicación del cantón Zamora	16
Ilustración 3-2: Foto aérea del área total de la mina “maría”	17
Ilustración 3-3: Equipo topográfico	18
Ilustración 3-4: Mapa del levantamiento topográfico del talud en análisis	19
Ilustración 3-5: Perfiles transversales del talud en análisis	20
Ilustración 3-6: Mapa temático con la ubicación de la toma de muestras	21
Ilustración 3-7: Estratigrafía del talud de estudio correspondiente a la mina “María”	22
Ilustración 3-8: Columna estratigráfica sin escala perteneciente al talud.....	24
Ilustración 3-9: Cortes de las rocas de feldespatos extraídas del talud	26
Ilustración 3-10: Máquina universal	27
Ilustración 3-11: Mallas utilizadas para el tamizado	28
Ilustración 3-12: Selección de la muestra	29
Ilustración 3-13: Muestra para límite líquido	31
Ilustración 3-14: Muestra saturada	32
Ilustración 3-15: Materiales para peso específico	33
Ilustración 3-16: Métodos de cálculo de estabilidad de taludes	34
Ilustración 4-1: Diagrama de relación esfuerzo - deformación de la diaclasa 1	36
Ilustración 4-2: Diagrama de relación esfuerzo - deformación de la diaclasa 2	37
Ilustración 4-3: Diagrama de relación esfuerzo -deformación de la diaclasa 3	38
Ilustración 4-4: Clasificación geomecánica de Bieniawski o RMR	39
Ilustración 4-5: Curva granulométrica del material de transición	44
Ilustración 4-6: Gráfica para la obtención del límite líquido del caolín	48
Ilustración 4-7: Curva granulométrica correspondiente al caolín	50
Ilustración 4-8: Carta de plasticidad correspondiente al caolín.....	50
Ilustración 4-9: Gráfica para la obtención del límite líquido de la regolita	54
Ilustración 4-10: Curva granulométrica correspondiente a la regolita	57
Ilustración 4-11: Carta de plasticidad correspondiente a la regolita	57
Ilustración 4-12: Porcentaje de humedad natural correspondiente a las capas litológicas.....	62
Ilustración 4-13: Diseño de talud a base del perfil 00.....	68
Ilustración 4-14: Análisis de estabilidad del perfil 00.....	69

Ilustración 4-15: Diseño de talud a base del perfil 020.....	69
Ilustración 4-16: Análisis de estabilidad del perfil 020.....	70
Ilustración 4-17: Diseño de talud a base del perfil 040.....	71
Ilustración 4-18: Análisis de estabilidad del perfil 040.....	72
Ilustración 4-19: Diseño de talud a base del perfil 060.....	73
Ilustración 4-20: Análisis de estabilidad del perfil 060.....	74
Ilustración 4-21: Diseño de talud a base del perfil 080.....	75
Ilustración 4-22: Análisis de estabilidad del perfil 080.....	76
Ilustración 4-23: Diseño de talud a base del perfil 0100.....	77
Ilustración 4-24: Análisis de estabilidad del perfil 0100.....	77
Ilustración 4-25: Diseño de talud a base del perfil 0120.....	78
Ilustración 4-26: Análisis de estabilidad del perfil 0120.....	79
Ilustración 4-27: Diseño de talud a base del perfil 0140.....	80
Ilustración 4-28: Análisis de estabilidad del perfil 0140.....	81
Ilustración 4-29: Diseño de talud a base del perfil 0160.....	81
Ilustración 4-30: Análisis de estabilidad del perfil 0160.....	82
Ilustración 4-31: Propuesta de dimensiones para el cierre permanente de talud.	86
Ilustración 4-32: Talud con el método de remediación de cierre permanente de talud.	87
Ilustración 4-33: Análisis de estabilidad en el talud	88
Ilustración 4-34: Propuesta de mediciones en el talud de cierre progresivo de talud.	89
Ilustración 4-35: Talud con el método de remediación de cierre progresivo	90
Ilustración 4-36: Análisis de estabilidad en el talud	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: VALORES DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA DE LA DIACLASA 1

ANEXO B: VALORES DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA DE LA DIACLASA 2

ANEXO C: VALORES DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA DE LA DIACLASA 3

ANEXO D: ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO DEL CAOLÍN

ANEXO E: ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO DE REGOLITA

RESUMEN

El presente trabajo ha tenido como finalidad realizar el análisis de la estabilidad de taludes de la mina “MARÍA”, situada en el cantón Zamora, para brindar las medidas de remediación necesarias a través de la valoración de ensayos geotécnicos y de la examinación de los mismos en pro de la continuidad de labores mineras que se enfatiza en la extracción de material para la fabricación de cerámica. De acuerdo con el análisis se han considerado dos taludes principales, de los cuales uno de ellos, según lo observado ha presentado inestabilidad, dado que existe deslizamiento de suelo. Inicialmente se ha realizado el levantamiento topográfico respectivo de la zona a detalle, procediendo con la toma de muestras necesarias previas a realizar los ensayos respectivos para obtener las propiedades de los suelos y rocas del talud, tomando en cuenta que la parte rocosa no corresponde a un porcentaje representativo, se ha considerado un talud de suelo. Los diferentes ensayos han permitido realizar una caracterización física-mecánica de los distintos materiales que se presentan en el talud, esto mediante las clasificaciones SUCS y AASHTO, además de los correspondientes ensayos triaxiales para suelos y compresión para rocas. Para el análisis de estabilidad, se ha implementado el software SLIDE, tomando como referencia a los métodos SPENCER y GLE/Morgenstern-Price y también se ha incluido el software AUTOCAD, mediante los cuales se han obtenido los Factores de Seguridad de cada perfil ingresado, según el factor de seguridad se trataba de un talud inestable en estado de ruptura, por lo que se ha procedido a elaborar dos modelos de remediación mediante Protodyakonov tanto para el cierre definitivo como para un cierre progresivo de talud, aumentando así el factor de seguridad.

Palabras clave: <ESTABILIDAD>, <TALUD>, <FACTOR DE SEGURIDAD>, <CLASIFICACIÓN>, <REMEDIACIÓN>.



DBRA
Ing. Cristian Castillo

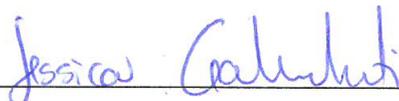


#1009-UPT-DBRA-2023

ABSTRACT

This study aimed to analyze the slope stability of the "MARÍA" mine, located in Zamora canton, in order to provide the necessary remediation measures through the evaluation of geotechnical tests and the examination of the same for the continuity of mining work, which emphasizes the extraction of material for the manufacture of ceramics. According to the analysis, two main slopes have been considered and one of them, based on what has been observed, has presented instability, as a consequence of soil sliding. At first, the respective topographic survey of the area has been carried out in detail, proceeding with the taking of the necessary samples prior to carrying out the respective tests to obtain the properties of the soil and rocks of the slope; taking into account that the rocky part does not correspond to a representative percentage, it has been considered a soil slope. The different tests have allowed a physical-mechanical characterization of the different materials present in the slope, by means of the SUCS and AASHTO classifications, in addition to the corresponding triaxial tests for soils and compression for rocks. For the stability analysis, the SLIDE software has been implemented, taking as reference the SPENCER and GLE/Morgenstern-Price methods and the AUTOCAD software has also been included, by means of which the Safety Factors of each entered profile have been obtained, according to the safety factor it was an unstable slope in a state of rupture, so two remediation models have been elaborated by means of Protodyakonov both for the definitive closure and for a progressive closure of slope, thus increasing the safety factor.

Palabras clave: <STABILITY>, <SLOPE>, <SAFETY FACTORS>, <CLASSIFICATION>, <REMEDICATION>.



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI: 175646848-2

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país que posee recursos no metalíferos, donde los principales yacimientos se encuentran ubicados en las regiones Costera y Austral, siendo la segunda, la región más importante en el desarrollo de la cerámica, las actividades mineras en el campo de explotación de no metales son de importancia económica debido a los beneficios que aportan al desarrollo del país (Cornejo, 2016, p. 2).

En el cantón Zamora, en la mina María se realiza la extracción de caolín y feldespatos, minerales que por sus características son idóneos para la industria de cerámica, pero, así como es una alta fuente de material caolinítico y feldespático, este yacimiento tiene la particularidad de estar asentado en un terreno con densa presencia de fallas y también por el tipo de suelo complejo que lo constituye le torna una zona muy inestable. Por ello es necesario llevar a cabo un análisis sistemático sobre la estabilidad actual de las zonas mineras. (Coordinación General de Minería, 2015, p. 1).

Al elaborar un análisis de estabilidad de taludes se requiere de manejo conceptual tanto de geotecnia, geológica, geomecánica, minería y ciertas técnicas para los ensayos necesarios in situ, también se debe contar con los costos necesarios que se involucran como costo de tiempo, costo personal, los costos de equipos, entre otros. El conocer de manera adecuada la estabilidad con la que cuenta la mina previenen accidentes en los taludes que pueden ser artificiales o naturales, pues en cualquiera de los dos casos existe probabilidad de falla. (Merchán Pesántez y Sanchez, 2013, p. 13).

CAPITULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

FUENLABRADA CIA. LTDA. es una empresa nacional que forma parte del grupo GRAIMAN, se encuentra realizando labores de explotación de Materiales no Metálicos en el Área Minera “María” código 500712 ubicada en la Provincia de Zamora Chinchipe; la misma que es considerada como una concesión principal para la extracción de materia prima que aporta en la producción de cerámica y porcelanato ya que posee concentraciones de Caolín y Feldespato; las actividades que se realizan en esta área: se encuentra la exploración, destape y explotación. El trabajo de extracción se realiza desde la cota más alta con maquinaria pesada aplicando perforación y voladura al alcanzar una cota baja donde el material se presenta en consolidado.

Datos

Tabla 1-1: Datos preliminares de la mina "María" ubicada en Piuntza, Zamora Chinchipe

Nombre de la concesión	MARIA
Código Catastral	500712
Titular	Fuenlabrada CIA. LTDA
Fase	Exploración – Explotación
Provincia	Zamora Chinchipe
Producto de interés	Feldespato

Fuente: Fuenlabrada Cia. Ltda., 2023.

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

1.1.1 Generalidades del Cantón Zamora

El cantón Zamora se encuentra ubicado en la zona sur de la región Amazónica, es conocida como la capital minera del país, cuenta con una superficie de 1876 Km², una altitud de 899 msnm. El cantón Zamora, es conocido por ser uno de los primeros cantones y uno con los de mayor extensión territorial en la provincia de Zamora Chinchipe (GAD Municipal de Zamora, 2021, pp. 8-9).

1.1.2 Ubicación de la mina y acceso

El área minera “María” código 500712 de la empresa FUENLABRADA CIA. LTDA. Tiene su localización en el sur oriental de Ecuador, en el sector Piuntza, Parroquia Nuestra Señora De Guadalupe, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe.

En cuanto al acceso como primer punto se encuentra una vía de primer orden que son aproximadamente 10 km de Zamora hasta llegar a Piuntza para culminar con una vía de tercer orden de aproximadamente 5 km hasta llegar al área concesionada.

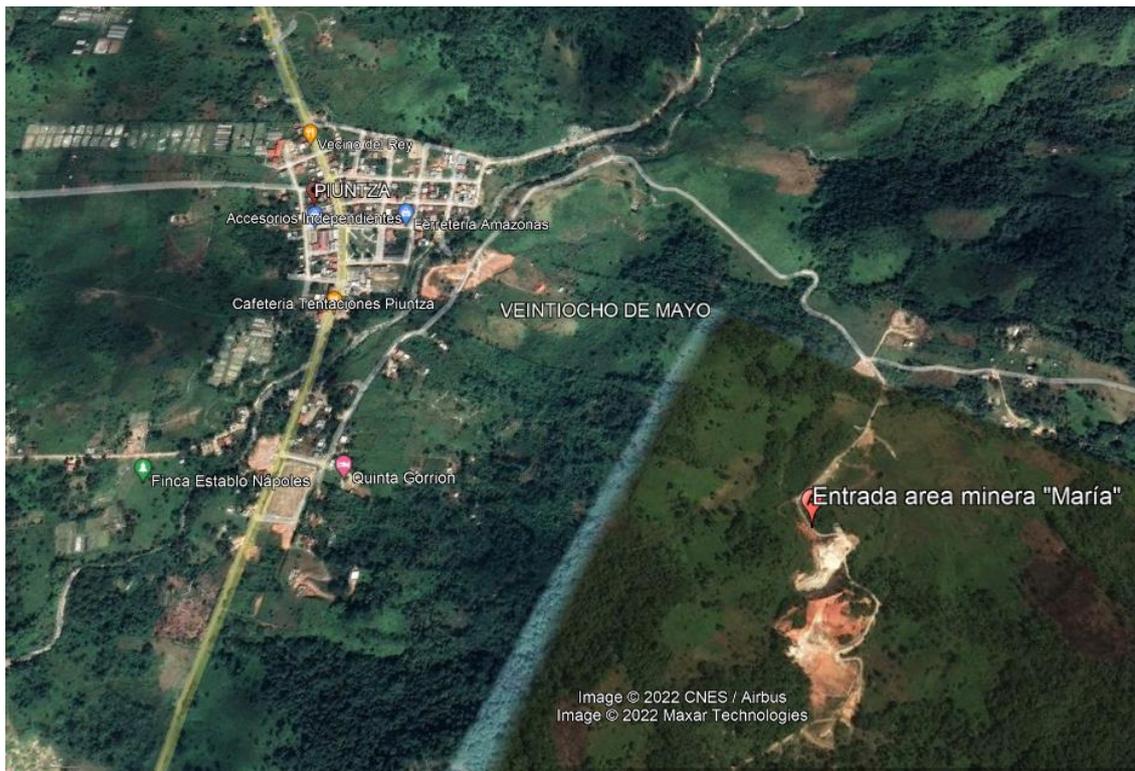


Ilustración 1-1: Ubicación y acceso a la mina "María" en el sector Piuntza

Fuente: Google Earth Pro, 2023

1.1.3 Geología Regional

El Área Minera “María” código 500712 se encuentra ubicada en terrenos lito-tectónicos perteneciente a la cordillera Sub-Andina que corresponde a la jurisdicción de Zamora de formaciones Paleozoico a Cretácico Medio, donde se puede observar volcanismo continental, dominada por granodioritas de hornblenda y presencia de diques aplíticos.

1.1.4 Geología a detalle

1.1.4.1 Depósitos Aluviales

Forman terrazas auríferas en la parte baja, asociadas al río Yacuambi, constituidas por limo, arena y grava de poca consistencia, sobre una de estas terrazas, se encuentra asentada la población de Piuntza, cercana al área “María”.

1.1.4.2 Rocas Intrusivas

Toda el área del Proyecto se encuentra incluida dentro del Intrusivo Batolítico de Zamora, fechado en el Jurásico, el cual está compuesto por un conjunto de rocas graníticas, variables hasta granodioritas orbléndicas de grano grueso a medio, también se encuentran diques de roca aplítica o riolítica de color claro y grano fino.

1.1.5 Clima y temperatura

El cantón Zamora es parte de la región natural de la Amazonía, por lo cual tiene un clima tropical húmedo, caracterizado por sus temperaturas cálidas, elevadas precipitaciones y humedad. Las temperaturas en el cantón varían desde los 8 grados Celsius hasta los 22 grados en promedio en las zonas más calientes (GAD Municipal de Zamora, 2021, p. 107).

1.1.6 Topografía

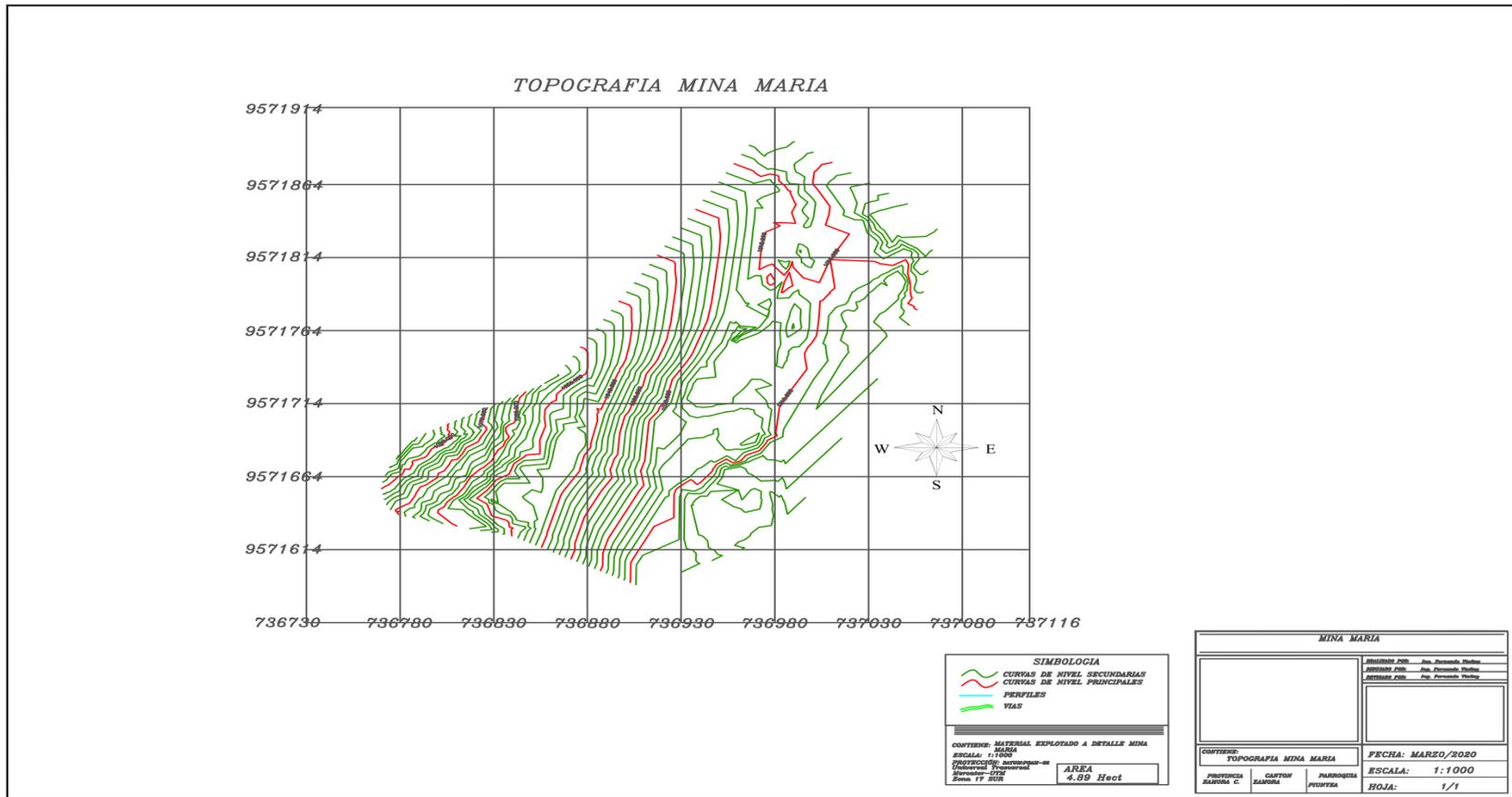


Ilustración 1-2: Topografía correspondiente a toda el área minera “María”

Fuente: Fuenlabrada Cia. Ltda., 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

1.1.7 Mineralogía y Alteración

Dentro del área investigada, se encuentran rocas volcánicas claras de grano fino, que, en ciertas partes, se vuelven andesíticas, las rocas claras, son riolitas, que superficialmente, han sufrido una intensa meteorización, que ha ocasionado la caolinización y lixiviación de los feldespatos, originando una potente capa de caolín de color rojo y blanco, que se encuentra sobrescribiendo a la roca de fondo, aumentando la intensidad de la meteorización desde abajo hacia arriba.

1.1.8 Geomorfología

Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra dispuesta en una zona que en sus alrededores existen una zona montañosa con relieve irregular y pendientes abruptas, formando pequeños riachuelos y valles profundos en "V" la altimetría regional varía entre 1600 y 2300 m.s.n.m., y dentro de la zona de concesión varía de entre 1000m.s.n.m. y 1075 m.s.n.m. a la parte noreste de la concesión predominan relieves en estado natural intacto.

1.1.9 Estructuras

De acuerdo con el mapa realizado por prodeminca en el año 2000, se puede apreciar que el principal sistema estructural en la zona es fallas de dirección N-S las cuales limitan a manera de contacto a las litologías y ponen en evidencia las rocas volcánicas y vulcano-sedimentarias de la unidad Piuntza (triásico medio a tardío), con las rocas intrusivas del batolito de Zamora (jurásico temprano).

1.1.10 Perfil litológico

Tabla 1-2: Perfil Litológico de la mina "María" sector Piuntza, Zamora Chinchipe

0.80 m. de suelo vegetal de color oscuro; con abundantes raíces de plantas.
Caolín de color rojo (ladrillo) de potencia variable, siendo nulo o mínimo por lo general en las partes bajas y potentes (7 m), en las crestas de las lomas.
Caolín de color blanco muy homogéneo y con poquísima contaminación, que igualmente presenta variaciones a lo largo y ancho del yacimiento, registrándose potencias máximo de hasta 12m.
Roca feldespática riolítica de color blanco, muy fragmentada en el nivel superior y más compacta hacia el fondo, en donde se registra un incremento en el contenido de pirolusita.

Fuente: Fuenlabrada Cia. Ltda, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

1.1.11 Coordenadas significativas de la mina "María"

Tabla 1-3: Coordenadas correspondientes al ingreso e instalaciones de la mina "María"

Punto	SISTEMA WGS 84	
	Longitud	Latitud
P.P.	736650	9571535
1	736750	9571535
2	736850	9571285
3	736650	9571285

Fuente: Fuenlabrada Cia. Ltda., 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Tabla 1-4: Coordenadas correspondientes al frente de explotación de la mina "María"

Punto	SISTEMA WGS 84	
	Longitud	Latitud
P.P.	736850	9571285
1	736650	9571585
2	736600	9571235
3	736710	9571119

Fuente: Fuenlabrada Cia. Ltda., 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

1.2 Planteamiento del problema

Contemplando que la mina “María” código 500712 es una cantera que posee concentración de caolín y feldespato y utiliza el método de explotación por bancos descendentes para la extracción de materia prima que aporta a la producción de cerámica y porcelanato, se ha realizado un estudio del lapso de Minado que ha desarrollado en el transcurso de los años, con la que se ha determinado la necesidad de un estudio de suelo en las actividades de explotación con el motivo de fortalecer la estabilidad de los taludes más débiles a las zonas de su actividad minera.

Por lo que surge la importancia de aplicar una alternativa en la estabilidad de talud que pretende dar una solución tanto a los problemas relacionados al factor de seguridad de dicho talud, los fenómenos de inestabilidad y sobre todo para adecuar el terreno con el que se continuará la extracción de la materia prima.

Muchas empresas mineras requieren alcanzar excavaciones a grandes alturas, por la exigencia de obtener el mayor beneficio económico en la extracción del producto, a medida que las excavaciones aumentan estas son acreedoras a que la inestabilidad del terreno incremente, por ello, disminuir los riesgos en la mina solventará y mejorará el beneficio económico lo que permitirá la continuidad del proyecto minero.

1.3 Justificación

Ecuador es un país donde existe variación climática constante, específicamente en zonas orientales, por lo que genera erosión en los suelos a causa de exceso de lluvias que provocan que el terreno sea inestable, y mucho más cuando sus suelos están formados por materiales sueltos y no compactos como sería en el caso del terreno en la Amazonía, esto sumado a la cantidad de fallas activas que se encuentran en la zona a analizar implica que la explotación minera en estos terrenos influye de forma directa con la estabilidad de sus taludes.

En Zamora Chinchipe existe una variedad de material no metálico que es fundamental para el sector industrial de cerámica, específicamente la mina “María”, ubicada en Cantón Zamora, sector Piuntza, cuenta con el material idóneo para la fabricación de cerámica a nivel nacional, al estar ubicada en una zona donde el clima es imprescindible, suele presentarse precipitaciones constantes y tomando en cuenta otros factores como la meteorización, erosión, etc., que generan una inestabilidad de talud considerable, es fundamental dicha estabilidad para la continuidad de las operaciones mineras resguardando la producción planificada, al contar con taludes en óptimas condiciones se garantiza también la seguridad de los trabajadores y de la maquinaria e instalaciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar la estabilidad de talud en la mina “María” Ubicada en el sector Piuntza mediante la valorización de ensayos que servirán para obtener modelos de selección de métodos de estabilidad.

1.4.2 Objetivos Específicos

Determinar los factores geotécnicos de talud mediante el resultado de los ensayos necesarios para conocer el estado la incidencia de estos.

Examinar las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelo por medio de caracterizaciones para interpretar el estado actual del talud.

Valorar los ensayos geotécnicos realizados en el talud para conocer las propiedades del suelo y rocas.

Seleccionar métodos de estabilidad de talud que aumenten el Factor de Seguridad para seguir realizando labores mineras.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Referencias teóricas

2.1.1 Caolín

El caolín se considera un material no metálico y es un silicato de aluminio hidratado que es el principal producto de descomposición del feldespato. Es uno de los minerales arcillosos más importantes. Su estructura y composición son fundamentales ya que controla las propiedades físicas y químicas que son cruciales para determinar muchos de sus usos industriales (Hernández y Olvera, 2014, pp. 1-2).

Tabla 2-1: Principales Propiedades y características físico-mecánicas del Caolín

COLOR	BLANCO, GRIS. AMARILLENTO, ROJO.
ASPECTO	UNTUOSO AL TACTO
BRILLO	TERROSO MATE O NACARADO CUANDO ES CRISTALINO
RAYA	BLANCA
DENSIDAD	2,40 – 2,64 g/cm ³
DUREZA	2 – 2,5 mohs

Fuente: Bartolomé, 2011

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023.

2.1.2 Feldespato

El feldespato es el principal componente del granito, que se encuentra en algunas rocas sedimentarias y metamórficas, pero se extrae principalmente de pegmatita. Ecuador tiene siete canteras de feldespato. Las áreas mineras se concentran en la Cuenca de Biblian Azogues y la vertiente oriental de la Cordillera Real en Zamora Chinchipe (Cornejo, 2016, p. 9).

2.1.3 Factor de seguridad

Es importante utilizar el factor de seguridad para determinar la estabilidad y seguridad de las pendientes. Este factor es el valor mínimo para que el talud se considere estable y seguro. Generalmente se conoce como la relación entre la resistencia y el trabajo (Merchán et al., 2013, p.13).

2.1.4 Estabilidad de talud

La estabilidad se entiende como la seguridad del terreno frente a fallas y movimientos. Como primera medida, se debe definir un criterio de estabilidad de taludes. Esto puede entenderse simplemente como poder decir la pendiente adecuada de una zanja o relleno en un momento determinado. En la mayoría de los casos, el mejor ajuste es el más firme que pueda sostenerlo durante el tiempo requerido sin caerse. Este es el meollo del asunto y el motivo del estudio (De Matteis, 2003, p. 4).

2.1.5 Talud

Se denomina talud a la superficie inclinada, con respecto a la horizontal sobre el que se aplica el movimiento de tierras de manera permanente o temporal. Pueden ser artificiales, es decir que fueron construidas por el hombre o de la naturaleza. Así mismo, puede ser suelo, roca o mezclas, y se diferencian en su forma de estudio (Valiente et al., 2016, p. 50).

2.1.6 SLIDE

Para aplicar cada método se prefirió el usar el programa SLIDE, uno de los programas más utilizados en la estabilización de taludes, este software utiliza principalmente el método de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad. Es aplicado para la minería y para cualquier tipo de obras civiles, ayuda principalmente a la evaluación de problemáticas geotécnicas que se podrían presentar en diferentes escenarios como taludes, terraplenes, presas, edificaciones, entre otros (Redacción, 2016, párr. 2).

2.1.7 AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora en el cual se puede realizar trabajos creando dibujos precisos en 2D y 3D de ingeniería, apoyan a diferentes tipos de profesionales tanto arquitectos, ingenieros y de construcción (AUTODESK, 2023, párr. 1).

2.2 Propiedades físico-mecánicas

2.2.1 Granulometría

Cuando nos referimos a granulometría se entiende que es un parámetro y una propiedad del suelo que se encuentra relacionada directamente con el comportamiento del material que compone el suelo en sí, tiene una especial influencia sobre la retención y movimiento de agua, aireación, retención y disponibilidad de los nutrientes y erosionabilidad (Gabriels y Lobo, 2006, pp. 40-41).

2.2.2 Humedad Natural

La humedad natural es considerada como una propiedad física del suelo que es de utilidad en la caracterización de tipo de material, se basa en la obtención de la cantidad de agua que se encuentra presente (Blaur, 2008, párr. 3).

2.2.3 Límites de Atterberg

La obtención del límite plástico, índice de plasticidad y límite líquido del material que conforma el suelo son utilizados de forma individual o de manera conjunta con otras propiedades presentes en el suelo, se puede correlacionar a ciertas propiedades tales como la compresibilidad, permeabilidad, compactación, expansión y resistencia (Leal y Gámez, 2017, p. 27).

2.2.4 Angulo de fricción

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física, depende de varios factores, entre ellos se encuentra el tamaño de grano, forma de granos distribución y densidad de tamaños (Estrada y Soberanis, 2014, p.29).

2.2.5 Cohesión

Se refiere a la atracción existente entre las partículas que conforman el suelo, la misma que es originada por fuerzas moleculares y las membranas o películas de agua, la cohesión está relacionada directamente con el contenido de humedad. La cohesión se puede medir en kg/cm². Los suelos arcillosos tienen alta de 0.25 kg/cm² a 1.5 kg/cm², o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula (Estevez, 2017, p. 2).

2.2.6 Peso específico

Se Define al peso específico de una sustancia, como la relación entre el peso de esta y su volumen, partiendo de esta definición se deduce que el peso específico de una sustancia es igual al producto de su densidad por la gravedad (Chuiza, 2015, p. 5).

2.2.7 Triaxial de suelo

El ensayo de compresión triaxial es el más usado para determinar los parámetros de resistencia a cortante del suelo y las características de esfuerzo-deformación (Rodas y Torres, 2015, p. 33).

2.3 Categorización de los movimientos de masa

2.3.1 Flujos

El flujo es un movimiento continuo que es difícil de observar porque los planos de corte son muy próximos y de corta duración. El comportamiento del flujo es muy similar al de los fluidos

viscosos. Entonces, la distribución de velocidades no es uniforme y los lóbulos se forman debido al dominio del movimiento entre partículas (Aguilar et al., 2020, p. 27).

2.3.2 Deslizamientos

Se entiende como deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo que se encuentra situado debajo de un talud, resultando un movimiento hacia abajo y fuera de toda la masa componente que forma parte del talud. Los deslizamientos pueden generarse de distintas formas, por lo tanto, se pueden presentar manera rápida como también lenta. Generalmente se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud (De Matteis, 2003, p. 5).

2.3.3 Desprendimiento

Un desprendimiento de tierra es el movimiento en caída libre de varios materiales como rocas, escombros o tierra. Este tipo de movimiento es causado por el desprendimiento de material que puede rebotar, rodar, deslizarse por una superficie inclinada o fluir por una pendiente (Copons, 2007; citado en Aguilar et al., 2020, p. 23).

2.3.4 Volcamiento

Los vuelcos son columnas rocosas, o de tierras, que muestran un movimiento de rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad (Cruden, y Varnes, 1958, p. 27).

2.4 Factores Inflyentes en la inestabilidad

2.4.1 Condiciones antrópicas

Son aquellas condiciones que son de designación relativa al ser humano, se refiere a las modificaciones que sufre lo natural por causa de las acciones de las personas (Perez, 2020, párr. 2).

2.4.2 Pendiente Topográfica

Es la inclinación que existe en una superficie de terreno con relación al eje de las abscisas o también llamado eje x que representa el suelo (Villaroel, 2016, p.2).

2.4.3 Geometría del talud

La geometría del talud hace referencia a la determinación de los ángulos tanto individuales como globales, las dimensiones de las bermas y del banco (Turpo, 2018, p. 5).

2.5 Métodos de análisis de inestabilidad de taludes

2.5.1 Método de Fellenius

El método está basado en asumir la superficie de falla circulares en donde la masa de suelo que se encuentra dentro de esta superficie de rotura es dividida en varias dovelas verticales para obtener aquellas fuerzas que están actuando y las resultantes para cada una de ellas, se procede a la sumatoria de todos los momentos obtenidos con relación al círculo producido por estas fuerzas y se obtiene el Factor de Seguridad. Este método va a satisfacer simplemente a el equilibrio de momentos, pero no al de fuerzas, los análisis se pueden realizar de forma manual o a base de un computador, pero es necesario saber que es un método con baja precisión a comparación del resto de los métodos. Para encontrar el factor de seguridad mínimo dentro del talud de estudio se debe realizar varios intentos reubicando el centro del círculo de falla (Rodríguez y Sanhueza, 2013, p.5).

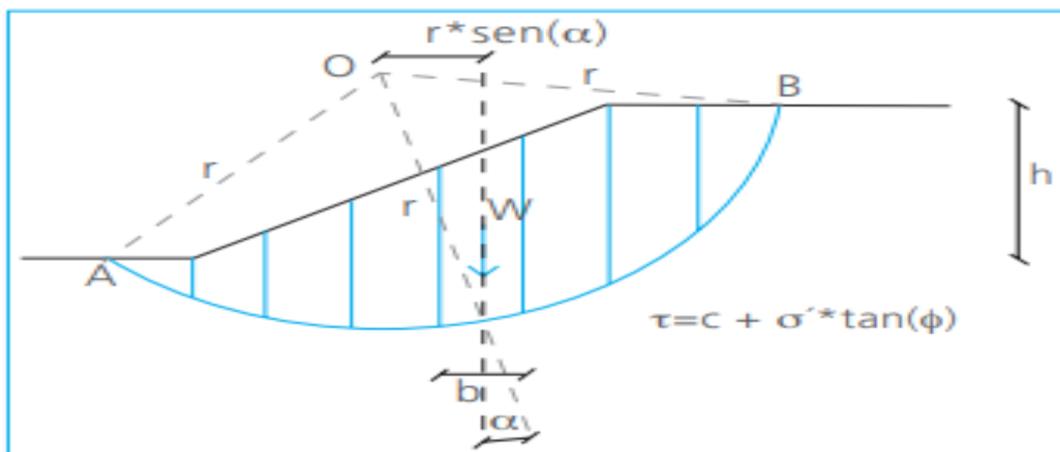


Ilustración 2-1: Esquema del análisis de estabilidad de taludes por el método de Fellenius

Fuente: Rodríguez et al., 2013

2.5.2 Método Janbu

A diferencia del método Fellenius este método considera las fuerzas entre dovelas de forma horizontal, y no toma en cuenta las fuerzas cortantes. En este caso la superficie no necesariamente debe ser circular a diferencia de los otros métodos, por lo cual el factor de correlación es con el que se va a depender el nivel de curvatura que presente la superficie de rotura (Sanhueza et al., 2013, p. 23).

2.5.3 Método de Bishop Simplificado

Método propuesto en el año de 1995 por Bishop, analiza la estabilidad de talud con una superficie circular al igual que la mayoría de los métodos, tomando en cuenta las fuerzas que se producen dentro de las dovelas, y al relacionarse con el método de dovelas se debe dividir en número de

fajas verticales para realizar el estudio de las fuerzas y momentos que existan en cada una que se encontraran definidas y lograr determinar el factor de seguridad relacionado al caso de estudio (Sanhueza et al., 2013, p. 22).

2.5.4 Método de Spencer

Este método satisface todas las condiciones de equilibrio y utiliza un tipo de superficie circular. El método de Spencer es un método de reducción común basado en el equilibrio límite. Debe cumplirse un equilibrio de fuerzas y momentos que actúan sobre bloques individuales. Los bloques se crean dividiendo el plano en la diapositiva dividiendo el plano (Espinoza et al., 2013, p. 48).

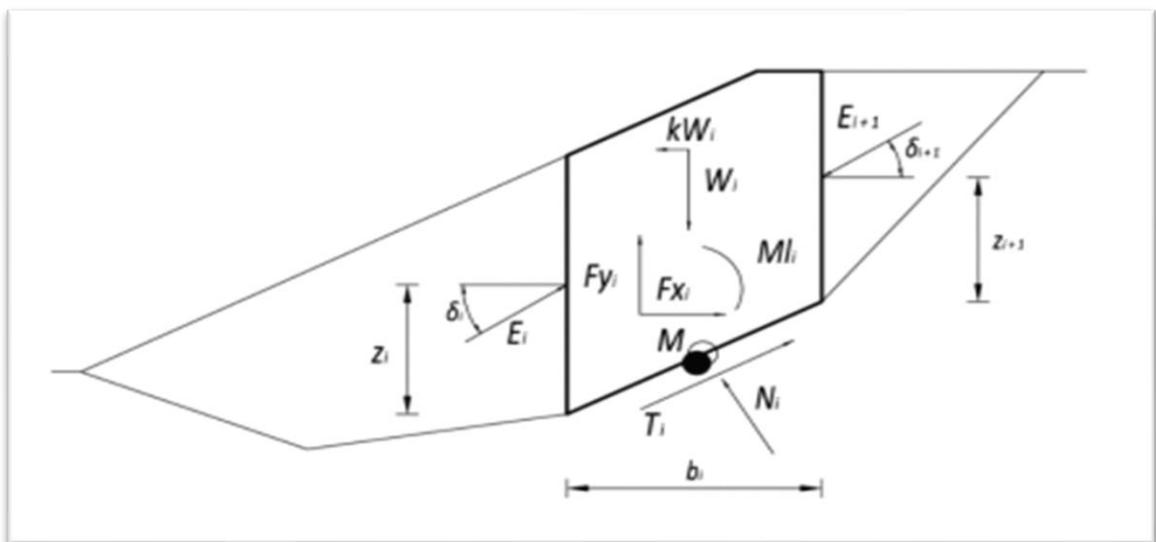


Ilustración 2-2: Esquema estático del Método de Spencer para análisis de estabilidad

Fuente: Espinoza et al., 2013

2.5.5 GLE/Morgenstern-Price

Este método fue propuesto por Morgenstern y Price, método que tiene similitud con el método Spencer con la diferencia de que aquí se aplica la inclinación de la fuerza resultante de los ángulos, donde varían de acuerdo con una porción de una función arbitraria que introduce una incógnita adicional, dejando $4n$ incógnitas y en ecuaciones (Glenn et al., 2001, p. 359).

CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El presente trabajo técnico tiene como finalidad brindar modelos de estabilidad de talud del área minera “María” código 500712, ubicada en el sector Piuntza, Zamora Chinchipe. El enfoque metodológico es mixto ya que consiste en la aplicación de métodos cualitativos correspondientes a la observación y descripción litológica del talud, la descripción geotécnica de las muestras y también se trata de una investigación cuantitativa por el dimensionamiento del talud para el análisis y así obtener el Factor de seguridad.

Para realizar el análisis de estabilidad de un talud se debe realizar un estudio previo basado en la geología, topografía y características geotécnicas de los materiales que conforman el área de aplicación de estudio, permitiendo tener un diagnóstico preciso acerca del problema existente. La modelación de un talud se debe realizar para el análisis de las condiciones de estabilidad, seguridad y funcionalidades.

3.2 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector Piuntza, parroquia Guadalupe, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe.

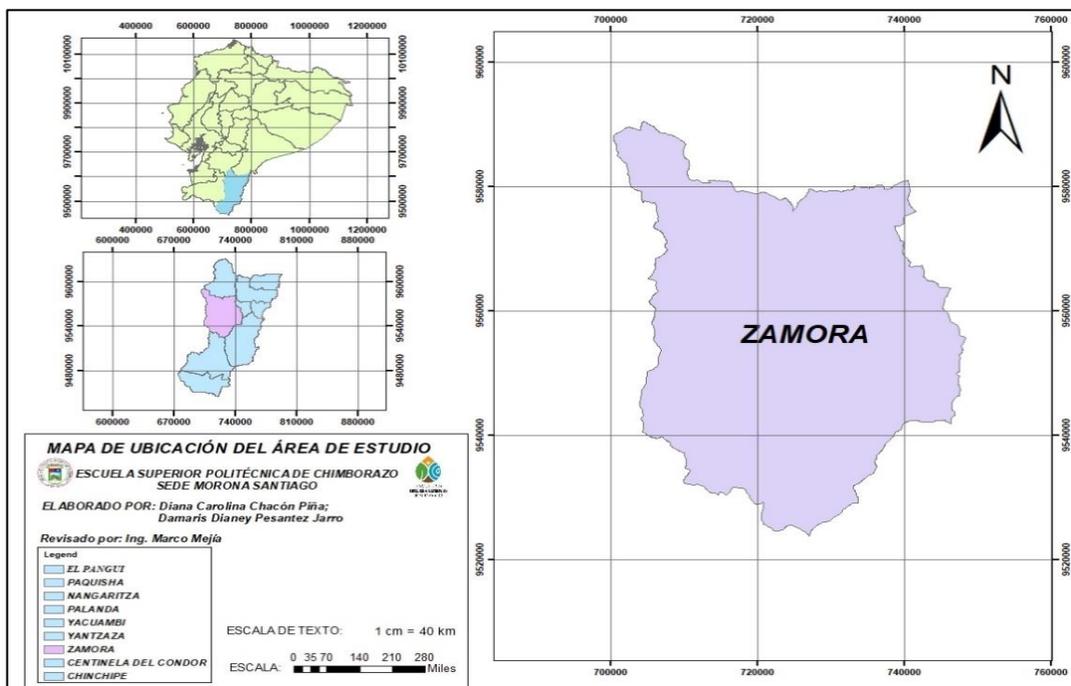


Ilustración 3-1: Mapa de ubicación del Cantón Zamora

Fuente: Software ArcGIS, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

3.3 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

3.3.1 *Trabajo Preliminar*

Centrado en la recopilación de la información existente del área de trabajo, para obtener la mayor cantidad de documentos realizados, tales como tesis, artículos, estudios, es decir, la parte bibliográfica. Se incluye la observación y descripción como parte de obtener la información en las primeras etapas del trabajo.

3.3.2 *Trabajo en campo*

3.3.2.1 *Levantamiento Topográfico*

El levantamiento topográfico se desarrolló con el fin de tener el estudio técnico y descriptivo del terreno, y poder examinar la superficie del talud a estudiar. Se podrá tener en cuenta las características tanto físicas, geológicas y geográficas de toda el área. Este levantamiento nos otorgó una foto de escala completa de toda la mina María como se puede observar en la ilustración 6-3, así como nos brindó la facilidad de poder obtener las coordenadas necesarias y poder trabajar con estos para obtener las curvas de nivel y sus perfiles.



Ilustración 3-2: Foto aérea del Área total de la mina “María”

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Un levantamiento topográfico reconstruye un perímetro específico de terreno a escala, mostrando diferentes elevaciones, drenajes, etc. El trabajo preciso durante la etapa de levantamiento topográfico aumenta la confiabilidad de los datos obtenidos. Los errores en las primeras etapas de un proyecto geotécnico pueden arrastrarse a lo largo del proceso, provocando resultados erróneos (Pozo Villacís, 2021, p. 60).

En este estudio se trabajó con un DRON y una estación total, que nos brindó facilidad y precisión en la toma de datos y coordenadas de toda la zona.

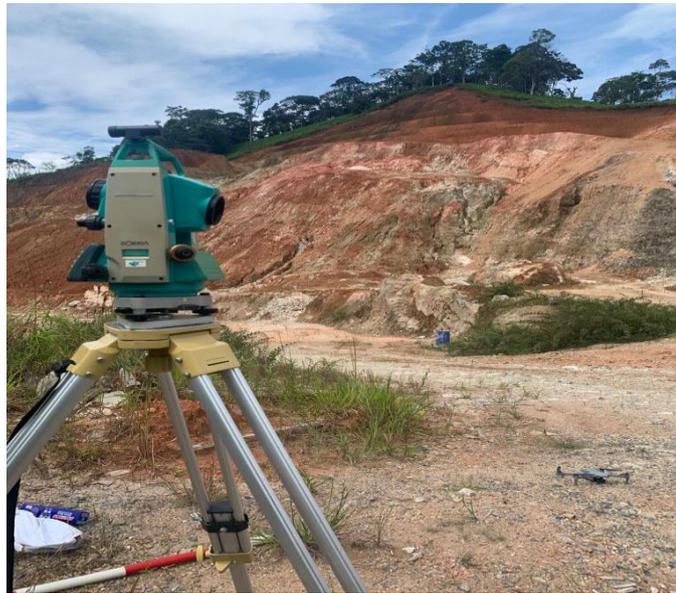


Ilustración 3-3: Equipo topográfico

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Con el levantamiento topográfico de toda la mina “María” código 500712, se logró obtener datos de dos taludes que constan en la zona, de los cuales la inestabilidad predomina el talud 1 según datos otorgados por la empresa y mediante la observación de esta. El talud 1 presenta deslizamientos constantes lo cual lo hace imprescindible el análisis de estabilidad. El talud 2 se encuentra en buenas condiciones, no presenta ni tiene antecedentes de deslizamientos, por lo que no requiere remediación alguna. Posterior al levantamiento topográfico se ha podido realizar la obtención del área y perímetro que se detallan a continuación:

Tabla 3-1: Datos pertenecientes al área y perímetro del talud en análisis

TALUD 1 “MINA MARÍA”	
ÁREA	PERÍMETRO
25 178.233 m ²	643.849 m

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023.

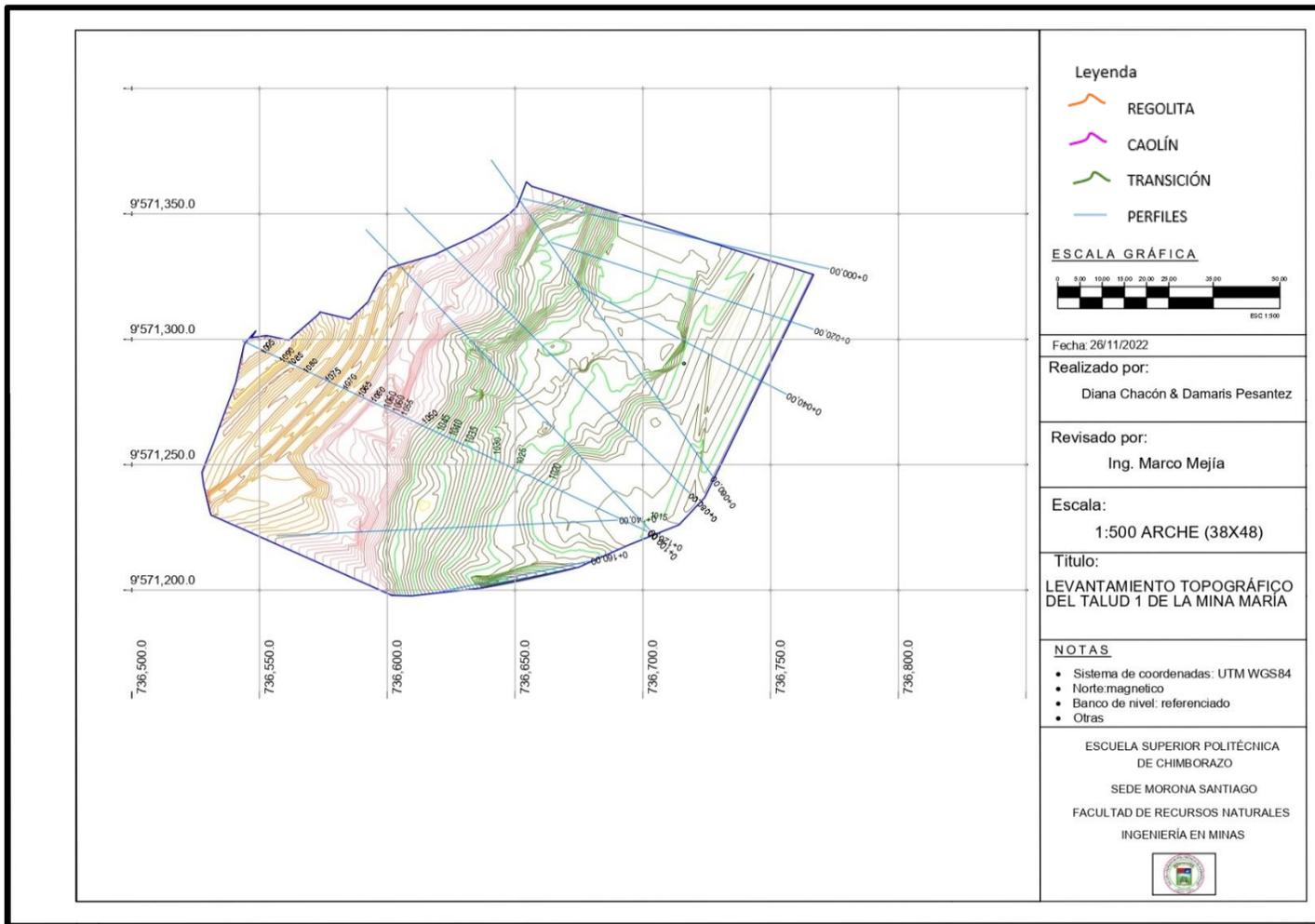


Ilustración 3-4: Mapa del Levantamiento Topográfico del talud en análisis

Fuente: AutoCAD, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

3.3.2.2 Levantamiento geotécnico

Para la extracción de las muestras rocosas se ha observado una parte representativa que se encuentra despejada para la recolección de partes de la masa rocosa, se tomó el rumbo, buzamiento, altura, coordenadas y se verificó mediante RMR los parámetros que se podían considerar in situ. La extracción fue realizada con un martillo geológico para poder obtener muestras representativas para realizar los ensayos de compresión y así completar el puntaje del RMR.

3.3.2.3 Toma de muestras

La toma de muestras se la efectuó en base a los requerimientos de los ensayos que se van a realizar. Para los ensayos de tamizado, resistencia y descripción del tipo de roca, entre otros se tomará muestras del suelo del talud. También se requiere de realizar una identificación de los estratos presentes en el talud de ser necesario.

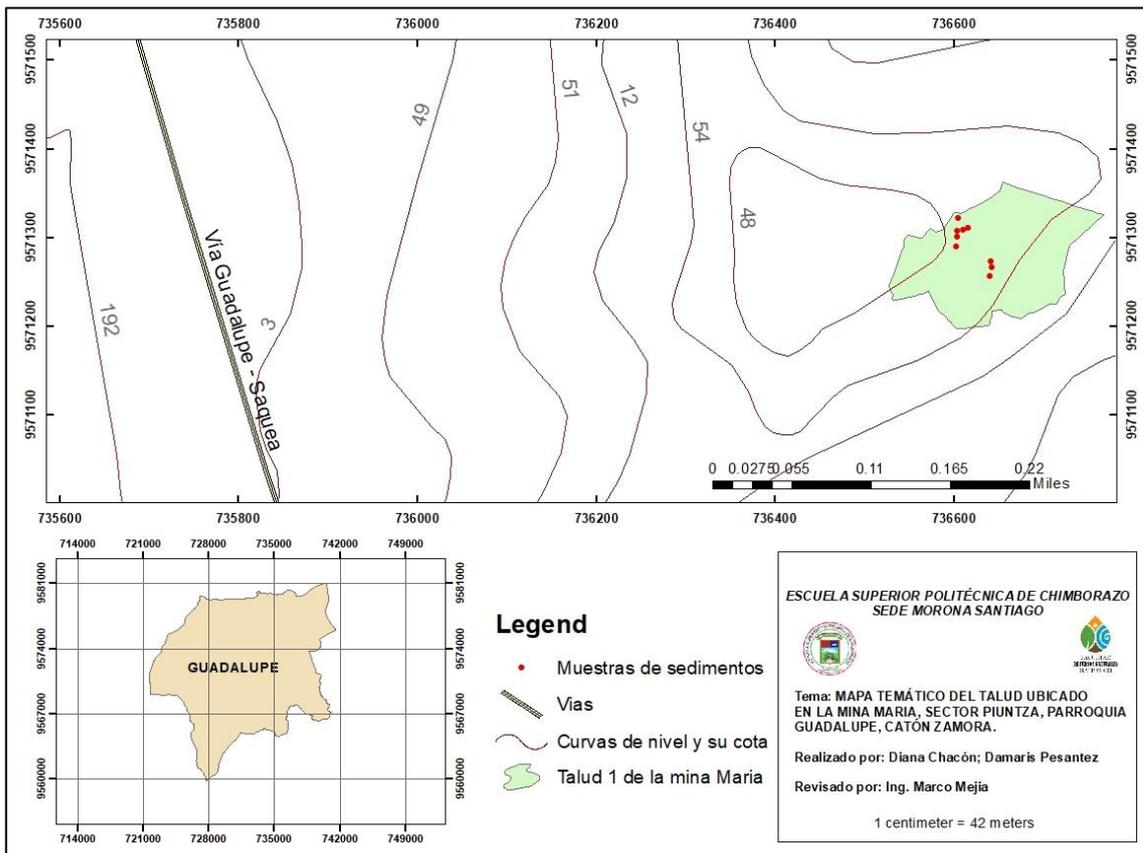


Ilustración 3-6: Mapa temático con la ubicación de la toma de muestras

Fuente: Software ArcGIS, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Para la obtención de todas las muestras extraídas en el sector de estudio, se le aplicó la toma de muestras aleatorias donde consiste en extraer una cierta cantidad de material de tal manera que cada una de estas tengan la misma probabilidad de ser elegidas. Como el suelo en el que se está realizando el estudio pertinente cuenta con tres tipos diferentes de materiales se tomó en cuenta esta forma de extracción de material. En esta zona de la mina encontramos que el talud está formado por un 30% de regolita, un 20% de caolín y el 50% de un material de transición que cuenta con una mezcla de caolín y feldespato.

Datos de las muestras:

Tabla 3-2: Datos correspondientes a la ubicación de las muestras representativas

Código de muestra	Coordenadas	Altura	Tipo de material
MMP001	736653.055E 9571267.57N	1019.26m	Roca Feldespática
MMP002	736642.129E 9571266.759N	1027.26m	Material de Transición
MMP003	736603.268E 9571307.245N	1060 m	Caolín
MMP004	736615.299E 9571311.116N	1064 m	Regolita

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

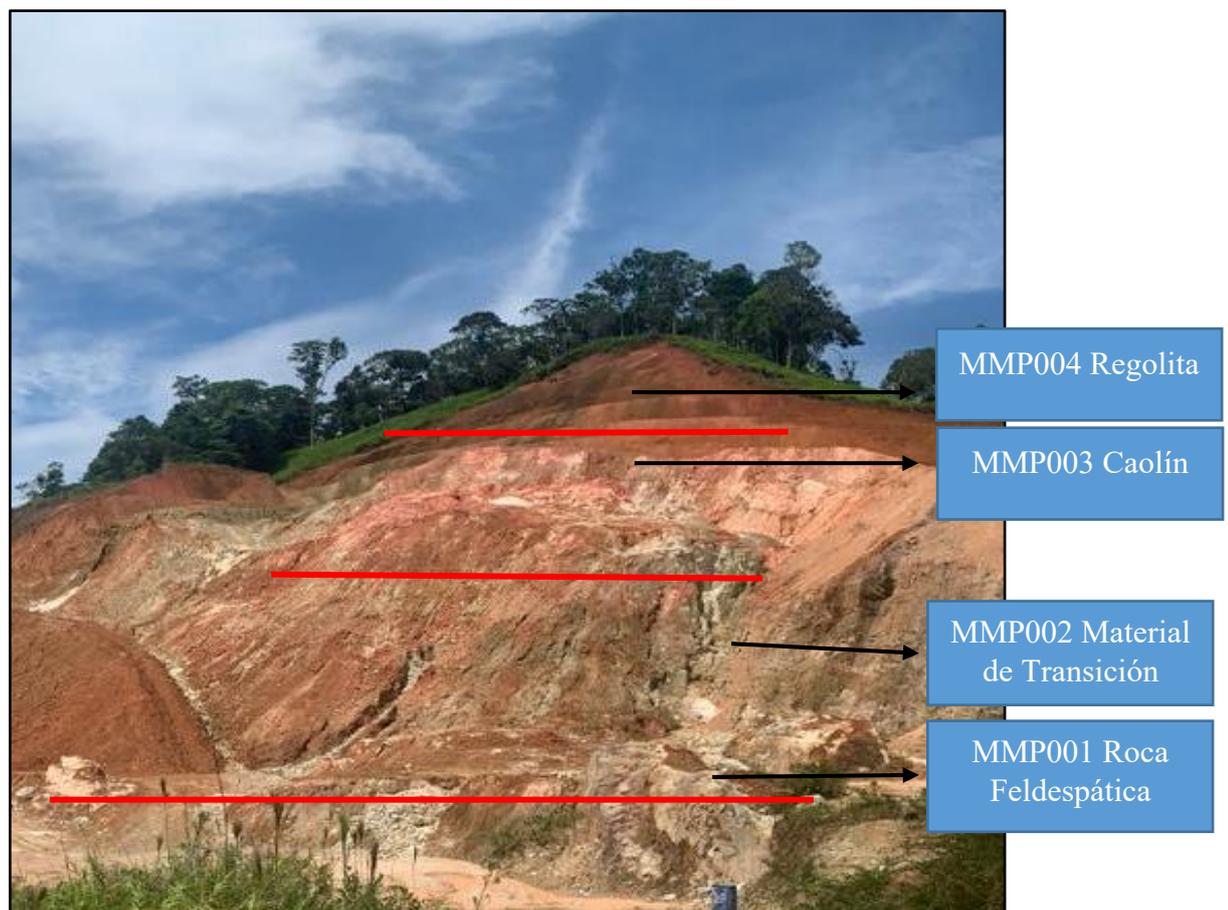


Ilustración 3-7: Estratigrafía del Talud de estudio correspondiente a la mina “María”

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

3.3.3 Fuentes de información

Se tiene en cuenta fuentes de información primaria con la información referente al área minera “María” código 500712, brindado por los técnicos encargados, como fuentes secundarias hace referencia a la obtención de datos e información referente a las fuentes primarias tales como bibliografía, enciclopedias, tesis de evaluación de estabilidad de taludes.

3.4 Procedimiento de recolección de datos

El presente estudio técnico hace uso de la metodología descrita a continuación:

- Reconocimiento del lugar de estudio.
- Recopilación y estudio de la información existente.
- Estudio de las características topográficas y geotécnicas de la zona de estudio.
- Investigación de campo para la toma de muestras.
- Investigación de laboratorio.
- Selección de métodos.

3.5 Análisis y procesamiento de datos

3.5.1 Análisis geológico

El Talud Ubicado en la Mina “María” código 500712, presenta tres capas; la primera de ellas es de regolita en conjunto con la capa superficial de vegetación se trata de material conformado por arcilla de baja calidad. La segunda capa (intermedia) conformada por caolín de color rojo a rosa; este material es de alta calidad para la fabricación de cerámica, en la base se observa una tercera capa compuesta por material de transición constituido por caolín y feldespatos su consistencia es a manera de una pasta y arena, esto dado por la intemperización que ha sufrido el feldespato. Es decir, en esta capa el feldespato no se lo visualiza como una roca. La existencia de la roca feldespática se encuentra en un mínimo porcentaje, por esta razón se establece que el talud es de suelos.

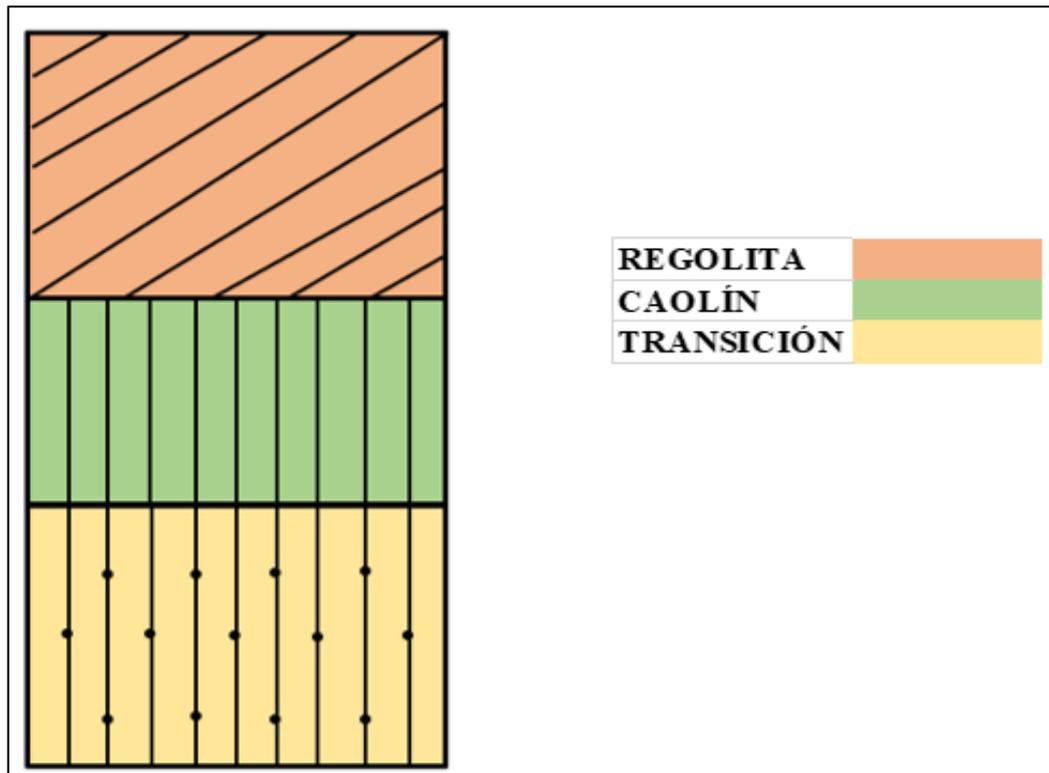


Ilustración 3-8: Columna Estratigráfica sin escala perteneciente al Talud

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se realiza un análisis e interpretación de las características geológicas correspondientes al talud con la finalidad de obtener una diferenciación litológica permitiendo tener una columna estratigráfica del talud.

3.5.2 *Propiedades físico-mecánicas del talud*

Posterior a la extracción de muestras en campo, se deben realizar las pruebas de las propiedades físico-mecánicas de suelo y roca en un laboratorio geotécnico, los ensayos que están acorde al análisis de estabilidad son:

- Ensayos estándar de mecánica de suelos:
 - ✓ Ensayo granulométrico por Tamizado
 - ✓ Contenido de humedad
 - ✓ Limite líquido
 - ✓ Limite plástico

- Ensayo de clasificación rocosa
 - ✓ Ensayo de compresión: Relación Esfuerzo – Deformación

- Ensayos para análisis de estabilidad mediante el Software SLIDE.
 - ✓ Peso específico
 - ✓ Triaxial para ángulo de fricción y cohesión

3.5.3 *Análisis de Laboratorio*

El ensayo Estándar de mecánica de rocas considerado es: Ensayo de Compresión

3.5.3.1 *Equipos, materiales y procedimiento para el ensayo de compresión.*

Equipo y materiales:

- Cortadora
- Muestras de rocas
- Máquina Universal
- Célula de carga
- Software de control

Procedimiento:

- 1) Se han recogido 3 muestras de rocas significativas en campo.
- 2) Las rocas son reducidas mediante la cortadora generando dos cubos de 5 cm x 5 cm y un cubo de 4 cm x 4 cm, medidas que se encuentran aceptables para realizar el ensayo de compresión.



Ilustración 3-9: Cortes de las rocas de feldespato extraídas del talud

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

- 3) Se coloca la muestra en la máquina universal.
- 4) Se procede a hacer compresión a la muestra mediante la célula de carga.
- 5) Se toma los datos en el software de control, pertenecen a la deformación (mm) y fuerza (Kp).
- 6) A partir de los datos obtenidos se realizan los diagramas y cálculos correspondientes.



Ilustración 3-10: Máquina Universal

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Los ensayos geotécnicos estándar de mecánica de suelos considerados son:

Tabla 3-3: Ensayos de mecánica de suelos para clasificación SUCS y AASHTO

Ensayos	Normas estándares
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422
Porcentaje de humedad	ASTM D-2216
Limite plástico	ASTMD4318
Limite liquido	ASTM D4318

Fuente: Prado et al., 2020

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

3.5.3.2 Equipos, materiales y procedimiento para ensayos geotécnicos

Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D-422:

Equipos y materiales:

- Horno
- Balanza
- Recipientes
- Serie de tamices

Procedimiento:

- 1) Se debe obtener una muestra por cuarteo, hay que pesarla y llevarla al horno durante 15 horas a 110 °C hasta obtener una masa constante.

- 2) Se deja secar la muestra para posteriormente pesarla nuevamente.
- 3) El material retenido debe ser pesado, lavado a tamiz N° 200 secado por 15 horas a 110 °C.
- 4) Se realiza el tamizado por movimiento, vibración en un intervalo específico.
- 5) Al finalizar de cada tamiz se pesa el material retenido.



Ilustración 3-11: Mallas utilizadas para el tamizado

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Para realizar el presente ensayo se toma en cuenta:

Tabla 3-4: Datos generales de la muestra MMP002 del material de transición

MUESTRA MMP002: Material de Transición	
Coordenadas	736642.129 E 9571266.759 N
Altura	1027.26 m
Peso de la muestra húmeda	239.58 g
Peso de la muestra seca	208.65 g

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Tabla 3-5: Datos generales de la muestra MMP003 correspondiente al Caolín

MUESTRA MMP003: Caolín	
Coordenadas	736603.268 E 9571307.245 N
Altura	1060 m
Peso de la muestra húmeda	691 g
Peso de material lavado y seco	407.7 g

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Tabla 3-6: Datos generales de la muestra MMP004 correspondiente a la Regolita

MUESTRA MMP003: Regolita	
Coordenadas	736615.299E 9571311.116N
Altura	1064 m
Peso de la muestra húmeda	134.88 g
Peso de la muestra seca	97.59 g

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Porcentaje de humedad Natural Saturada ASTM D-2216:

Equipos y materiales:

- Horno
- Balanza
- Recipientes resistentes

Procedimiento:

- 1) Realizar un cuarteo de la muestra total.
- 2) Colocar la muestra en los envases de manera ordenada de las 4 secciones establecidas en cantidades similares.
- 3) Pesar y colocar en el horno a 110 °C durante 15 horas.
- 4) Pesar la muestra al extraer del horno, tomar en cuenta el peso del recipiente.



Ilustración 3-12: Selección de la muestra

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Limite liquido ASTM D4318

Equipo y materiales:

- Horno
- Balanza
- Recipientes resistentes
- Malla 40
- Casa grande

Procedimiento:

- 1) Pasar el material por la malla 40
- 2) Colocar 100 gramos de material pasante en un recipiente.
- 3) Realizar aumentos de humedad aplicando agua de la siguiente secuencia hasta conseguir una textura de pasta:

15 ml
10 ml
5 ml
5 ml

- 4) Dejar saturar durante 24 horas al ambiente.
- 5) Colocar la muestra en el equipo casa grande y verificar número de golpes con que se une la muestra al menos en un mm (30 a 35 es lo óptimo).
- 6) Pesar y colocar en el horno a 110 °C durante 15 horas la parte del material que ha unido en al menos 1 mm.
- 7) Pesar el material extraído del horno.



Ilustración 3-13: Muestra para límite líquido

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Límite plástico ASTM D4318

Equipo y materiales:

- Horno
- Balanza
- Recipientes resistentes
- Malla 40
- Casa grande

Procedimiento:

- 1) Pasar el material por la malla 40
- 2) Colocar 100 gramos de muestra pasante en un recipiente.
- 3) Realizar aumentos de humedad con agua de la siguiente manera:

15 ml
10 ml
5 ml
5 ml

- 4) Dejar saturar durante 24 horas al ambiente.
- 5) Colocar en el equipo casa grande realizando un corte en la mitad de la muestra ya puesta.

- 6) Verificar el número de golpes con que se une la muestra al menos 1 mm (menor a 25 golpes es lo óptimo).
- 7) Extraer 3 partes pequeñas de la muestra.
- 8) Hacer rolar el suelo hasta conseguir cilindros de 3 mm y notar grietas.
- 9) Dividir en 4 secciones pesar y colocar en el horno a 110 °C durante 15 horas.
- 10) Pesar las muestras secas.



Ilustración 3-14: Muestra Saturada

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

3.5.3.3 Equipos, herramientas y proceso del ensayo de peso específico

Para obtener el peso específico correspondientes a cada material, se ha realizado el ensayo con el picnómetro.

Equipos y materiales:

- Picnómetro
- Agua Destilada
- Bomba de vacío
- Balanza
- Horno

Procedimiento:

- Se pesa un picnómetro que ha sido previamente secado en el horno y se agrega 40 gramos de muestra seca que ha sido tamizada con el Tamiz N° 4.
- Una vez agregada la muestra en el picnómetro se procede a pesar.
- Se vierte agua destilada hasta la mitad del picnómetro.

- Se coloca una bomba de vacío para desprender el aire que existen entre las partículas.
- Una vez que no salgan más burbujas se desconecta la bomba de vacío.
- Se vierte agua destilada a ras de la línea límite y se lo pesa ($W_p + W_s + W_w$).
- Finalmente se procede al cálculo del volumen que ocupan las partículas de suelo “ V_s ”.

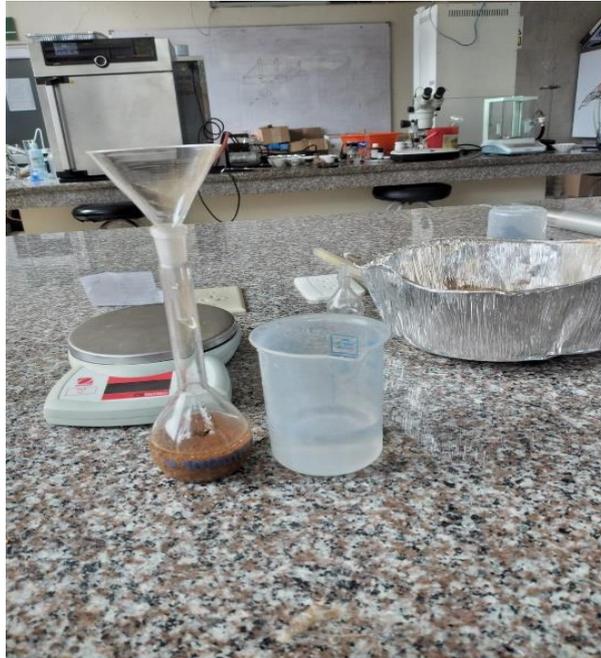


Ilustración 3-15: Materiales para peso específico

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

3.5.4 Métodos de estabilidad de talud

Para seleccionar algún método de estabilidad de talud con el fin de evitar accidentes o algún inconveniente que detenga las labores de la mina, se recopila los datos de los ensayos realizados y al tener una deducción de que tipo de suelo se trata podemos considerar diferentes métodos para determinar su estabilidad.

Existen algunos métodos en el estudio de suelos como son los siguientes:

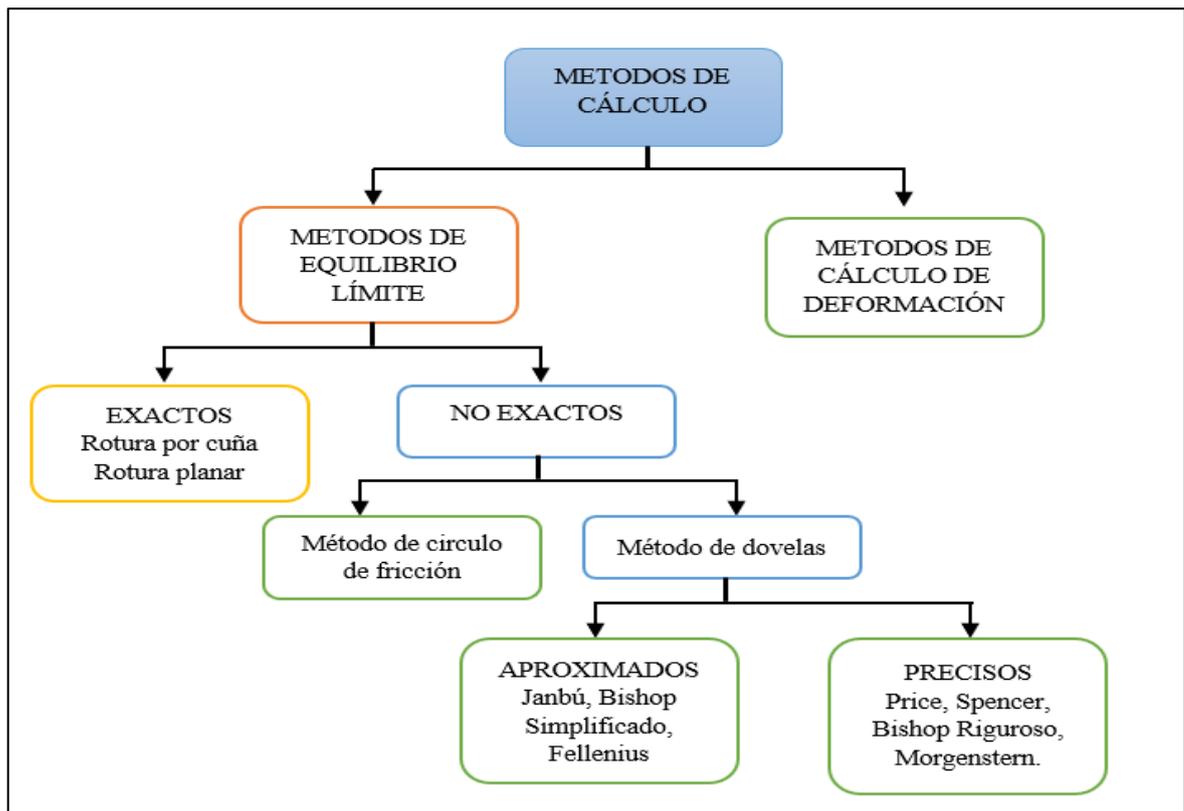


Ilustración 3-16: Métodos de cálculo de estabilidad de taludes

Fuente: Estrada et al., 2014

Como se trata de suelo con variedad de material y cada uno cuenta con su respectiva caracterización podemos aplicar los siguientes métodos:

3.5.4.1 Método de equilibrio límite (SPENCER/ GLE/Morgenstern-Price)

El método SPENCER nos permite analizar un talud mediante el método de dovelas o también llamado método de rebanadas, donde se subdivide la masa susceptible a deslizamiento en un numero conveniente y se estudia sus fuerzas normales, tangenciales para así sacar el factor de seguridad de dicho talud. En cuanto al método GLE/Morgenstern-Price Se puede desarrollar una fórmula general de equilibrio límite, que a diferencia de los otros métodos estos pueden analizar superficies de fallo circulares y no circulares. En vista de esta aplicabilidad universal, la formulación GLE se ha convertido en uno de los métodos más sonados, ya que su generalización ofrece la posibilidad de modelizar una versión discreta del procedimiento Morgenstern-Price.

Estos dos métodos están ligados al principio de equilibrio límite que pretende encontrar un conjunto de fuerzas actuantes a lo largo del límite de dicha superficie, de tal manera que la masa del suelo se encuentre en equilibrio.

Las condiciones idealizadas para el análisis a base del método de equilibrio límite debe presentar factores que lo dificulten. Lo principal para este talud es que presenta un suelo heterogéneo lo que

determina que las propiedades del suelo no son homogéneas e isotrópicas. También se considera las condiciones de bordes que definen la red de flujo, las cuales solo se conoce de una manera aproximada.

Para la resolución de las dificultades antes descritas se optan por los siguientes parámetros:

- Se utiliza una sección promedio que va a asumir la representación de todo el talud, que involucre los diferentes materiales de suelo.
- Se asume que la sección que se optó para el análisis que tendrá los datos de cada material del suelo obtenidos en los ensayos de laboratorio como son la COHESION, ANGULO DE FRICCION Y EL PESO ESPECIFICO.
- Se asume que la resistencia al corte de cada suelo individual presente en la sección se puede expresar mediante la ecuación de Mohr-Coulomb.
- Se asume que las condiciones de flujo de agua y presiones correspondientes, representadas por una red de flujo, son normales sin valores anómalos o representativos para ser considerados como factores importantes.

Para la aplicación de los métodos fundamentados en el principio del equilibrio limite utilizan el siguiente procedimiento:

- Se asume la superficie de la falla existente.
- Se estudia el equilibrio de la masa de suelo que se deslizaría, considerando un conjunto de esfuerzos actuales.
- El suelo genera resistencia y se comporta como un material suelto y plástico en las primeras capas, a diferencia de el ultimo material de transición que no presenta plasticidad.
- Se asume el factor de seguridad (FS), está dado por la relación entre la resistencia al corte y los esfuerzos movilizados en el suelo por el sistema de fuerzas actuantes sobre la masa considerada.
- Si el FS presenta un resultado mayor a 1,00 se supone que no está en movimiento, mientras que si es menor a este debe presentar movimiento de masa de suelo.
- Se opto por realizar este proceso en cada uno de los perfiles obtenidos en el levantamiento topográfico, para estimar un promedio de factor de seguridad de todo el talud tomando en cuenta todo el terreno.

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Propiedades físico-mecánicas del Feldespato: MMP001

Tabla 4-1: Propiedades Físico- mecánicas del Feldespato

Dureza	6
Densidad	2.5 g/cm ³
Color: Blanco	Blanco
Raya: Blanca	Blanca
Brillo	Vítreo

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.1.1 Diagrama Esfuerzo – Deformación: Diaclasa 1.

Masa de la muestra cúbica: 140 g

Volumen: 40mm x 40mm x 35mm = 56000 mm³

Área: 8475 mm²

Lo1: 40 mm y Lo2: 35 mm

Rumbo: 51° N

Buzamiento: 32°

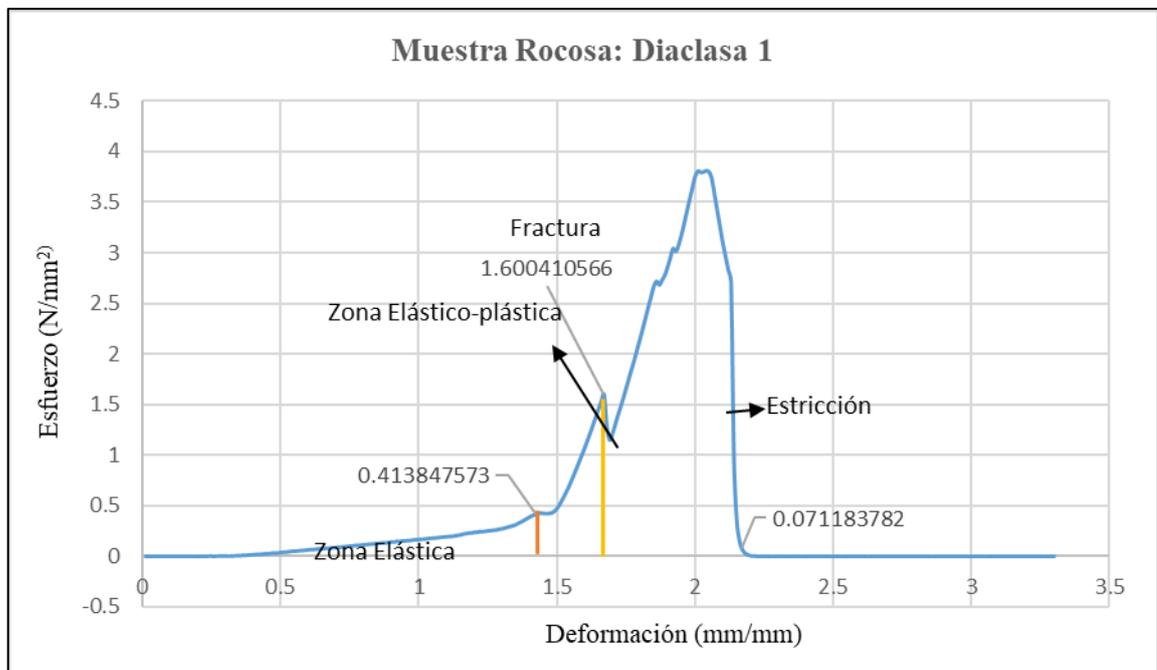


Ilustración 4-1: Diagrama de relación Esfuerzo - Deformación de la Diaclasa 1

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

La primera muestra que corresponde a la diaclasa 1 presenta el punto de cedencia o fractura al tener un esfuerzo de 1.6 N/mm^2 con una deformación mayor a 1.5 mm/mm , se puede determinar que se trata de una roca de baja resistencia, ya que frente a un pequeño el esfuerzo ha cedido.

4.1.2 Diagrama Esfuerzo-Deformación: Diaclasa 2

Masa de la muestra cúbica: 312.5 g

Volumen: $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 125000 \text{ mm}^3$

Área: 15000 mm^2

Lo1: 50 mm y Lo2: 50 mm

Rumbo: 110° N

Buzamiento: 0°

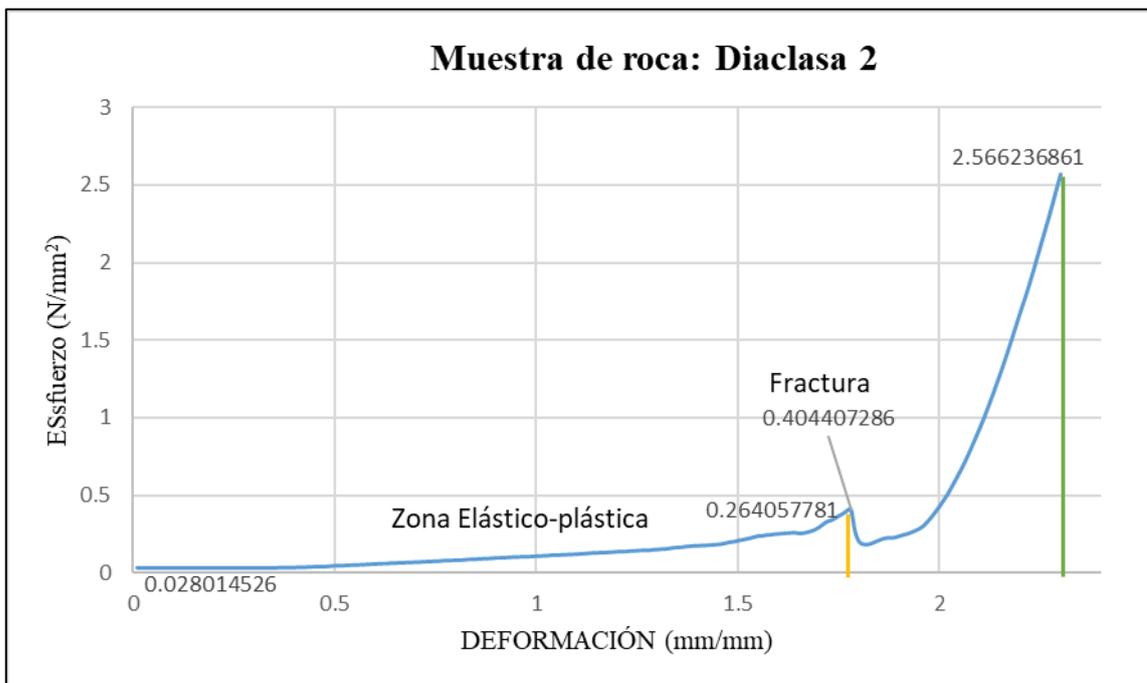


Ilustración 4-2: Diagrama de relación Esfuerzo - Deformación de la Diaclasa 2

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

La segunda muestra que corresponde a la diaclasa 2 presenta el punto de cedencia o fractura al tener un esfuerzo de 0.4 N/mm^2 con una deformación mayor a 1.5 mm/mm , se puede determinar que se trata de una roca de baja resistencia, ya que al mínimo esfuerzo se ha fracturado.

4.1.3 Diagrama Esfuerzo-Deformación: Diaclasa 3

Masa de la muestra cúbica: 312.5 g

Volumen: 5mm x 5mm x 5mm = 125000 mm³

Área: 15000 mm²

Lo1: 50 mm y Lo2: 50 mm

Rumbo: 200° N

Buzamiento: 15°

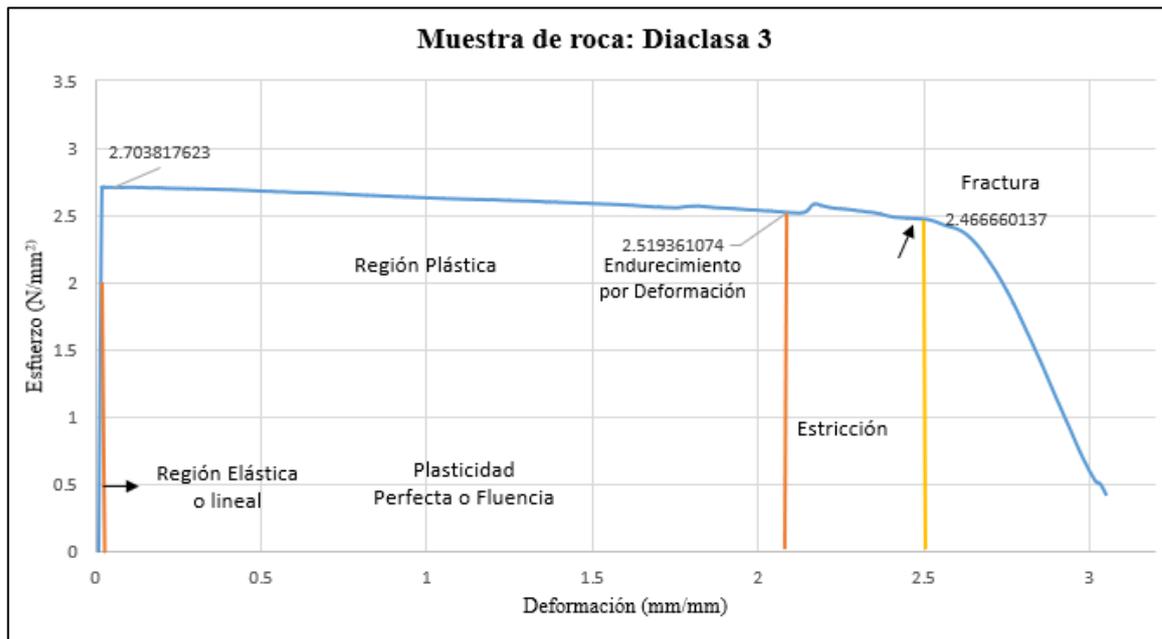


Ilustración 4- 3: Diagrama de relación Esfuerzo -Deformación de la Diaclasa 3

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

La tercera muestra que corresponde a la diaclasa 2 presenta el punto de cedencia o fractura al tener un esfuerzo de 2.46 N/mm² con una deformación de 2.5 mm/mm, se puede determinar que se trata de una roca de baja resistencia, ya que el esfuerzo al que ha cedido es bajo.

4.1.4 Competencia de la masa rocosa conformada por Feldespato

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento			Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntuación	Túneles		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		

Ilustración 4-4: Clasificación Geomecánica de Bieniawski o RMR

Fuente: EADIC, 2022

Para el cálculo de la competencia de la masa rocosa, se procede a dar la siguiente puntuación:

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión Simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1

	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
--	------------	----	----	---	---	---	---	---

Resistencia de la matriz Rocosa

Al haber realizado el ensayo de compresión simple, los resultados de las muestras reflejan un rango entre 5-1 MPa, lo cual da una puntuación de 1.

Calidad de la Roca

2	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
	Puntuación	20	17	13	6	3

Se trata de una masa rocosa continua, no se presentan tramos considerables que puedan afectar la parte rocosa, se puede afirmar que es una roca buena.

Diaclasas

3	Separación entre Diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m
	Puntuación	20	15	10	8	5

Al observar las Diaclasas no existe una separación notoria.

Estado de las discontinuidades

4	Longitud de la Discontinuidad	<1m	2-3m	3-10m	10-20m	>20m
	Puntuación	6	4	2	1	0

Se encontró una longitud mínima en las discontinuidades.

4	Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm
	Puntuación	6	5	3	1	0

No se encontraron aberturas en las discontinuidades presentes.

4	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0

Al momento de palpar la superficie de la roca, tiene una ligera rugosidad.

4	Relleno	Ninguna	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
	Puntuación	6	4	2	1	0

Entra las discontinuidades se pudo encontrar en poca cantidad un relleno duro.

4	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente Alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0

Las discontinuidades se encuentran ligeramente alteradas.

Agua Freática

5	Agua Freática	Estado General	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo
	Puntuación		15	10	7	4	0

No se encontró agua en la parte rocosa del talud.

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Puntuación		15	10	7	4	0

$$RMR = 1 + 17 + 5 + 6 + 6 + 3 + 4 + 5 + 15 - 5$$

$$RMR = 56$$

Tabla 4-2: Bieniawski (1989) Rock Mass Rating: Calidad de la masa rocosa (Feldespatos)

Clase Macizo Rocoso	Descripción	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-20

Fuente: Graus et al., 2016

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

La masa rocosa presente en el talud es de una calidad regular, se puede justificar que es a causa de la meteorización que ha sufrido, una alteración en el material, por su exposición al aire, agua, humedad, etc. Resulta de estos factores influyentes que el feldespatos se encuentra también de manera de pasta arenosa, es decir que la masa rocosa con el pasar del tiempo se va desintegrando y que al mezclarse con el caolín se convierte en material de transición generando una mezcla entre arcilla y arena feldespática.

4.2 Clasificación de suelo Mediante los Sistemas SUCS y AASHTO

4.2.1 Resultados para la Muestra MMP002: Material de Transición

4.2.1.1 Humedad Natural, Límite Líquido e Índice de Plasticidad

Para la Humedad Natural se aplica la siguiente Fórmula:

$$\%H = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

P_h : Peso húmedo

P_s : Peso Seco

P_t : Peso recipiente

Tabla 4-3: Datos para el cálculo de la humedad Natural del Material de Transición

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHOMBORAZO-SEDE MACAS						
ENSAYOS GEOTÉCNICOS						
ENSAYO	CAPSULA	P. HUMEDO	P. SECO	P. CAPSULA	HUMEDAD	PROMEDIO
Humedad Natural (ASTM D 2216-05)	1	48.50	44.48	16.63	14.43	14.82%
	2	42.96	39.60	17.51	15.21	
Límite Líquido (ASTM D4318-05)	MATERIAL NO PLÁSTICO					
Limite Plástico (ASTM D4318-06)	MATERIAL NO PLÁSTICO					

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.2.1.2 Granulometría

Tabla 4-4: Datos para obtención de la granulometría del material de transición

GRANULOMETRÍA				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASANTE
3"		0	0.0	100
2"		0	0.0	100
1 1/2"		0	0.0	100
1"		0	0.0	100
3/4"	19	0	0.0	100
1/2"	12.5	21.11	10.1	89.9
3/8"	9.5	28.48	13.6	86.4
4	4.7	43.58	20.9	79.1
10	2	56.64	27.1	72.9
40	0.43	82.51	39.5	60.5
200	0.075	140.7	67.4	32.6

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Peso de la muestra húmeda: 239.58 g

Peso de la muestra seca: 208.65 g

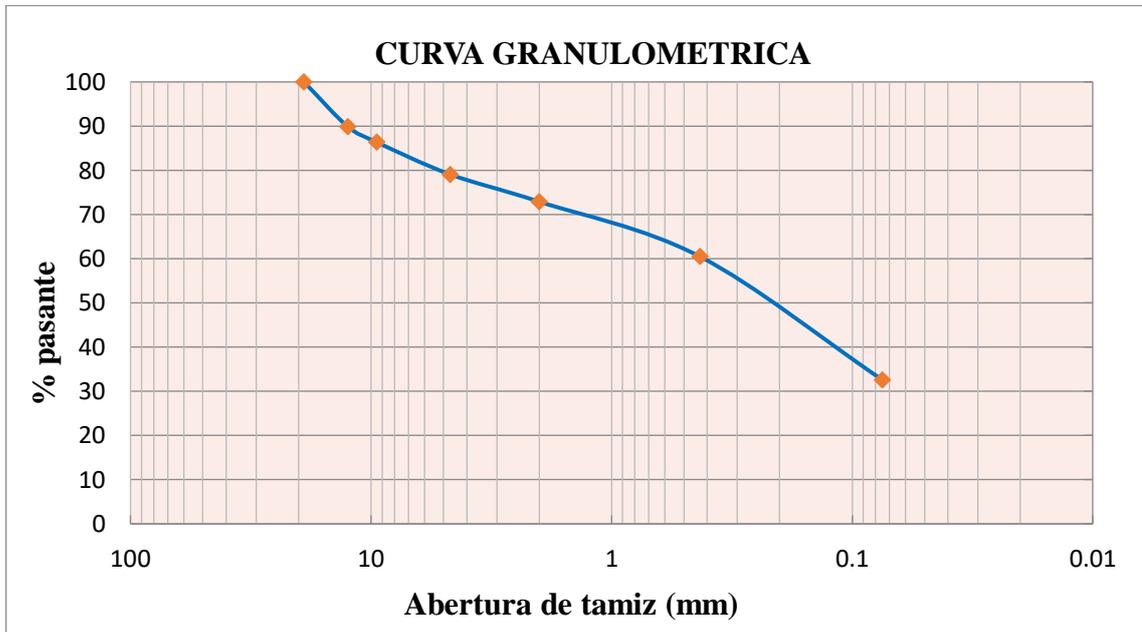


Ilustración 4-5: Curva granulométrica del material de transición

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

GRAVA	21%
ARENA	47%
FINOS	33%

4.2.1.3 Sistema De Clasificación SUCS

Tabla 4-5: Sistema de Clasificación SUCS para suelos de granulometría gruesa

Gruesos (< 50% pasa 0.08 mm)						
Tipo de suelo	Símbolo	% pasa 5mm	% pasa 0.08mm	CU	CC	IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<1>3	
	GM		> 12			< 0.73(WI-20) o < 4
	CG					> 0.73(WI-20) o > 7
	SW		< 5	> 6	1 a 3	

Arenas	SP	> 50		≤ 6	<1>3	
	SM		> 12			< 0.73(WI-20) o < 4
	SC					< 0.73(WI-20) o > 7

Fuente: (Cuchillo, 2020)

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

El suelo es considerado de grano grueso, por la razón que presenta gravas en 21%, arenas en 47 % siendo el porcentaje más representativo y con 33% de finos. En este caso específico se puede enfocar en SUCS en el tipo de suelo grueso donde más del 50% pasa por la abertura de 5mm y más del 12% ha pasado por 0.08 con una plasticidad nula, clasificando este suelo como **SM**: Arenas limosas, mezclas de arena y Limo.

4.2.1.4 Sistema De Clasificación AASHTO

Tabla 4- 6: Sistema de Clasificación AASHTO para material granular y fino

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa por el tamiz #200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-6				
Tamizado % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40 (425um)	30 máx	50 máx	51 máx	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200 (75um)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 máx	36 máx	36 máx
Consistencia											
Límite líquido	---		---	B				40 máx	41 min	40 máx	41 min
Índice de plasticidad	6 máx		N.P.	B				10 máx	10 máx	11 min	11 min

Tipos de materiales característicos	Cantos Grava y arena	Arena fina	Grava y arena limoarcillosa	Suelos limosos	Suelos arcillosos
Calificación	Excelente a bueno			Regular a malo	

Fuente: Gavidia, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

Según AASHTO el suelo correspondiente al material de Transición es de tipo granular, ya que el 33% es pasante por la malla 200, es decir es menor al 35%, se calcula el índice de grupo para tener una descripción exacta, teniendo como resultado:

Fórmula:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F: Porcentaje pasante en la malla 200.

LL: Límite Líquido

IP: Índice de Plasticidad

$$IG = (33 - 35)(0.2 + 0.005(0 - 40)) + 0.01(33 - 15)(0 - 10)$$

$$IG = -2.16$$

De manera estandarizada el resultado debe ser positivo, por lo tanto, si la expresión es negativa se define como un IG:0, correspondiendo de manera inmediata a A-2-4 (0), como suelo conformado por grava y arena limo arcillosa considerado como un suelo de bueno a excelente.

4.2.2 Resultados para la Muestra MMP003: Caolín

4.2.2.1 Humedad Natural

Para la Humedad Natural se aplica la siguiente Fórmula:

$$\%H = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

P_h : Peso húmedo

P_s : Peso Seco

P_t : Peso recipiente

Tabla 4-7: Humedad natural saturada correspondiente al caolín

Humedad Natural Saturada (ASTM D2216)						
N° de tarro	N° de golpes	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso tarro (g)	% de humedad	% Promedio
1		56.44	47.33	17.99	31.05	
2		50.85	42.53	15.21	30.45	30.75

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.2.2.2 Limite Líquido

Fórmula de aplicación:

$$L_l = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

Ph: peso húmedo de la muestra

Ps: peso seco de la muestra

Pt: peso de la tarra o recipiente

Tabla 4- 8: Límite Líquido del caolín

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Ensayos de límites de Atterberg: MMP003			
Límite Líquido ASTM D4318			
No de golpes	32	21	14
No de muestra	3	4	5
Peso H+Tara	39.28	42	38.82
Peso S+Tara	32.07	34.61	31.65
Peso Tara	15.46	18.41	16.57
%de Humedad	43.41	45.62	47.55

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

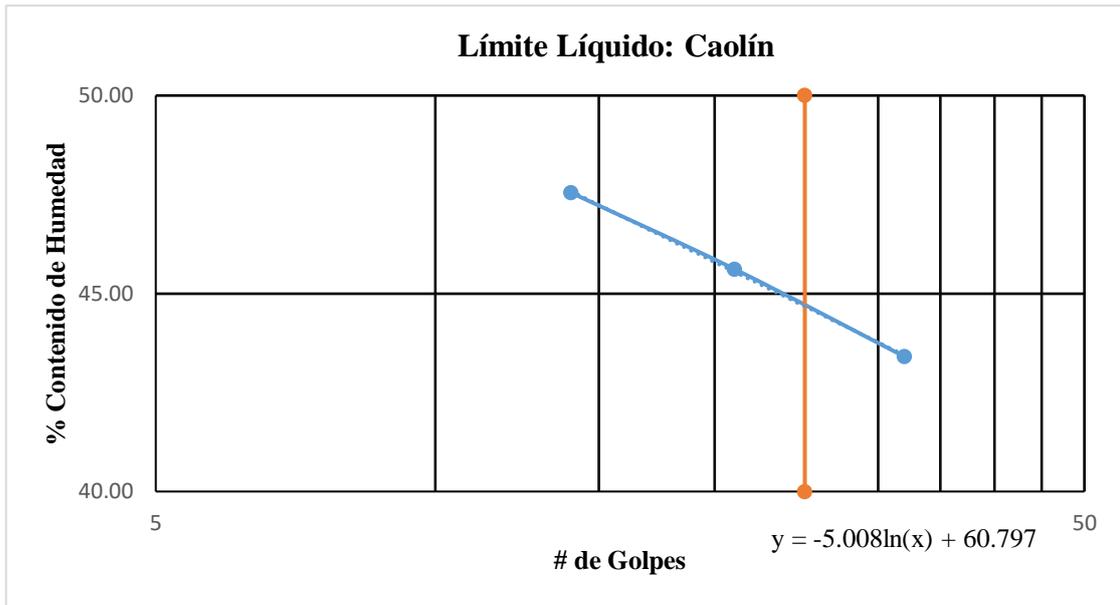


Ilustración 4-6: Gráfica para la obtención del límite líquido del Caolín

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

$$L.L = (-5.008 \ln (25) + 60.797) * 100$$

$$L.L= 44.7 \%$$

4.2.2.3 Límite Plástico

Tabla 4-9: Límite plástico correspondiente al caolín

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Ensayos de límites de Atterberg MMP003			
Límite Plástico ASTM D4318			
No de muestra	6	7	8
Peso H+Tara	12	13.46	10.95
Peso S+Tara	10.66	12.23	9.88
Peso Tara	6.66	8.65	6.79
%de Humedad	33.50	34.36	34.63

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Fórmula de aplicación:

$$L_p = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

$$LP = 34.16 \%$$

4.2.2.4 Índice de Plasticidad

Fórmula de aplicación:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 44.7 \% - 34.16 \%$$

$$IP = 10.5\%$$

4.2.2.5 Granulometría

Tabla 4-10: Datos para obtención de la granulometría del caolín

GRANULOMETRÍA					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (g)	PESO R (g)	%RETENIDO	% PASANTE
3/4"	19.0	0.0	0.0	0.00	100.00
1/2"	12.50	1.80	1.8	0.26	99.74
3/8"	9.50	2.60	4.4	0.64	99.36
N°4	4.75	7.60	12.0	1.74	98.26
N°8	2.36	10.40	22.4	3.24	96.76
N°10	2.00	1.80	24.2	3.50	96.50
N°16	1.18	6.80	31.0	4.49	95.51
N°20	0.85	7.20	38.2	5.53	94.47
N°30	0.60	10.10	48.3	6.99	93.01
N°40	0.43	28.20	76.5	11.07	88.93
N°60	0.25	86.60	163.1	23.60	76.40
N°80	0.18	53.60	216.7	31.36	68.64
N°100	0.15	20.20	236.9	34.28	65.72
N°200	0.075	46.40	283.3	41.00	59.00
< N°200			407.7	59.00	
TOTAL			691.0		

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

GRAVA	0.0 %
ARENA	41.0 %
FINOS	59.0 %

Peso de material antes de lavado: 691 g

Peso de material después del lavado: 283.3 g

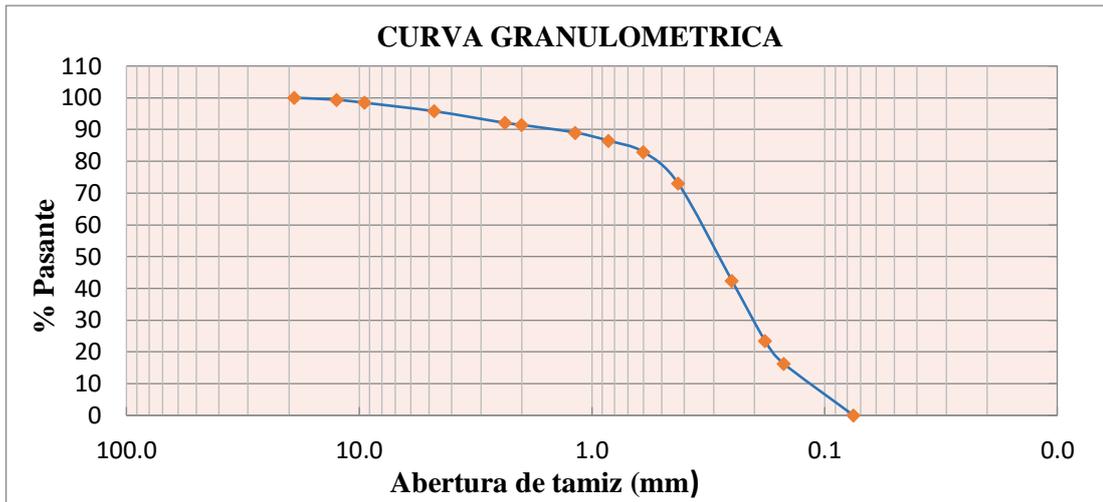


Ilustración 4-7: Curva granulométrica correspondiente al caolín

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.2.2.6 Sistema de Clasificación SUCS

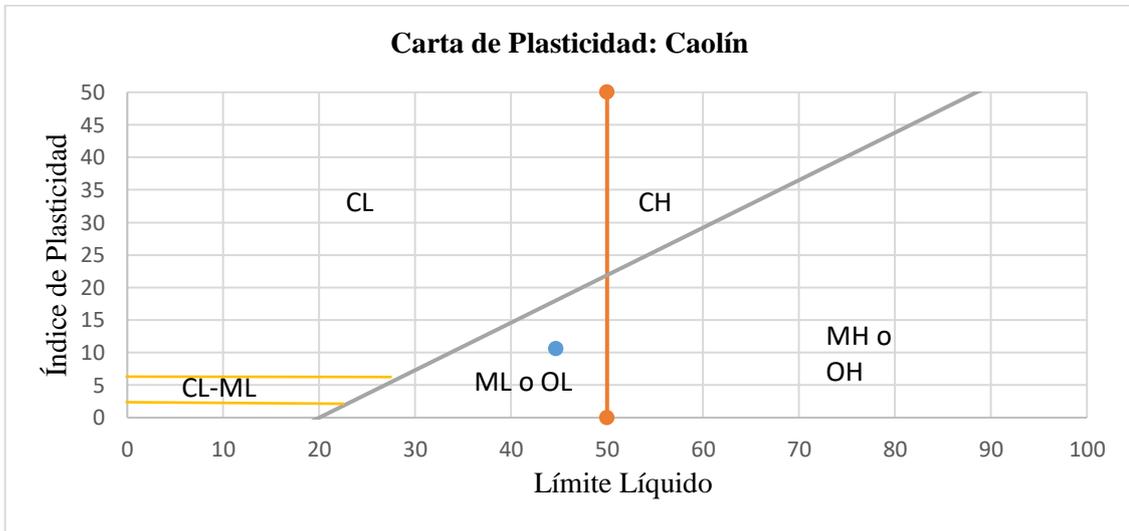


Ilustración 4-8: Carta de Plasticidad correspondiente al Caolín

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se puede Observar en la carta de plasticidad que el caolín pertenece al tipo de suelo OL o ML.

Tabla 4-11: Sistema de Clasificación SUCS para suelos de granulometría fina.

FINOS ($\geq 50\%$ pasa 0.08 mm)			
Tipo de suelo	Símbolo	Límite. Liq (wl)	Índice de Plas. Ip
Limos inorgánicos	ML	< 50	< 0.73(WI-20) O < 4
	MH	> 50	< 0.73(WI-20)
Arcillas inorgánicas	CL	< 50	> 0.73(WI-20) > 7
	CH	> 50	> 0.73(WI-20)
Limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	WI, seco al horno <75% de WI seco al aire
	OH	> 50	
Turba	Pt	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	

Fuente: Cuchillo, 2020

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El Caolín como resultado se trata de un suelo fino que tiene un porcentaje de 59% de material pasante por la malla 200, con Límite Líquido menor al 50% (44.7%), con un índice plástico de 10.5%, para poder definir mediante este índice se toma en cuenta el límite Líquido (W_l) aplicando la fórmula:

$$0.73(W_l - 20)$$

$$0.73(44.7 - 20) = 18.03$$

Entonces el índice plástico (10.05%) es menor a 18.03%, definiendo, así como un suelo **ML**: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.

4.2.2.7 Sistema de Clasificación AASHTO

Tabla 4-12: Sistema de Clasificación AASHTO para material granular y fino

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa por el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-6				
Tamizado % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40 (425um)	30 máx	50 máx	51 máx	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200 (75um)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 máx	36 máx	36 Máx
Consistencia											
Límite líquido	---		---	B				40 máx	41 min	40 máx	41 Min
Índice de plasticidad	6 máx		N.P.	B				10 máx	10 máx	11 min	11 Min
Tipos de materiales característicos	Cantos Grava y arena		Aren a fina	Grava y arena limoarcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: Gavidia, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

Según AASHTO el suelo correspondiente al caolín es de tipo fino, ya que el 59% es pasante por la malla 200, es decir es mayor al 35%, se calcula el índice de grupo para tener una descripción exacta, teniendo como resultado:

Fórmula:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F: Porcentaje pasante en la malla 200.

LL: Límite Líquido

IP: Índice de Plasticidad

$$IG = (59 - 35)(0.2 + 0.005(44.7 - 40)) + 0.01(59 - 15)(11 - 10)$$
$$IG = 7$$

El caolín pertenece al grupo 5 con un Límite líquido de 44.7% que es menor al 41% y un índice de plasticidad de 10.5% que se lo puede redondear al 11%, dando como resultado y tomando en cuenta el IG:5, el tipo de suelo es **A-7-5** definido como un suelo arcilloso de calidad regular a mala.

4.2.3 Resultados para la muestra MMP004: Regolita

4.2.3.1 Humedad Natural

Fórmula de Aplicación:

$$\%H = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

P_h : Peso húmedo

P_s : Peso Seco

P_t : Peso recipiente

Tabla 4- 13: Humedad natural saturada correspondiente a la regolita.

Humedad Natural Saturada (ASTM D2216)						
N° de tarro	N° de golpes	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso tarro (g)	% de humedad	% Promedio
1		54.68	44.08	16.79	38.84	
2		55.03	44.19	15.34	37.57	38.21

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.2.3.2 Límite Líquido

Fórmula de aplicación:

$$L_l = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

Donde:

P_h : peso húmedo de la muestra

P_s : peso seco de la muestra

Pt: peso de la tarra o recipiente

Tabla 4-14: Límite Líquido de la regolita.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Ensayos de límites de Atterberg MMP002			
Límite Líquido ASTM D4318			
No de golpes	35	23	15
No de muestra	3	4	5
Peso H+Tara	39.8	37.23	44.33
Peso S+Tara	31.57	29.95	33.66
Peso Tara	16.88	17.41	16.15
% de Humedad	56.02	58.05	60.94

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

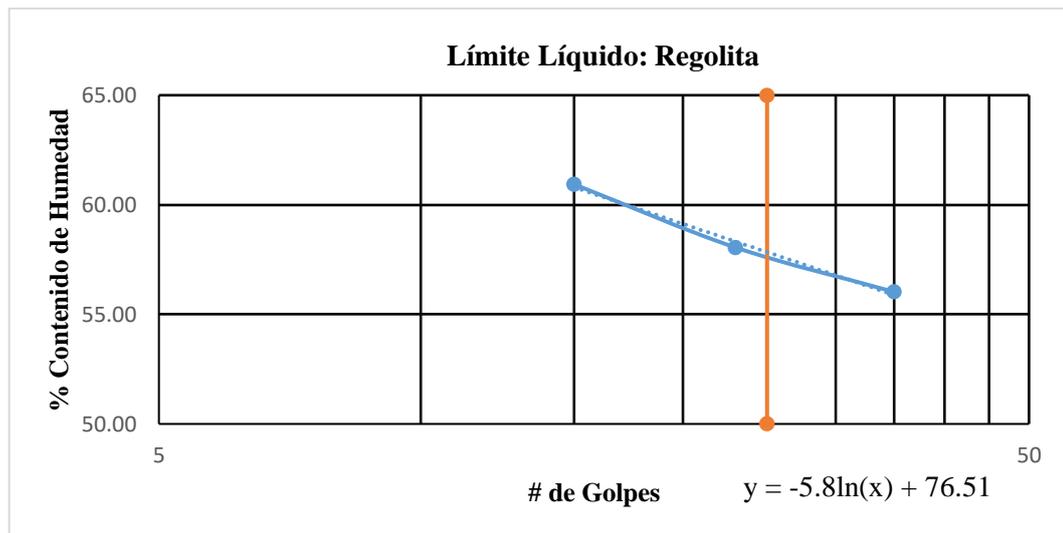


Ilustración 4-9: Gráfica para la obtención del límite líquido de la regolita

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

$$L.L = (-5.8 \ln(25) + 76.51) * 100$$

$$L.L = 57.8\%$$

4.2.3.3 Límite Plástico

Tabla 4- 15: Límite plástico correspondiente a la regolita

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Ensayos de límites de Atterberg MMP002			
Límite Plástico ASTM D4318			
No de muestra	6	7	8
Peso H+Tara	17.46	14.97	13.94
Peso S+Tara	16.27	13.82	12.9
Peso Tara	9.53	7.34	6.98
%de Humedad	17.66	17.75	17.57

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Fórmula de aplicación:

$$L_p = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_t} * 100$$

$$LP = 17.7 \%$$

4.2.3.4 Índice de Plasticidad

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 57.8 \% - 17.7 \%$$

$$IP = 40.2 \%$$

4.2.3.5 Granulometría

Tabla 4-16: Datos para obtención de la granulometría de la regolita

GRANULOMETRÍA				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE
2"		0	0.0	100
1 1/2"		0	0.0	100
1"		0	0.0	100
3/4"	19	0	0.0	100
1/2"	12.5	0	0.0	100
3/8"	9.5	0	0.0	100
4	4.7	0	0.0	100
10	2	0	0.0	100
40	0.43	0.77	0.79	99.21
200	0.075	5.69	5.83	94.17

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

GRAVA	0.0 %
ARENA	6.0 %
FINOS	94.0 %

Peso de la muestra húmeda: 134.88 g

Peso de la muestra seca: 97.59 g

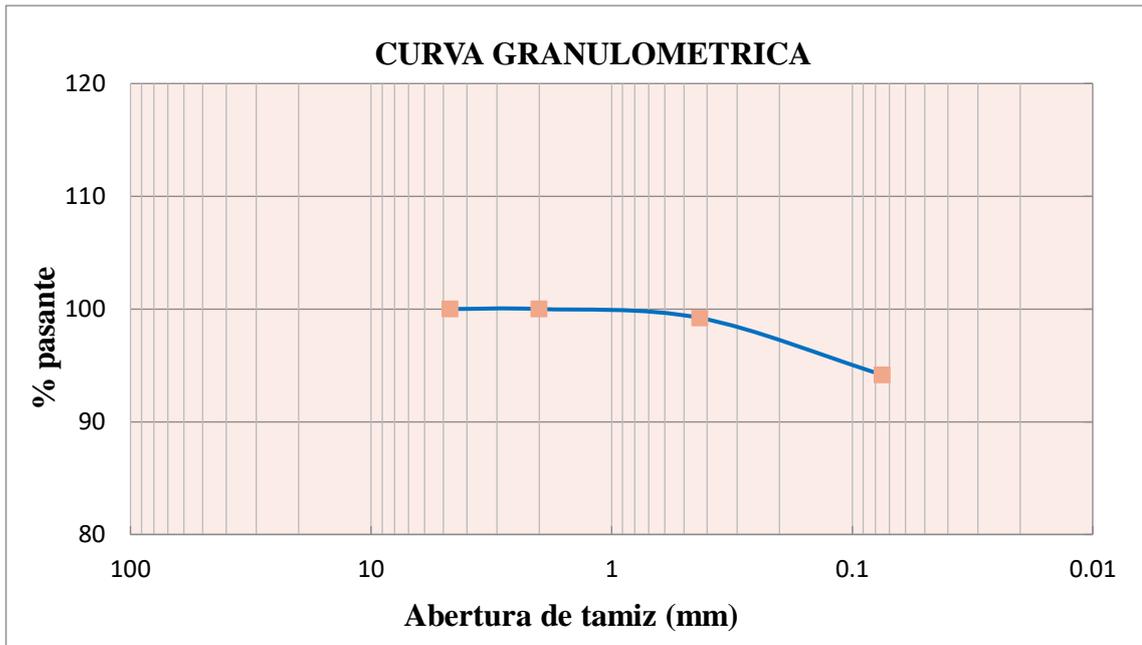


Ilustración 4-10: Curva granulométrica correspondiente a la regolita

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.2.3.6 Sistema de Clasificación SUCS

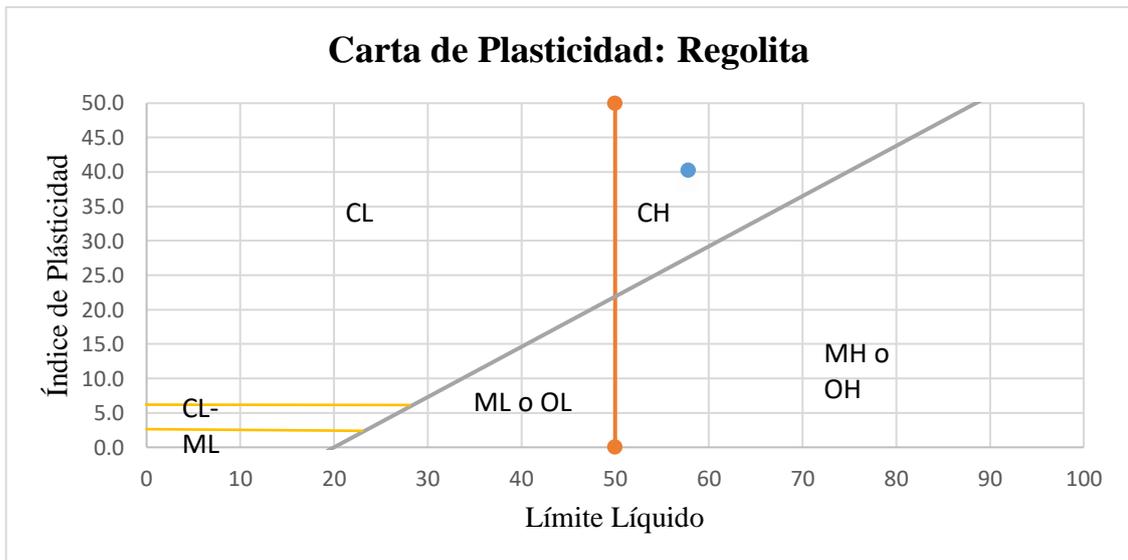


Ilustración 4-11: Carta de Plasticidad correspondiente a la Regolita

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se puede observar en la carta de plasticidad que la regolita pertenece al tipo de suelo CH.

Tabla 4-17: Sistema de Clasificación SUCS para suelos de granulometría fina

FINOS ($\geq 50\%$ pasa 0.08 mm)			
Tipo de suelo	Símbolo	Límite. Liq (wl)	Índice de Plas. Ip
Limos inorgánicos	ML	< 50	< 0.73(Wl-20) O < 4
	MH	> 50	< 0.73(Wl-20)
Arcillas inorgánicas	CL	< 50	> 0.73(Wl-20) > 7
	CH	> 50	> 0.73(Wl-20)
Limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	Wl, seco al horno
	OH	> 50	<75% de Wl seco al aire
Turba	Pt	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	

Fuente: (Cuchillo, 2020)

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

La regolita como resultado se trata de un suelo fino que tiene un porcentaje de 94% de material pasante por la malla 200, con Límite Líquido mayor al 50% (57.8%), con un índice plástico de 40.2 %, con los datos obtenidos se puede conocer que este tipo de suelo es **CH**: arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.

4.2.3.7 Sistema de Clasificación AASHTO

Tabla 4-18: Sistema de Clasificación AASHTO para material granular y fino

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa por el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-6				
Tamizado % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40 (425um)	30 máx	50 máx	51 máx	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200 (75um)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 máx	36 máx	36 Máx
Consistencia											
Límite líquido	---		---	B				40 máx	41 min	40 máx	41 Min
Índice de plasticidad	6 máx		N.P.	B				10 máx	10 máx	11 min	11 Min
Tipos de materiales característicos	Cantos Grava y arena		Aren a fina	Grava y arena limoarcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: Gavidia, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

Según AASHTO el suelo correspondiente a la regolita es de tipo fino, ya que el 94% es pasante por la malla 200, es decir es mayor al 35%, se calcula el índice de grupo para tener una descripción exacta, teniendo como resultado:

Fórmula:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F: Porcentaje pasante en la malla 200.

LL: Límite Líquido

IP: Índice de Plasticidad

$$IG = (94 - 35)(0.2 + 0.005(57.8 - 40)) + 0.01(94 - 15)(40.2 - 10)$$

$$IG = 40$$

Al obtener un IG muy elevado se le otorga el grupo **A-7-6**, tratándose de un suelo arcilloso de regular a mala calidad.

4.2.4 Comparativa entre SUCS y AASHTO

Tabla 4-19: Comparativa entre los Sistemas SUCS y AASHTO.

Soil Group in AASHTO System	Comparable Soil Groups in USCS		
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-a	SW, SP, GM, SM	GP	-
A-3	SP	-	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	-	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	-	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	-	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, CH	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML , OL, SC	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH , CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

Fuente: Boiero, 2020

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Material de Transición	
Caolín	
Regolita	

Material de Transición: Contiene Caolín y Feldespato

Se puede observar la Ilustración se puede realizar una relación entre estos dos sistemas, en este caso mediante SUCS se ha obtenido que se trata de la clasificación **SM** y mediante AASHTO que pertenece a **A-2-4**, esta relación es muy probable.

SM	Arenas Limosas, mezclas de arena y limo.
A-2-4	Gravas y arenas limo arcillosas

Caolín

Este material según SUCS es de tipo **ML** y según AASHTO se considera del grupo **A-7-5**, con base en la Ilustración, si es posible encontrar este tipo de relación entre los dos sistemas.

ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
A-7-5	Suelos arcillosos

Regolita

La regolita mediante SUCS se determinó que se trata de un tipo de suelo **CH** y por medio de AASHTO se obtuvo que se pertenece al grupo **A-7-6**, observando la ilustración, este tipo de coincidencia en la obtención de resultados en muy probable.

CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
A-7-6	Suelos arcillosos de mala calidad.

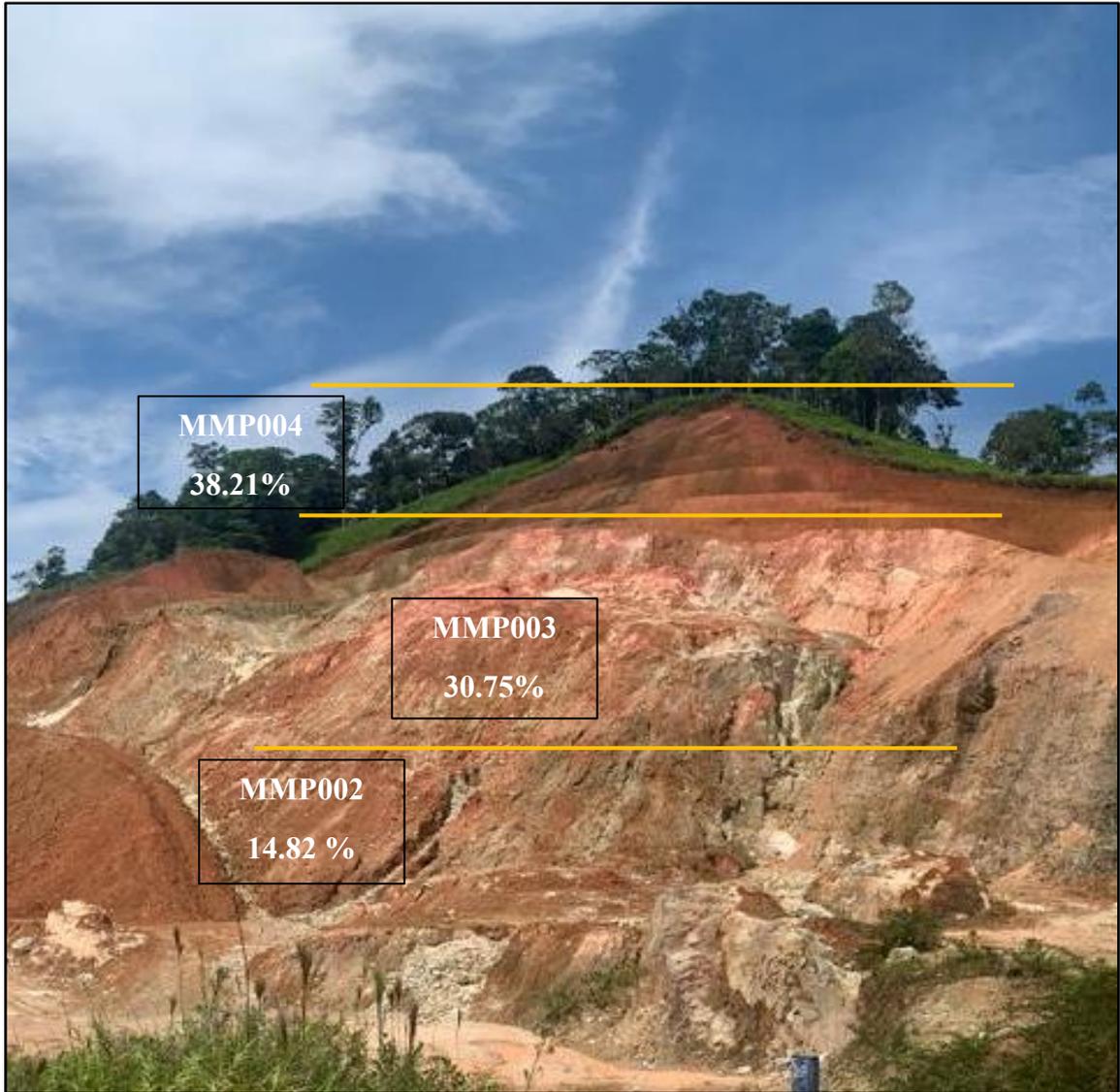
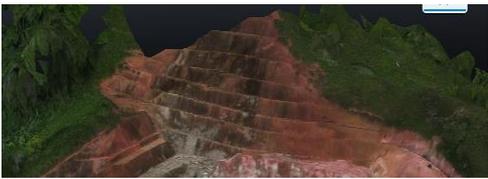
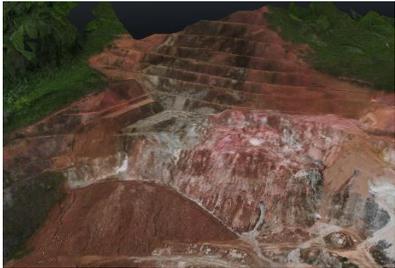


Ilustración 4-12: Porcentaje de humedad natural correspondiente a las capas litológicas

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Tabla 4-20: Tabla del porcentaje de humedad del talud según su tipo de material.

 <p>REGOLITA: 38.21%</p>	 <p>CAOLÍN: 30.75%</p>
 <p>TRANSICIÓN: 14.82%</p>	<p>TALUD 1</p> 

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Análisis

El porcentaje (38.21%) en la parte de la cresta del talud es mayor al porcentaje (30.75%) representativo de la capa de caolín y al porcentaje (14.82%) presente en la parte mayoritaria que es conformada por material de transición (mezcla entre feldespatos y caolín).

Al existir un aumento de la cota, se presenta un aumento también de la humedad natural saturada, lo que puede servir para justificar el deslizamiento que ha existido, el material ubicado en la cresta del talud es muy húmedo, es decir tiene una presencia de agua considerable.

4.3 Resultados específicos para análisis de estabilidad en SLIDE

4.3.1 Peso Específico

Para conocer el peso específico de cada material que conforma el talud se debe saber lo siguiente:

W_p : Peso del picnómetro seco

$W_p + W_w$: Peso del picnómetro + agua

W_s : peso del suelo seco

$W_p + W_s + W_w$: Peso del picnómetro + muestra + agua

W_a : Peso del agua Desplazada

Y_w : Peso específico del agua

V_s : Volumen del agua desplazada

Peso Específico de La Regolita

Datos:

Wp: 49 gr

Wp + Ww: 148gr

Ws: 41 gr

Wp + Ws + Ww: 175 gr

Yw: Peso específico del agua (1 gr/cm³)

- 1) Obtener el peso del agua Desplazada

$$W_a = (W_p + W_w) + W_s - (W_p + W_s + W_w)$$

$$W_a = (148 \text{ gr}) + 41\text{gr} - (175 \text{ gr}) = \mathbf{14 \text{ gr}}$$

- 2) Obtener el volumen de agua desplazada

$$V_s = \frac{W_a}{Y_w}$$

$$V_s = \frac{14 \text{ gr}}{1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = \mathbf{14 \text{ cm}^3}$$

- 3) Obtener la densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{41 \text{ gr}}{14\text{cm}^3} = \mathbf{2.928\text{gr/cm}^3}$$

- 4) Obtener el peso específico

$$Y_s = \rho * g$$

$$Y_s = 2928 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} = 28.723 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = \mathbf{28 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}}$$

Peso Específico Del Caolín

Datos:

Wp: 49 gr

Wp + Ww: 148gr

Ws: 40 gr

Wp + Ws + Ww: 173 gr

Yw: Peso específico del agua (1 gr/cm³)

- 1) Obtener el peso del agua Desplazada

$$W_a = (W_p + W_w) + W_s - (W_p + W_s + W_w)$$

$$W_a = (148 \text{ gr}) + 40\text{gr} - (173 \text{ gr}) = \mathbf{15 \text{ gr}}$$

- 2) Obtener el volumen de agua desplazada

$$V_s = \frac{W_a}{Y_w}$$

$$V_s = \frac{14 \text{ gr}}{1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 15 \text{ cm}^3$$

3) Obtener la densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{40 \text{ gr}}{15 \text{ cm}^3} = 2.66 \text{ gr/cm}^3$$

4) Obtener el peso específico

$$Y_s = \rho * g$$

$$Y_s = 2660 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 26.09 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 26 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

Peso Específico Del Material De Transición

Datos:

Wp: 49 gr

Wp + Ww: 148gr

Ws: 40 gr

Wp + Ws + Ww: 172 gr

Yw: Peso específico del agua (1 gr/cm³)

1) Obtener el peso del agua Desplazada

$$W_a = (W_p + W_w) + W_s - (W_p + W_s + W_w)$$

$$W_a = (148 \text{ gr}) + 40 \text{ gr} - (172 \text{ gr}) = 16 \text{ gr}$$

2) Obtener el volumen de agua desplazada

$$V_s = \frac{W_a}{Y_w}$$

$$V_s = \frac{14 \text{ gr}}{1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 16 \text{ cm}^3$$

3) Obtener la densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{40 \text{ gr}}{16 \text{ cm}^3} = 2.5 \text{ gr/cm}^3$$

4) Obtener el peso específico

$$Y_s = \rho * g$$

$$Y_s = 2500 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 24.525 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 24 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

4.3.2 Ángulo de fricción y cohesión

Para obtener el resultado para ángulo de fricción y cohesión se ha realizado un ensayo no consolidado no drenado (ASTM D 2850), respectivamente para la regolita y caolín, por otra parte, el material de transición al ser una arena se puede verificar su ángulo de fricción de acuerdo con la granulometría.

Material de Transición

De acuerdo con la clasificación SUCS se trata de Arenas limosas, mezclas de arena y Limo grava y arena limoarcillosa, se presenta la siguiente ilustración para proceder a obtener los valores correspondientes:

Tabla 4-21: Valores típicos de cohesión y ángulo de fricción de suelos y rocas

Descripción		Ángulo de Fricción
Tipo	Material	(°)
Sin Cohesión	Arena suelta, tamaño de grano uniforme	28-34
	Arena densa, tamaño de grano uniforme	32-40
	Arena suelta, diferentes tamaños de granos	34-40
	Arena densa, diferentes tamaños de granos	38-46
	Grava, tamaño de grano uniforme	34-37
	Arena y grava, mezcla de tamaños	48-45
	Roca fracturada o volada: Basalto	40-50
	Roca fracturada o volada: Granito	45-50
	Roca fracturada o volada: Limolita	35-40
	Roca fracturada o volada: Arenisca	35-45
	Roca fracturada o volada: Lutitas	30-35

Fuente: Herrera, 2021

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Caolín

Para este material se obtiene mediante laboratorio lo siguiente:

Cohesión: $0.7 \frac{Kg}{cm^2} = 7000 \frac{Kg}{m^2}$

Ángulo de Fricción: 10

Para que el dato correspondiente sea el requerido por el programa SLIDE, la cohesión debe presentar en unidad de $24 \frac{KN}{m^2}$, por lo tanto:

$$\text{Cohesión} = 7000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Cohesión} = 68.67 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Regolita

Para este material se obtiene mediante laboratorio lo siguiente:

$$\text{Cohesión: } 0.47 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 4700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Ángulo de Fricción: 17

Para que el dato correspondiente sea el requerido por el programa SLIDE, la cohesión debe presentar en unidad de $24 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$, por lo tanto:

$$\text{Cohesión} = 4700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Cohesión} = 46.107 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

4.4 Métodos de Estabilidad de Talud

De los trabajos de campo tanto en el levantamiento geotécnico, y la toma y posterior análisis de muestras en laboratorio; se determina que el talud es conformado de diferentes capas de material sedimentario predominando suelos tipo arcillosos que por la climatología de la zona generalmente permanecen húmedos, pero no presentan fluidos internos que se encuentren en movimiento, además la geomorfología de la zona por ser parte de estribaciones de cordillera presenta flancos de ligera a gran inclinación propiciando un buen drenaje por ende al haber una precipitación no se llega a un punto de saturación de agua en el subsuelo que genere algún nivel freático que afecte al talud. Los materiales arcillosos contienen plasticidad generando que el suelo tienda a ser impermeable por naturaleza, pero si con un nivel de humedad representativo de carácter estático. Se define al talud como un suelo de acumulación de material de transición, caolín y regolita. Materiales con los cuales se realizaron los ensayos respectivos para poder determinar que se trata de una superficie con presencia de humedad, el caolín y regolita contienen plasticidad por ser un tipo de arcilla, mientras que el material de transición es un material arenoso que no presenta dicha plasticidad. Con todo lo registrado se puede aplicar el uso de programas como el Slide y el AutoCAD que nos ayudan a calcular el factor de seguridad en cada uno de los perfiles del talud a estudiar.

Se ingresaron los datos respectivos que se pueden observar en la tabla 14-4, a cada uno de los estratos en el software para posterior a ello realizar el análisis de la estabilidad del talud, con los dos métodos ingresados a cada uno de los perfiles que se tomaron en el levantamiento topográfico.

Tabla 4-22: Propiedades utilizadas en el software SLIDE

PROPIEDADES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA				
Propiedades	Peso unitario (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de fricción	Color
Regolita	28	68.67	17	
Caolín	26	46.107	10	
Transición	24	0	45	

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Para un mayor énfasis de cómo se encuentra la estabilidad del talud se describe a continuación cada uno de los perfiles que se obtuvieron del talud en la topografía:

4.3.1 PERFIL 00

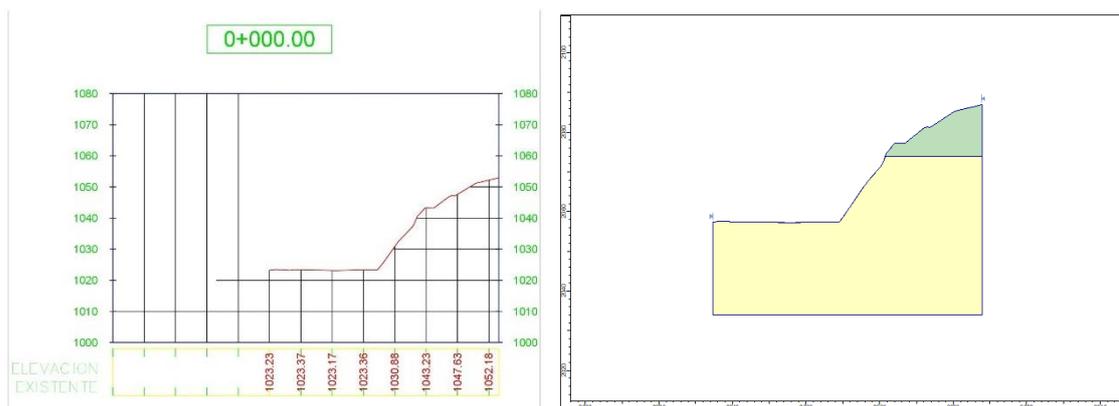


Ilustración 4-13: Diseño de talud a base del perfil 00

Fuente: (Software SLIDE, 2023)

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

En este perfil se visualiza una elevación máxima de 1054.18m. y una elevación minina de 1023.23m., aproximadamente en la elevación 1040m. empieza la formación o acumulación del caolín con mayor pureza; entre tanto desde la elevación 1000m. a la 1040m., tenemos la presencia del material de transición. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

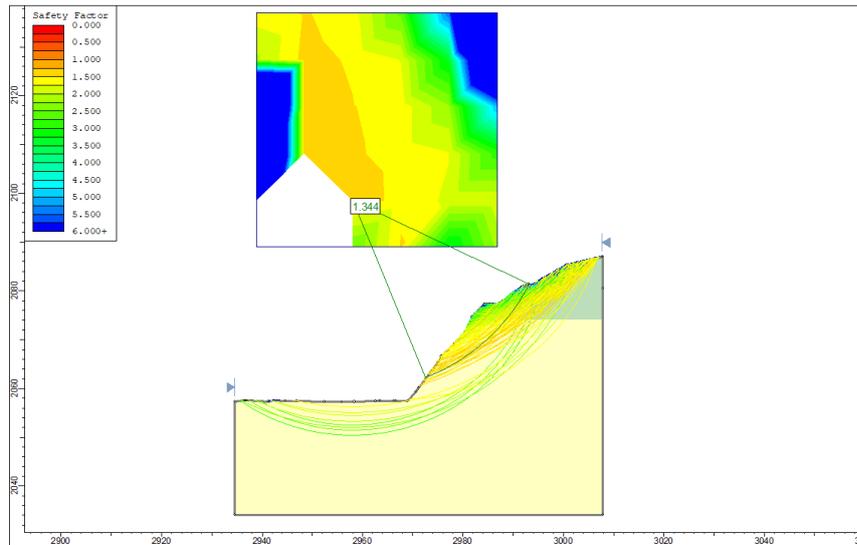


Ilustración 4-14: Análisis de estabilidad del perfil 00

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se ingresaron los datos de los materiales correspondientes al perfil 00 (Caolín-Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 1.344 con el método SPENCER y 1.163 con el método GLE como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta parte o zona del talud se encuentra estable. EL factor de seguridad tiene una relación entre las fuerzas tanto de resistencia y aquellas que provocan a los deslizamientos debido al peso propio de los suelos. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.2 PERFIL 020

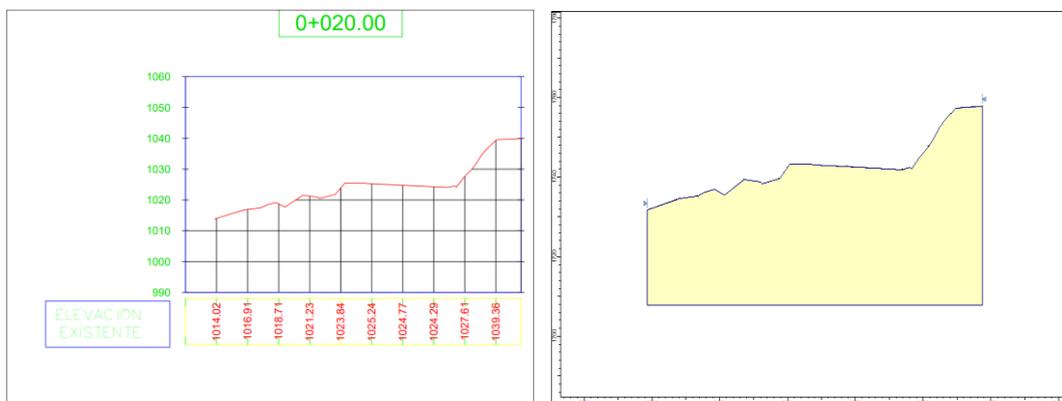


Ilustración 4-15: Diseño de talud a base del perfil 020

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 020 tiene una elevación máxima de 1039.36m. y una elevación mínima de 1014.02 m., esta conformado por material de transición. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

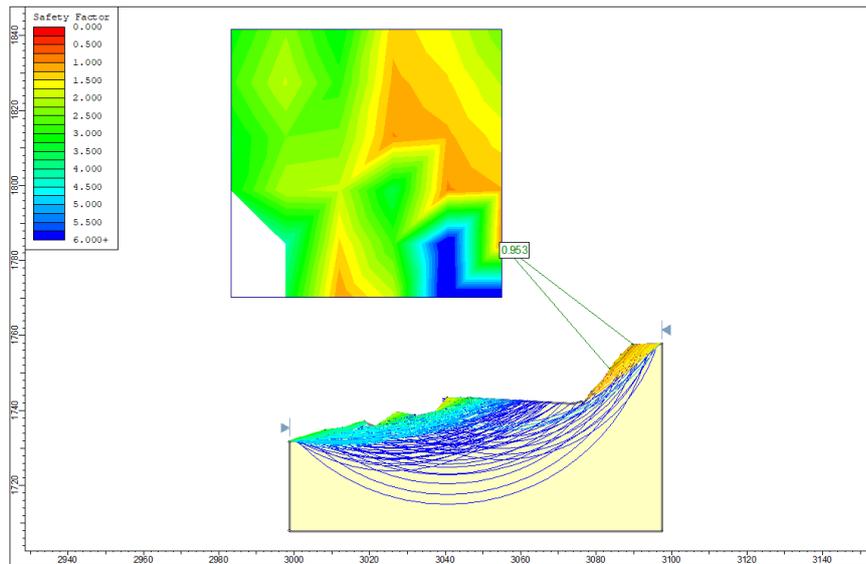


Ilustración 4-16: Análisis de estabilidad del perfil 020

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se ingresaron los datos del material correspondientes al perfil 020 (Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 0.963 en los dos métodos aplicados como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta parte o zona del talud se encuentra inestable. Existe una pendiente irregular en comparación al perfil antes mencionado por lo que genera posibles fallos en esa pendiente del terreno. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.3 PERFIL 040

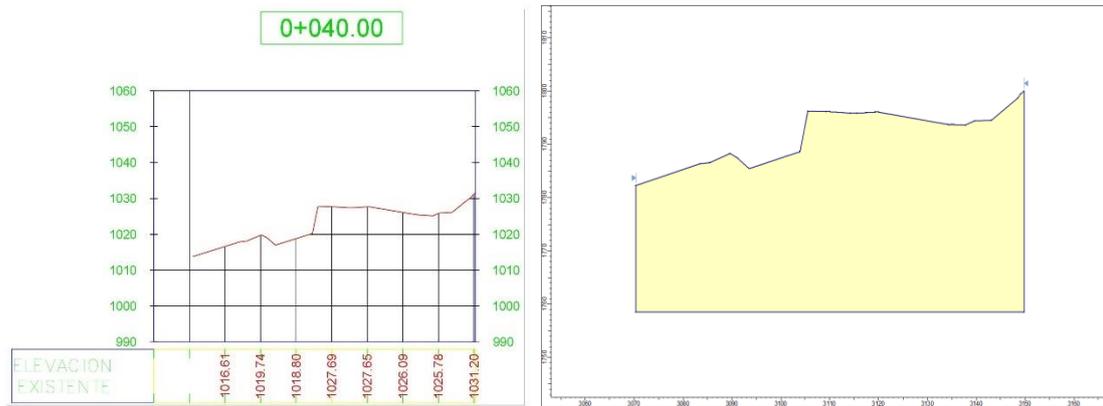


Ilustración 4-17: Diseño de talud a base del perfil 040

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 040 consta con una elevacion maxima de 1031.20m. y una elevacion minima de 1016.61m., esta conformado por material de transición, posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

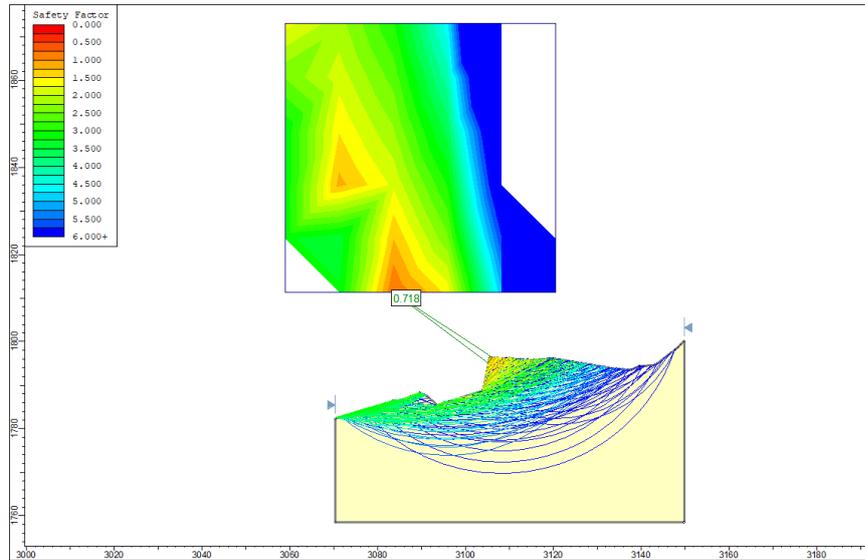


Ilustración 4-18: Análisis de estabilidad del perfil 040

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se completaron los datos del material correspondientes al perfil 040 (Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 0.718 en el método SPENCER y 0.719 en el método GLE como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta parte o zona del talud se encuentra inestable y que muestra una pendiente con fallo o ruptura casi inédita del terreno. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.4 PERFIL 060

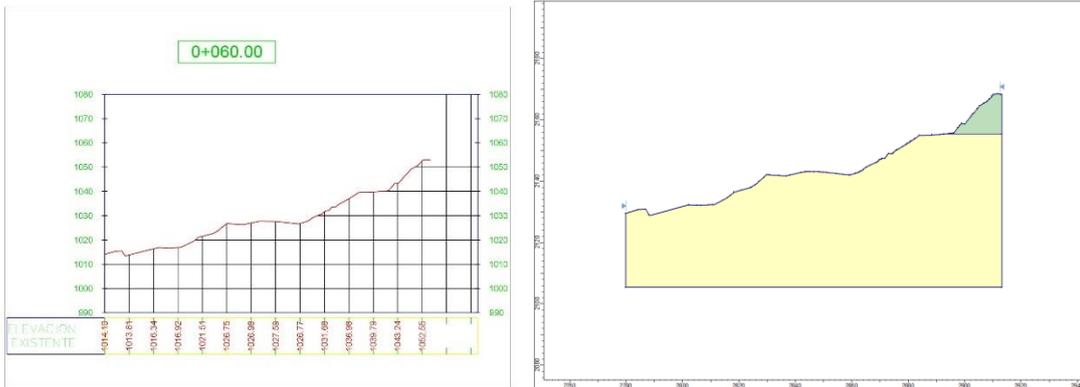


Ilustración 4-19: Diseño de talud a base del perfil 060

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Generando el talud correspondiente a este perfil a base del programa AutoCAD, se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE. El perfil 060 tiene una elevación máxima de 1062.65m, y una mínima de 1014.19m., alrededor de la elevación 1043m., empieza la formación o acumulación del caolín con mayor pureza, mientras que desde la elevación 900m. a la 1040m. aproximadamente tendremos la presencia del material de transición. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

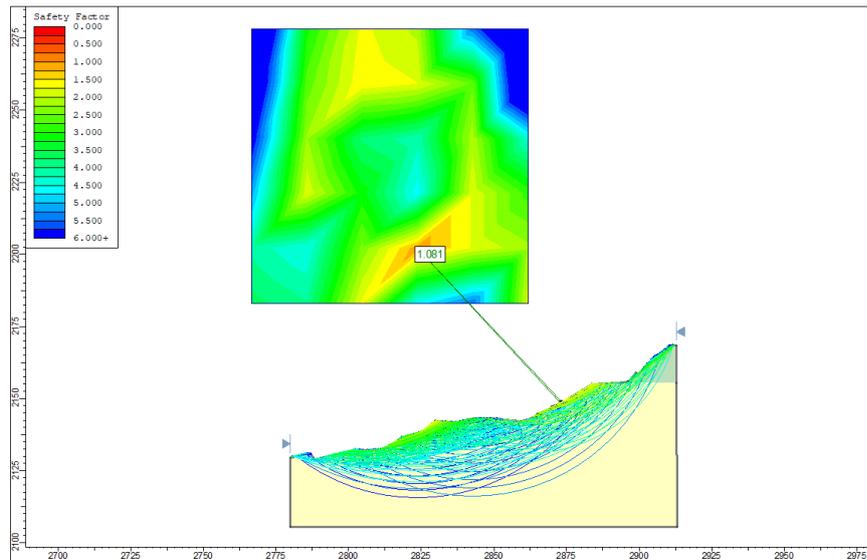


Ilustración 4-20: Análisis de estabilidad del perfil 060

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Ingresados los datos del material correspondientes al perfil 060 (Caolín - Transición), para realizar el análisis de estabilidad, en los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 1.081 en los dos métodos aplicados como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta zona del talud se encuentra en un rango de estable a inestable, es decir, que su factor de seguridad no es mayor a uno, que es un valor mínimo para considerar estable. Un rango de 1.5 o más es considerado firme o seguro y tendera a no correr riesgo alguno, y el simple hecho que nos presente un valor cercano a este nos determina que el talud se encuentra en un punto de ruptura. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.5 PERFIL 080

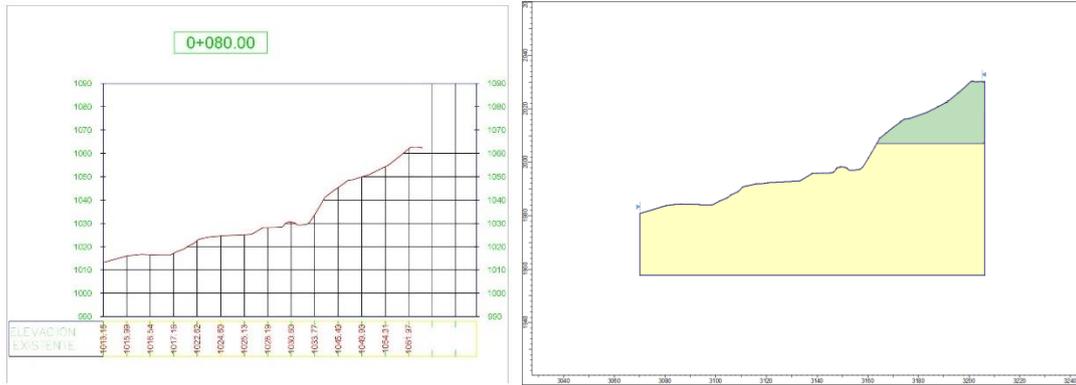


Ilustración 4-21: Diseño de talud a base del perfil 080

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 080 tiene una elevación máxima de 1061.97m. y una mínima de 1013.16m., alrededor de la elevación 1046m. empieza la formación o acumulación del caolín con mayor pureza, mientras que desde la elevación 900m. a la 1046m. aproximadamente, tendremos la presencia del material de transición. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

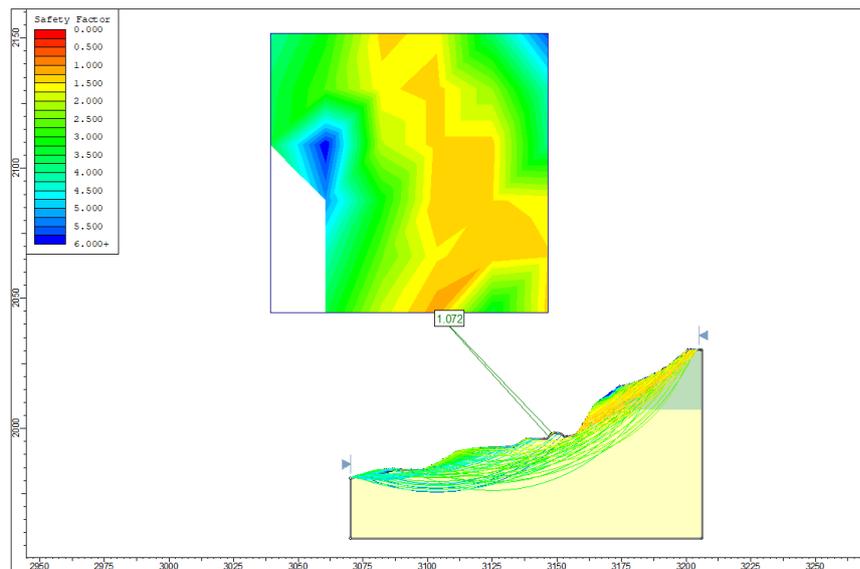


Ilustración 4-22: Análisis de estabilidad del perfil 080

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se ingresaron los datos del material correspondientes al perfil 080 (Caolín - Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 1.072 en los dos métodos aplicados como su factor de seguridad, dándonos a entender que al igual que el perfil 060 el talud se encuentra en un rango de estable a inestable, es decir, que su factor de seguridad no es mayor a uno, que es un valor mínimo para considerar estable. Un rango de 1.5 o más es considerado firme o seguro y tendera a no correr riesgo alguno, el simple hecho que nos presente un valor cercano a este nos determina que el talud se encuentra en un punto de ruptura. Se toma en cuenta que en este perfil el material de caolín y la elevación aumenta a diferencia del perfil 060. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.6 PERFIL 0100

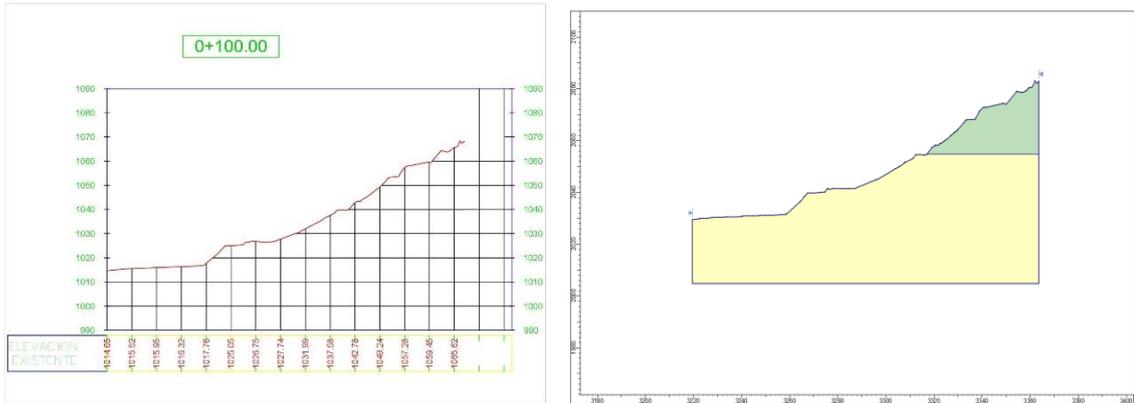


Ilustración 4-23: Diseño de talud a base del perfil 0100

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 0100 tiene una elevación máxima de 1065.62m. y una mínima de 1014.66m., en la elevación 1043m. aproximadamente empieza la formación o acumulación del caolín más puro, mientras que cerca de la elevación 900m. a la 1043m. tendremos la presencia del material de transición. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

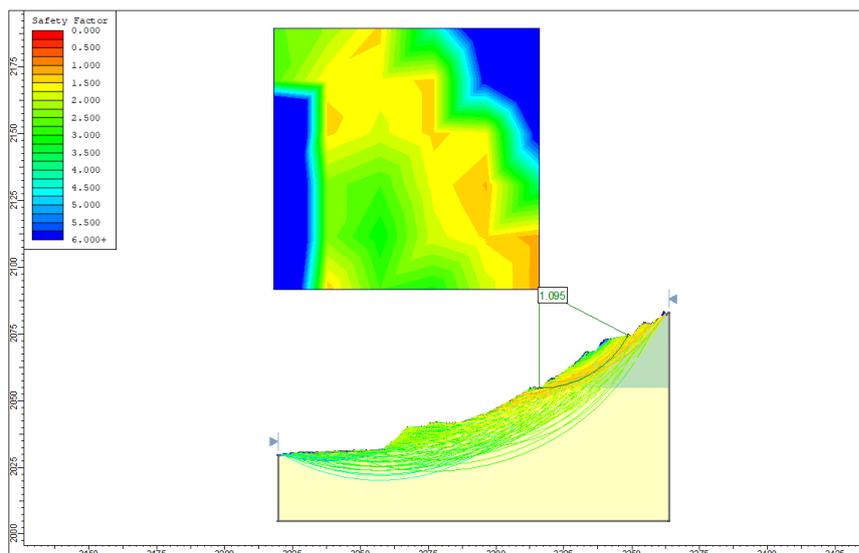


Ilustración 4-24: Análisis de estabilidad del perfil 0100

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se ingresaron los datos del material correspondientes al perfil 0100 (Caolín - Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 1.095 en el método SPENCER y de 1.079 en el método GLE como su factor de seguridad, deduciendo que al igual que el perfil 060 y 080 esta zona del talud se encuentra en un punto de ruptura. Se toma en cuenta que en este perfil el material de caolín y la elevación se mantienen al del perfil 080. Se considero el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.7 PERFIL 0120

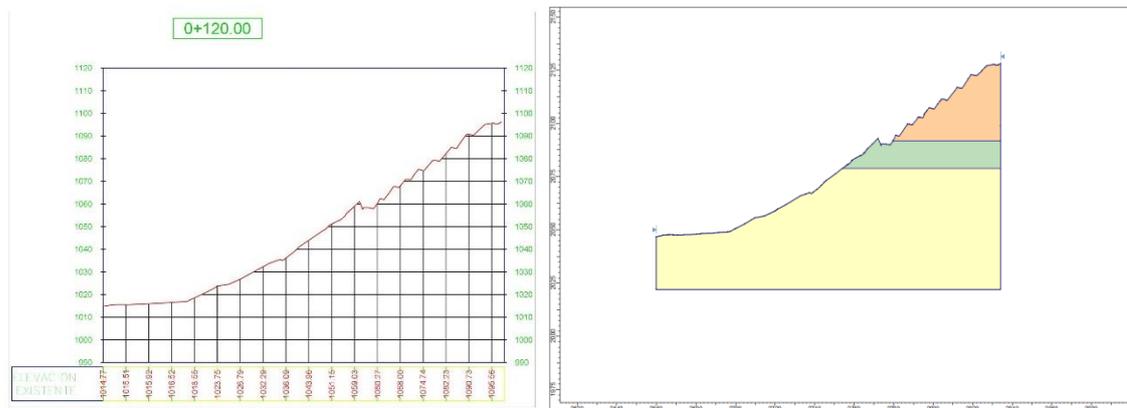


Ilustración 4-25: Diseño de talud a base del perfil 0120

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 0120 tiene una elevación máxima de 1096.66m. y una mínima de 1014.77m., cerca de la elevación 1040m. hasta la elevación 1060m. empieza la formación o acumulación del caolín con mayor pureza, mientras que desde la elevación 900m a la 1040m aproximadamente tendremos la presencia del material de transición, a diferencia de los otros perfiles este cuenta con presencia de regolita alrededor de la elevación 1060m. hasta la elevación 1096,66m. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

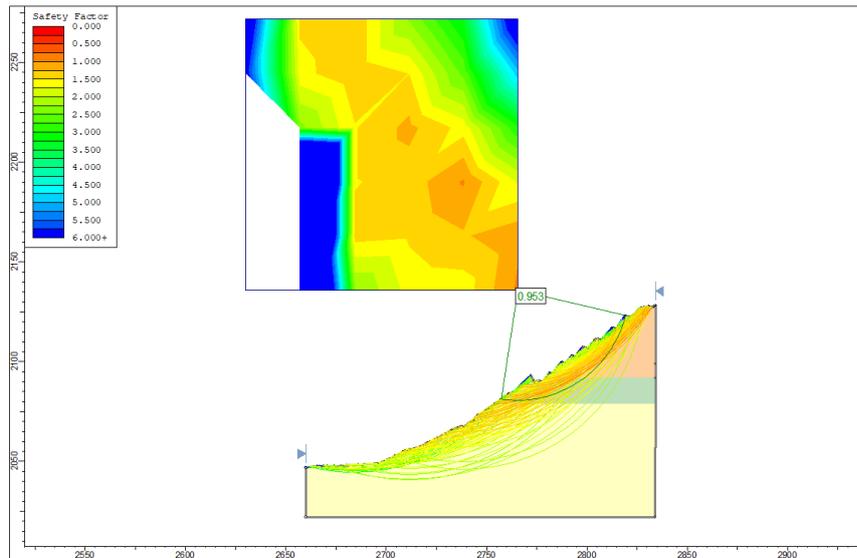


Ilustración 4-26: Análisis de estabilidad del perfil 0120

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Ingresados los datos del material correspondientes al perfil 0120 (Regolita - Caolín - Transición), se realiza el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 0.953 en los dos métodos aplicados como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta zona del talud se encuentra inestable por la presencia de material que contiene mayor porcentaje de humedad. Se toma en cuenta que este perfil cuenta con la mayor elevación y está conformado por los tres materiales o tipos de suelo, lo cual lo hace apta para deducir el estado actual del talud. El factor de seguridad tiene una relación entre las fuerzas tanto de resistencia y aquellas que provocan a los deslizamientos debido al peso propio de los suelos. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.8 PERFIL 0140

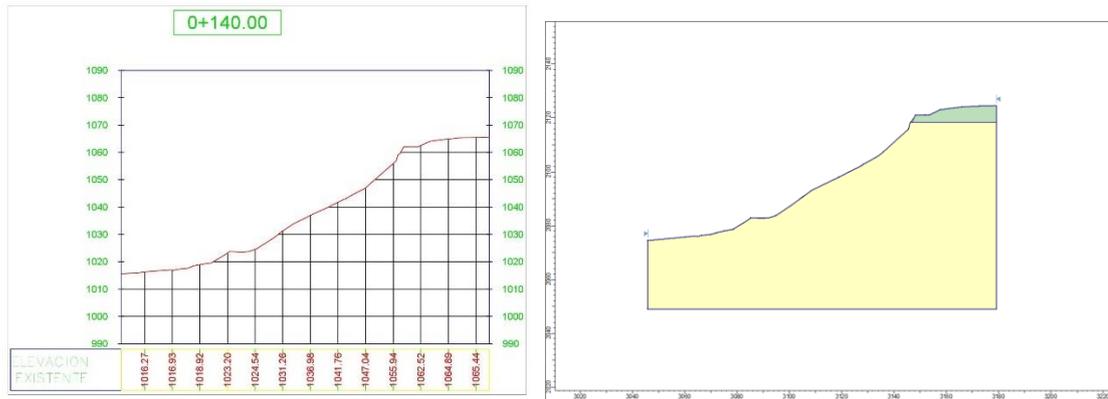


Ilustración 4-27: Diseño de talud a base del perfil 0140

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 0140 contiene una elevación máxima de 1065.44m. y una mínima de 1016.27m., en la elevación 1060m. más o menos, empieza la formación o acumulación del caolín con mayor pureza, mientras que desde la elevación 900m. a la 1060m. aproximadamente tendremos la presencia del material de transición. Posterior a ellos cada material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

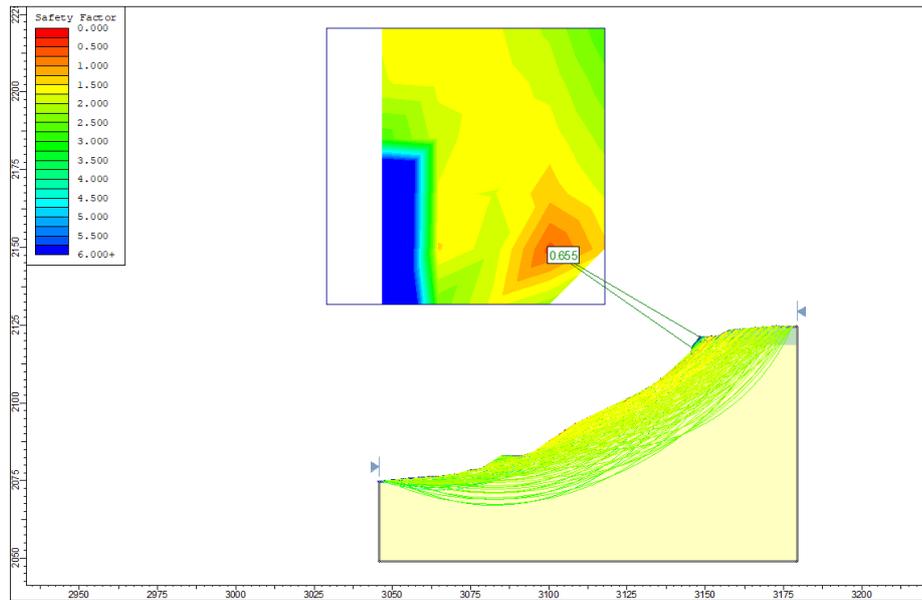


Ilustración 4-28: Análisis de estabilidad del perfil 0140

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se ingresaron los datos del material correspondientes al perfil 0140 (Caolín - Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 0.665 en el método SPENCER y 0.494 en el método GLE como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta zona del talud se encuentra inestable. Se toma en cuenta que en este perfil tiene una elevación con una pendiente superpuesta por lo que la hace un terreno inestable. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

4.3.9 PERFIL 0160

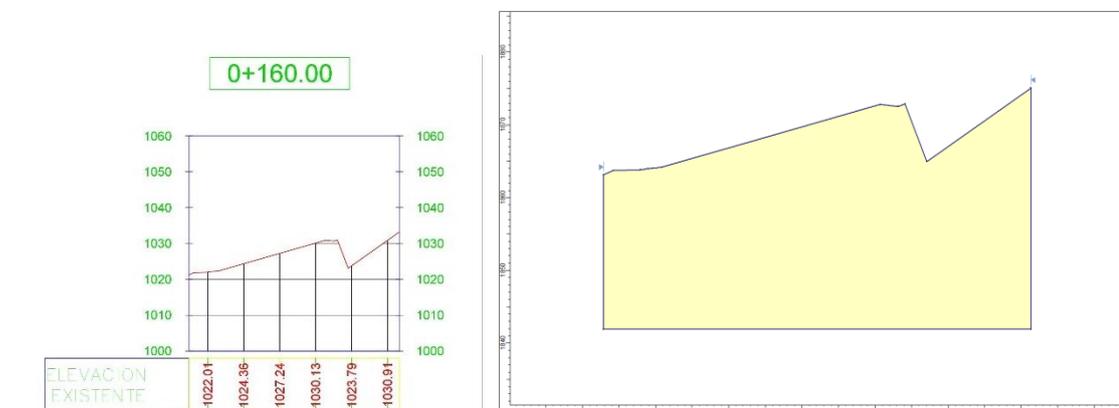


Ilustración 4-29: Diseño de talud a base del perfil 0160

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

El perfil 0160 tiene una elevación máxima de 1030.91m. y una elevación mínima de 1022.01m., esta conformado por material de transición. Posterior a ellos el material con sus respectivos datos fueron ingresados al programa SLIDE con el talud generando en el software AUTOCAD correspondiente a este perfil y se procedió a realizar el cálculo de factor de seguridad con los dos métodos correspondientes, SPENCER/GLE.

ANÁLISIS:

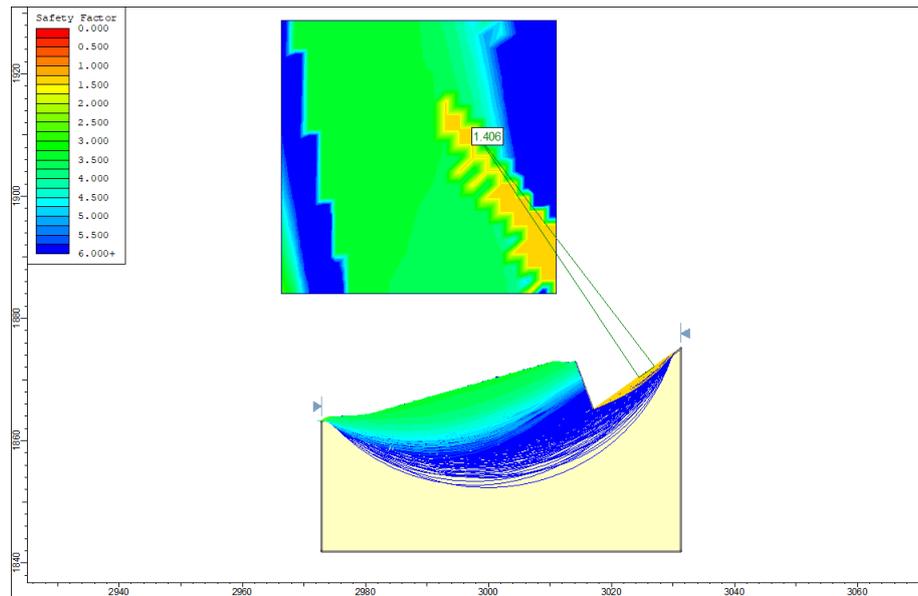


Ilustración 4-30: Análisis de estabilidad del perfil 0160

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se ingresaron los datos del material correspondientes al perfil 0160 (Transición), para realizar el análisis de estabilidad. En los dos métodos empleados se obtuvieron valores de 1.406 en los dos métodos aplicados como su factor de seguridad, dándonos a entender que esta parte o zona del talud se encuentra estable. El factor de seguridad tiene una relación entre las fuerzas tanto de resistencia y aquellas que provocan a los deslizamientos debido al peso propio de los suelos. En estos análisis se consideraron el peso propio de los materiales involucrados ya que en la mina no cuentan con infraestructura sobre el talud que provoque causas directas de desequilibrio.

Análisis Final

Definiendo un promedio del factor de seguridad total del talud a base del análisis de estabilidad realizado a cada uno de los perfiles, se obtuvo que tiene un 1.033 de factor de seguridad a base del método SPENCER dando a entender que el talud se encuentra en estado de ruptura, en cuanto al método GLE/ Morgenstern se obtuvo un promedio de 0.992 como factor de seguridad donde el terreno se encuentra inestable con estado de movimiento de masa, por lo que se propone realizar medidas de remediación. Con el transcurso del tiempo el talud generara molestias por el efecto de la humedad, el terreno está ubicado en una zona de clima variado, estas generan un aumento en la inestabilidad por el cambio constante de la humedad del terreno.

Tabla 4-23: Factores de seguridad obtenidos

FACTOR DE SEGURIDAD		
PERFIL	SPENCER	GLE/Morgenstern-Price
00	1.344	1.163
020	0.963	0.963
040	0.718	0.719
060	1.081	1.081
080	1.072	1.072
100	1.095	1.079
120	0.953	0.953
140	0.665	0.494
160	1.406	1.406
PORMEDIO TOTAL FINAL	1.033	0.992

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

4.5 Métodos de Remediación

Como se obtuvo que el factor de seguridad es menor a 1.5, dotamos que el talud estudiado es inestable e inseguro para seguir con las labores mineras de forma constante, es por ello que se procede a técnicas de remediación. En base a todos los antecedentes de la zona a estudiar como son el tipo de suelo y los deslizamientos suscitados en los últimos años podemos proponer los diferentes tipos de remediaciones:

Nos basamos en la tabla de Protodyakonov para optar por las medidas de los bancos y bermas del talud según el material por el que este se encuentra constituido:

Tabla 4-24: Tabla de dimensiones de bermas según Protodyakonov.

<i>Protodyakonov</i>					
<i>Grupo de rocas</i>	<i>Características del macizo rocoso</i>	<i>Altura de un banco en trabajo (m)</i>	<i>Angulo de talud de los bancos (°)</i>		
			EN TRABAJO	PARA UN BANCO	PARA DOS O TRES UNIDADES
Rocas poco resistentes, peñascosas y semipeñascosas $1 \leq f \leq 8$	Rocas sedimentarias, metamórficas y efusivas, altamente meteorizadas y todas las rocas intensamente meteorizadas en los taludes (argilitas, alebrolitas, esquistos)	10 - 15	60 – 70	35 - 45	35 – 40
Rocas suaves y granuladas (pulvurentas) $R_{cop} = 8MP < 1$	Rocas arcillosas, así como también todas las rocas desintegradas	10 - 15	50 – 60	40 - 45	35 – 40
	Rocas arcillo - arenosa	10 - 15	40 – 50	35 - 45	30 – 40
	Rocas gravo – arenosas	10 - 15	Hasta 40	30 - 40	25 – 35

Fuente: Sosa, 2017

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Como el suelo que constituye el talud en su mayoría es suave y granulada, nos enfocamos en ingresar o crear bermas y bancos en base a los datos o dimensiones que nos dan en esta sección de la tabla.

4.5.1 Cierre permanente del talud

En este caso, si la empresa no expande las labores mineras en esta zona, se puede aplicar la técnica de remediación ambiental conocida como hidrosiembra, esta técnica ayuda a la estabilidad del talud previniendo la erosión y meteorización de la misma y ayudando a mejorar el entorno paisajístico. Esta técnica consiste en fomentar sembríos con semillas, abono, estabilizantes, etc., para ser colocadas en el terreno. Con este método es fácil de acceder a aquellas zonas complicadas que presenta el terreno mediante algún equipo de bombeo como una hidro sembradora que realice la mezcla de los componentes necesario y estas ser aplicadas al talud. Anterior a todo este proceso se deberá generar bermas y bancos de seguridad por la elevación que presenta el talud, por ello se diseña a través de los softwares AUTOCAD y SLIDE una que sea óptimo para un cierre permanente de talud:

- Para el material de transición se crearon las dimensiones de Rocas gravo – arenosas.
- Para el material de caolín se crearon con las dimensiones de Rocas arcillo – arenosa.
- Para el material de regolita se crearon con las dimensiones de Rocas arcillo - arenosa al igual que el caolín.
- El ancho de la berma se tomó en cuenta a base de la maquinaria con la que cuenta la empresa, que es de un ancho de 7,9m y con un aumento del 50% de la misma, que nos da un ancho de entre 10-11.85m.

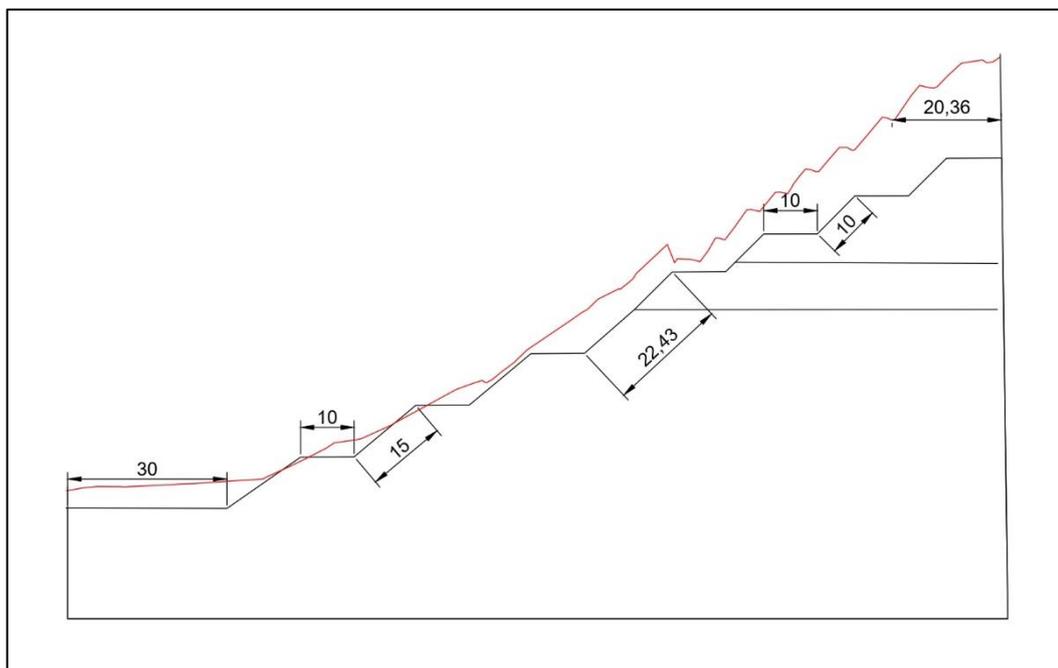


Ilustración 4-31: Propuesta de dimensiones para el cierre permanente de talud.

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

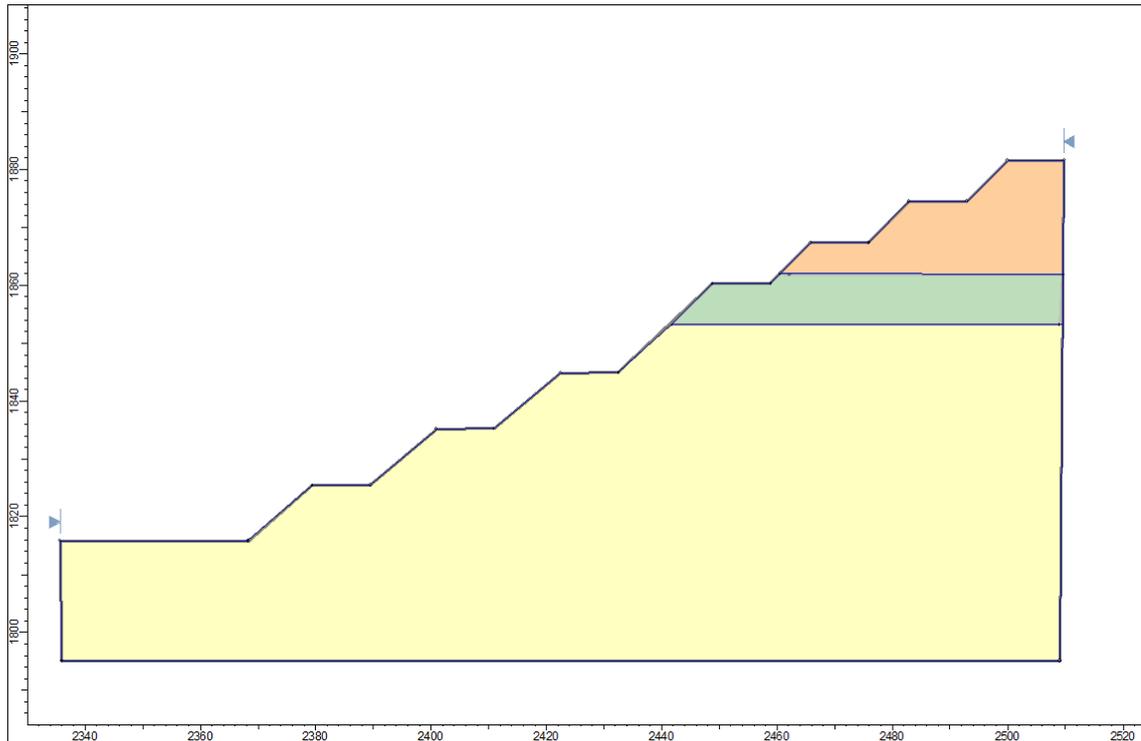


Ilustración 4-32: Talud con el método de remediación de cierre permanente de talud.

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Aplicando todas las dimensiones mencionadas, se crearon bermas en el talud con 10m de ancho y bancos de 15m alto en el terreno de material de transición con los ángulos de 40° . En cuanto al material de caolín y regolita se crearon bermas de 10m de ancho y bancos de 10m de alto con la diferencia de que se contó con ángulos de 35° . Cabe recalcar que un banco tiene una pendiente mayor (22.43m) en la unión del material de caolín y transición para que este de mayor resistencia al material de caolín, y al formarse aproximadamente en el centro del talud no causa mayor defecto. Se enfatiza el hecho de que en la base del talud se formó un terreno plano por la facilidad de realizar este hecho y evitar realizar más bancos y bermas innecesarios. En total se quitaría alrededor de 20.36 de ancho de material en la zona de regolita. Angulo interno de 30°

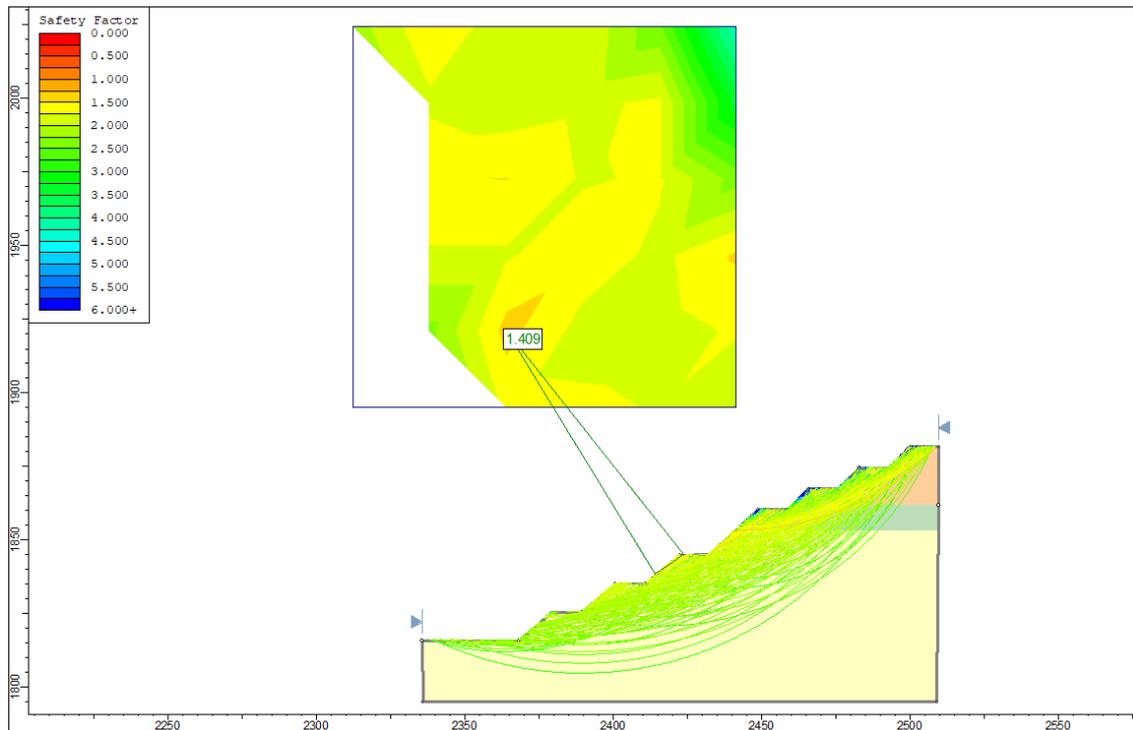


Ilustración 4-33: Análisis de estabilidad en el talud

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Al realizar las bermas en todo el talud se puede observar un incremento de factor de seguridad de 1.409, logrando una estabilidad evidente y que la remediación ha llegado a ser efectiva, para poder culminar con la remediación se realizaría el proceso de hidrosiembra indicado anteriormente logrando así que el talud se mantenga firme a largo plazo.

4.5.2 Cierre progresivo del talud

En este caso, si la empresa continua las labores mineras en el talud, para proyectar una estabilidad a largo plazo se podría establecer un diseño del talud modificando su geometría para generar estabilidad a través de los softwares AUTOCAD y SLIDE, reduciendo su pendiente y obteniendo un modelo más estable con una superficie exigua a deslizamientos. El modelo está basado en bermas de diferentes dimensiones tal como en el primer caso, pero, aquí se aplican las medidas que nos da la tabla de Protodyakonov con las directrices adecuada:

- Para el material de transición se crearon las dimensiones de Rocas gravo – arenosas con el ancho de la maquinaria más el 50% de la misma.
- Para el material de caolín se crearon con las dimensiones de Rocas arcillo - arenosa con el ancho de la maquinaria más el 50% de la misma.

- Para el material de regolita se crearon con las dimensiones de Rocas arcillo - arenosa al igual que el caolín con el ancho de la maquinaria más el 50% de la misma.
- En este caso al igual que el anterior se optó por un ancho de berma de 10m

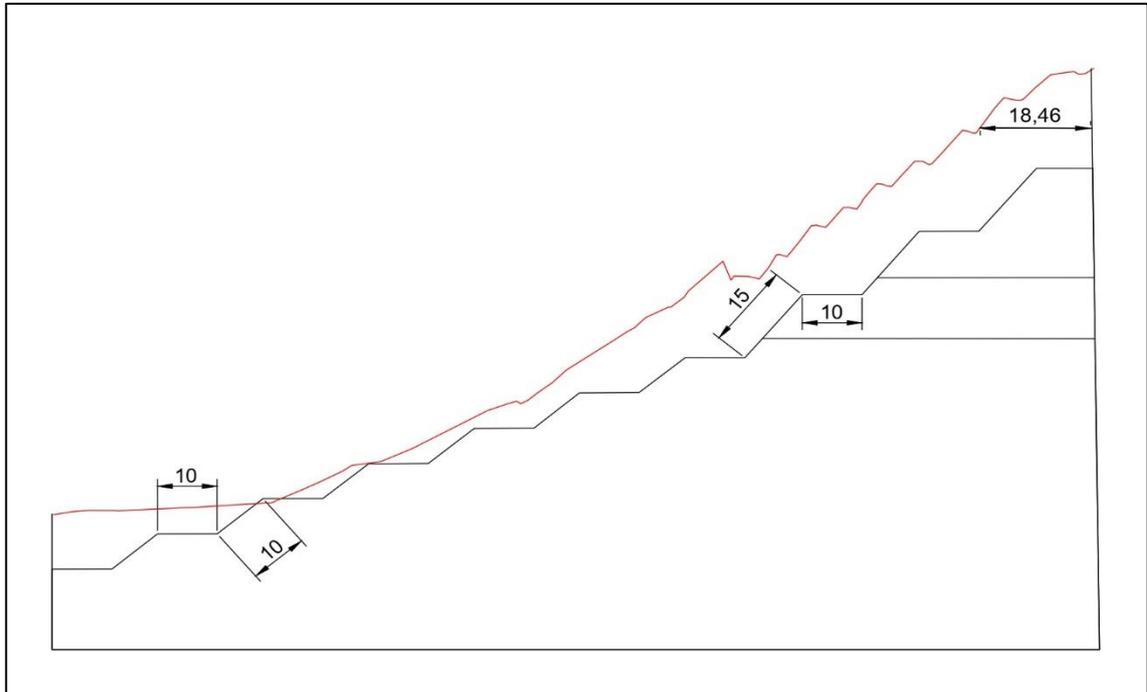


Ilustración 4-34: Propuesta de mediciones en el talud de cierre progresivo de talud.

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

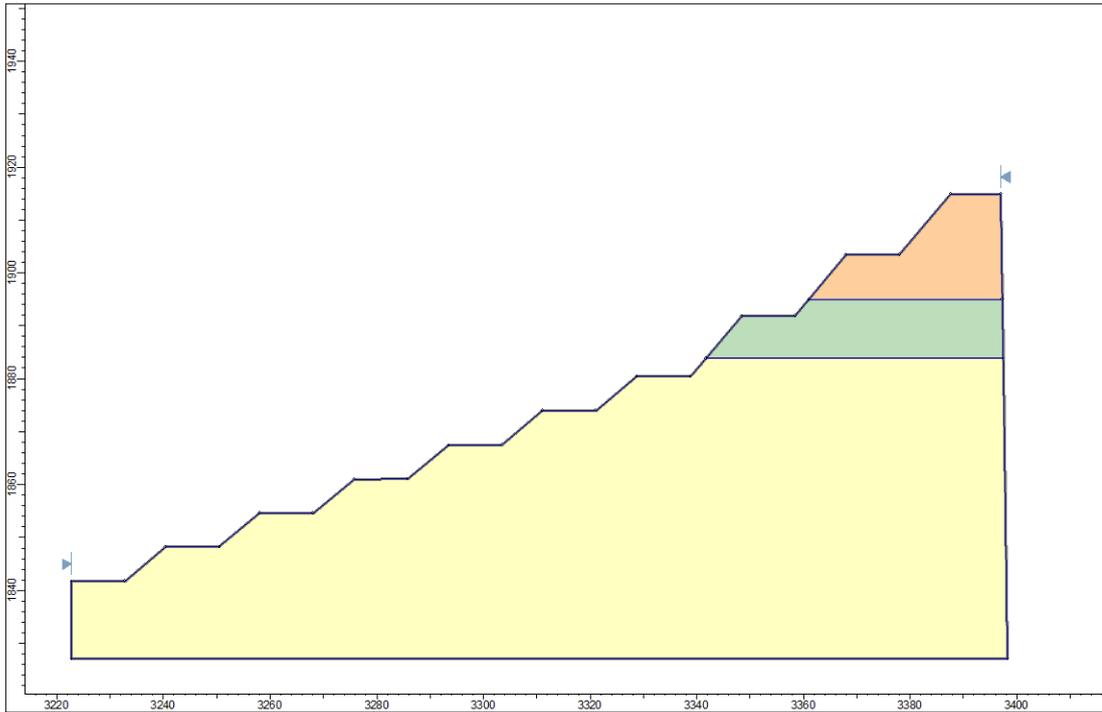


Ilustración 4-35: Talud con el método de remediación de cierre progresivo

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se han creado bermas y bancos en el talud para realzar su estabilidad, el corte principal se encuentra en la zona alta del talud siendo esta la que presenta mayor pendiente generando terreno mas inestable. Las bermas constan de 10m de ancho, mientras que los bancos estan conformados de 10m de alto, con un angulo de 40° en la parte de el material de transición y en el material de caolin y regolita constan con un ancho de la berma de 10m y un alto del banco de 15m con un angulo de 50° . Se optaron esas dimensiones para no crear pendientes que de igual forma generen inestabiidad en los bancos y tiendan a desplazarse y no se logre aumento el Factor de seguridad.

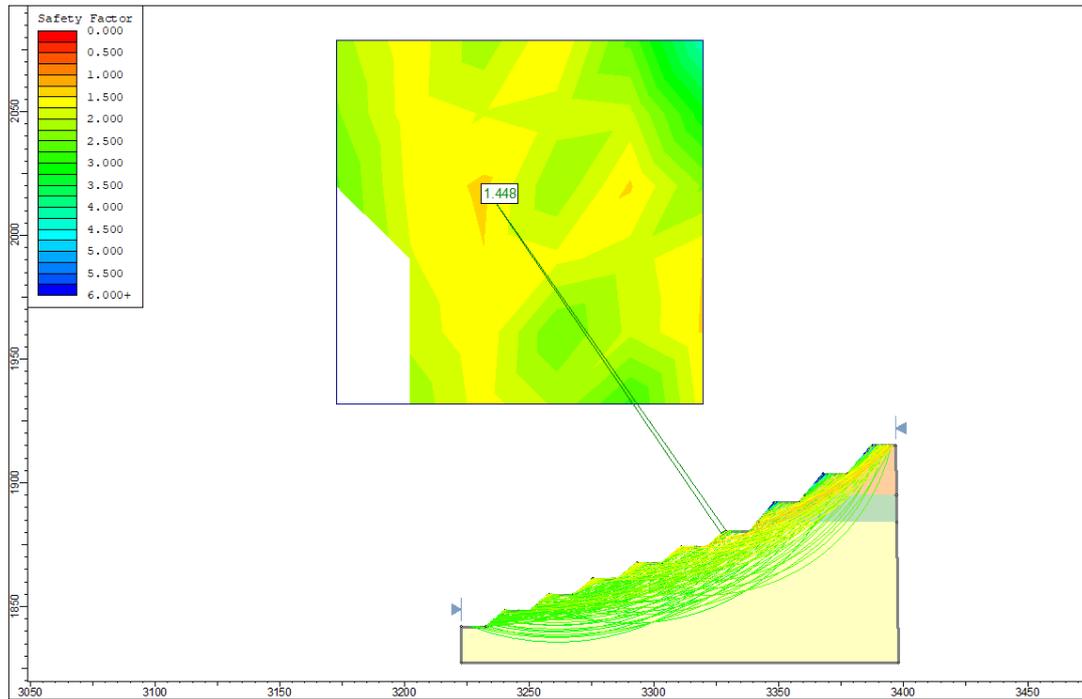


Ilustración 4-36: Análisis de estabilidad en el talud.

Fuente: Software SLIDE, 2023

Realizado por: Chacón D.; Pesantez D., 2023

Se forma una estabilidad en el terreno haciéndolo apto para continuar labores en ella, aunque se realizaron bermas y bancos en la zona de material de transición estas pueden ser obviadas, puesto que el trabajo que realiza la empresa es por bancos descendentes, haciendo saber que la estabilidad varía dependiendo del estado o el avance que tenga en su extracción. Si el talud a trabajar quedara con este tipo de bermas y bancos se consigue un factor de seguridad de 1.448, aumentando un 0.415 de estabilidad, evitando que existan rupturas en el terreno al momento de que se realicen labores en ella.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Conforme a los objetivos referente a los factores geotécnicos en función a los ensayos de laboratorio; para este caso los sistemas de laboratorio aplicados son SUCS y AASHTO en los cuales se determina que en los factores de humedad los porcentajes de la regolita oscilan entre el 38 % ocasionando un desequilibrio y desprendimiento de las partículas del consolidado; en cuanto al caolín su porcentaje de humedad oscila entre el 20% por ende propicia una plasticidad baja estimada en un 12 % ; en presencia de máxima humedad se expande, en cambio en disminución de la misma se desprende sus partículas; Cuando hablamos del tipo de material obtenido según los ensayos de laboratorio en base al tamiz de **200(0,075um)** la regolita resulta ser un material de baja calidad puesto que, pasa en un 94% que por sus características físicas pertenece a arcillas inorgánicas con alta plasticidad por esta razón la zona del terreno tiende a colapsar por la mala calidad del material; el caolín resulta un tipo de suelo de limos inorgánicos por su pasante del 54%, obteniendo como resultado ser un suelo de calidad media, porque al igual que el material de la regolita presenta inconvenientes en la estabilidad por la facilidad de desprendimiento. El material de transición presenta una humedad baja (14%) y no contiene plasticidad, nos da un tipo de suelo que pertenece a arenas gravas y arenas limo_ arcillosas de buena calidad definiendo como un suelo estable y no a presenta problemas de desprendimiento.
- De los materiales presentes en el talud se determina que la masa rocosa se encuentra en la calificación según su calidad en regular con una sumatoria de 56 de RMR en base a los resultados de los ensayos triaxial y caracterización in situ, considerando los parámetros de resistencia de la matriz rocosa, calidad de la roca, separación entre sus diaclasas, discontinuidades, aberturas, rugosidad, relleno, entre otras cuantificaciones. La masa rocosa presenta menos del 10% en el talud lo cual no afecta ni varía los resultados de su estabilidad. Según ensayos triaxiales de suelos, medio y bueno en cada de sus capas.
- Examinando el ángulo de cohesión y fricción obtenidos en los ensayos triaxiales de suelos de cada uno de los materiales que conforman el talud se determina que para las capas de

regolita y caolín al tratarse de tipos de suelos predominantes en arcillas tienen un ángulo que clasifica el material como arcilla suave y arcilla media respectivamente, por lo tanto existe una cohesión alta que se encuentra dentro del rango de 0.25 kg/cm² a 1.25 kg/cm² permitiendo conocer que hay un grado de compactación, el mismo que contribuye a mantener adherencia entre partículas, sin embargo al aumentar la presencia de humedad tiende a disminuir la cohesión y el grado de fricción generando la disminución también de la resistencia a la ruptura, conllevando que al momento que el agua se absorbe en las partículas se dé como resultado un deslizamiento de las mismas. La base del talud está conformado material de transición posee un ángulo de fricción alto correspondiente a las arenas sueltas, por lo tanto, no existe cohesión, es decir no hay compactación entre partículas causando un desmoronamiento o separación de partículas de esta capa.

- Mediante los ensayos se ha comprendido que las propiedades principales que afectan a la estabilidad del talud en estudio es la humedad, la resistencia a la ruptura que se fundamenta en el ángulo de fricción y cohesión y el peso unitario de cada material que compone el talud. El talud se encuentra mayormente conformado por material cohesivo que mantiene una compactación, con un porcentaje menor de suelo no cohesivo de material granular. La humedad tiene una relación directa con el aumento o disminución de estas propiedades, en las capas de regolita y arcilla existen porcentajes de humedad considerables lo cual disminuye estos factores. Descrito anteriormente el macizo rocoso no representa un porcentaje considerable, por lo tanto, no influye en la estabilidad del talud.
- Utilizando el software SLIDE se analizó el factor de seguridad actual del talud mediante los métodos SPENCER Y GLE/MONGERSTER-PRICE obteniendo resultados de un 1.033 y 0.992 respectivamente, que nos dio como resultado una inestabilidad en la zona, se consideran métodos de remediación, según el método Spencer nos permite conocer que el talud se encuentra en estado de ruptura, pero según el método GLE/Mongerster - Price tenemos un terreno inestable con movimiento de masa, deduciendo que con el transcurso del tiempo tenderá a desplazarse si no se da remediación en el talud.
- En base a las propiedades físico-mecánicas para el cierre permanente del talud de acuerdo con las dimensiones propuestas por Protodyakonov se consideraron 3 bancos de 15m alto con ángulos de 40° en el terreno de material de transición, en cuanto al material de regolita 3 bancos de 10m de alto con la diferencia de que se contó con ángulos de 35° en el talud. En el material de caolín se formó un banco de 23m de alto en conjunto con el material de transición por la cohesión que presenta el caolín aumentando la estabilidad de este banco

y cuenta con un ángulo de 40° . Con relación a las bermas, se considera un ancho de la maquinaria que es de 7.9m más el 50% de la misma, optando en estos modelos una dimensión de 10m de ancho en todas las bermas del talud. Con lo propuesto en base al programa SLIDE se obtuvo un aumento de factor de seguridad de un 0.419 según GLE y 0.367 según SPENCER.

- Para el cierre progresivo del talud con fundamento en las propiedades físico-mecánicas de acuerdo con las dimensiones propuestas por Protodyakonov se consideraron 6 bancos de 10m alto con ángulos de 40° en el terreno de material de transición, en cuanto al material de regolita 2 bancos de 15m de alto con la diferencia de que se contó con ángulos de 50° en el talud. En el material de caolín se formó un banco de 15m de alto en conjunto con el material de transición por la cohesión que presenta el caolín aumentando la estabilidad de este banco y cuenta con un ángulo de 40° . Con relación a las bermas, se considera un ancho de la maquinaria que es de 7.9m más el 50% de la misma, optando en estos modelos una dimensión de 10m de ancho en todas las bermas del talud. Con lo propuesto en base al programa SLIDE se obtuvo un aumento de factor de seguridad de un 0.458 según GLE y 0.415 según SPENCER.

5.2 Recomendaciones

- Dotar de los recursos necesarios en el laboratorio para poder realizar los diferentes ensayos requeridos para realizar estudios geotécnicos.
- Para la obtención de resultados de comportamientos de talud también se puede implementar cargas estáticas - dinámicas para obtener resultados más detallados.
- Para tener un análisis más crítico del talud, realizar todos los ensayos posibles del suelo que lo conforma,
- Si se continúa las labores mineras, se debe realizar un estudio para considerar una pendiente que garantice aún más el factor de seguridad.
- El monitoreo de los taludes puede prevenir percances en cuanto a su estabilidad, generando soluciones para evitar pérdida del tiempo de producción que se generan al existir deslizamientos.
- Se podría realizar el cálculo de nivel freático como un factor para el análisis de estabilidad del talud, determinado así una comparativa de resultados con el presente trabajo realizado.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Juan; et al. Análisis de Estabilidad de Talud de la Carretera Nic.7 En El KM 176, Municipio de Santo Tomas, del Departamento de Chontales [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua 2020. p. 27. [Consulta: 2022-10-20]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/12506/1/ADAN%20ALBERTO%20PRADO%20GONZ%C3%81LEZ.pdf>

AUTODESK. *Descripción general ¿Qué es AutoCAD?* [blog]. [Consulta: 30 enero 2023]. Disponible en: <https://pccadla.com/programas/autocad/>.

BARTOLOMÉ, J. “El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones”. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio [En línea], 2011, (España) 36(1), p. 8. [Consulta: 28 septiembre 2022]. ISSN 7-19. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf>

BLAUR, Jorge. *Determinación de la humedad natural de una muestra de suelo* [blog]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacion-de-la-humedad-natural-de.html#:~:text=La%20humedad%20natural%20es%20una%20propiedad%20f%C3%ADsica%20del%20suelo%20es,cantidad%20de%20agua%20que%20contienen.>

BOIERO, Álvaro. *El sistema de clasificación de suelos AASHTO* [blog]. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://geo-webonline.com/el-sistema-de-clasificacion-de-suelos-aashto/>.

CHUIZA, Santiago. Guía Metodológica: Prácticas de laboratorio virtual en hidrostática. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. p. 5. [Consulta: 2022-11-03]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/2417/2/UNACH-IPG-LIN-ING-2015-ANX-005.1.pdf>

CORNEJO, Paúl Israel. Depósitos minerales no metálicos en Ecuador. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2016. p. 9. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Paul-Cornejo-2/publication/317613312_DEPOSITOS_MINERALES_NO_METALICOS_DEL_ECUADOR/

links/594339ffa6fdccb93ab276a7/DEPOSITOS-MINERALES-NO-METALICOS-DEL-ECUADOR.pdf

Coordinación General de Minería. *Perfil de mercado del feldespató: Secretaría de economía.* [blog]. [Consulta: 3 octubre 2022]. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_feldespató_2014.pdf.

CRUDEN, David; & VARNES, D.J. *Landslides and Engineering Practice* [blog]. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=pX4vAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA20&dq=Landslide+Types+and+Processes&ots=xD-DThoZhM&sig=TJPitK8CWwGr8iReUq_oB7s7MLI#v=snippet&q=rotary%20movement&f=false

CUCHILLO CAYTUIRO, Olga Zarepa. *Apuntes del Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)* [blog]. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2015/07/11/apuntes-del-sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-s-u-c-s/?fbclid=IwAR2oup55F8SxU7UETNsEGmqVQGpNzBXQoPJ9fblTqvyqzrmwPiBjxjVFjoY>

DE MATTEIS, Álvaro. Estabilidad de Taludes [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional del Rosario, Rosario, Colombia. 2003. p. 5. [Consulta: 2022-10-15]. Disponible en: https://www.academia.edu/32850265/Estabilidad_de_Taludes?fbclid=IwAR32I6RBtpyD29I130h7SH-DgH3bDJzIdCAs7UvtbeOMZ6yPO7EskQG402k

EADIC. 2022. *Clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos* [blog]. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <https://eadic.com/blog/entrada/clasificaciones-geomecanicas-de-macizos-rocosos/>.

ESPINOZA, Carlos; & TAPIA, Leandro. Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto PACALORI [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2013. p. 48. [Consulta: 2022-10-02]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4572/1/TESIS.pdf>

ESTEVEZ, Wandaly. *Cohesión y ángulo de fricción* [blog]. [Consulta: 10 Enero 2023].

Disponible en: <https://es.slideshare.net/wandalyestevezgarcia/cohesion-y-angulo-de-fricciondocx-1>.

ESTRADA, Veronica ; & SOBERANIS, Jhonathán. Estabilidad de taludes en suelos [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de México, Mexico, 2014. p. 29. [Consulta:2023-01-29]. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2014/mayo/0712861/0712861.pdf>

GABRIELS, D; & LOBO, D. " Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo". Venesuelos-Saber UCV [En línea], 2006, (Bélgica-Venezuela) 14(1), pp. 40-41. [Consulta: 12 octubre 2022]. ISSN 30-48. Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/982

GAD Municipal de Zamora. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. [blog]. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <file:///C:/Users/ORTEL/Downloads/diagnostico%20abril%202021.pdf>

GAVIDIA, Andres. *Clasificación de los Suelos mediante el sistema AASHTO* [blog]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://andresgavidia.com/mecanica-de-suelo/clasificacion-de-los-suelos-sistema-aashto/>.

GLEN, Boyce et al. *Slope Stability and Stabilization Methods* [blog]. [10 enero 2023]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=cOI02OqUCdMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

GRAUS, Julio et al. Clasificación mecánica RMR. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2016. p. 14. [Consulta: 2022-12-14]. Disponible en: <https://edoc.pub/informe-n02-rmr-pdf-free.html>

HERNÁNDEZ, Leticia; & OLVERA, Patricia. "El Caolín y sus aplicaciones industriales". PADI [En línea], 2014, (México) 1(2), pp. 1-2. [Consulta: 15 octubre 2022]. ISSN 2007-6363. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/titulo.html>

HERRERA, Armando. *Tabla de angulos de friccion, Apuntes de Mecánica de suelos* [blog]. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: https://www.docsity.com/es/tabla-de-angulos-de-friccion/7681383/?fbclid=IwAR0pi9d_cOwcr3jqDgSRV4D0knyUrBfRv_aHNIVhydkYpQQsQaLCZkPjM7k.

LEAL, Jhonatan; & Gámez, Angie. Determinación del Límite Líquido y Plástico para un Suelo Caolín Amarillo Usando el Penetrómetro de Cono de Caída con diferentes Modelos de Cono [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia , 2017. p. 27. [Consulta: 2022-12-02]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5e221067-fe95-4ffe-a9e1-909b96b61823/content>

MERCHÁN, Juan; & SANCHEZ, Diego. Evaluación de La Estabilidad de los Taludes en el Sector de la Cantera de Materiales Pétreos “LAS VICTORIAS” [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca, Azuay, Ecuador, 2013. pp. 13-14. [Consulta: 2022-10-15]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4307/3/tesis.pdf>

MESA, Milena et al. " Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica". Scielo Analytics [En línea], 2020, (México) 1(103), p. 2. [Consulta: 15 octubre 2022]. ISSN 0185-092X. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2020000200001#aff1

PEREZ, Gardey. *Definición de Antrópico.* [blog]. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://definicion.de/antropico/>.

POZO, César. Análisis de Estabilidad de Taludes de una Extensión de 260 Metros en la Vía Papallacta Baeza, Sector Cuyuja [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2021. p. 60. [Consulta: 2022-10-30]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21881/3/CD%2011374.pdf>

REDACCIÓN. *SLIDE la mejor aplicación de estabilidad de taludes* [blog]. [Consulta: 28 enero 2023]. Disponible en: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes/>.

RODAS, René.; & TORRES, María. Estudio de las Envolventes Consolidada – Drenada Mediante Ensayo de Corte Directo para el Análisis de Estabilidad de las Presas de Tierra del Proyecto Pacalori [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015. p. 33. [Consulta: 2023-01-30]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21664/1/TESIS.pdf>

RODRIGUEZ, Laura.; & SAHUEZA, Carola. “Análisis comparativo de método de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales”.Revista de construcción [en línea], 2013, (Chile) 12(1), p. 23. [Consulta: 13 octubre 2022]. ISSN 17-29. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000100003&script=sci_abstract

TURPO, Jaime. Determinación de los Parámetros Geométricos del Talud, Para Garantizar la Estabilidad del Tajo Superficial del Área de Explotación en la Unidad Minera “MOISES RANDY 2010” [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú, 2018. p. 5. [Consulta: 2023-01-20]. Disponible en: <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/73#:~:text=Esta%20geometr%C3%ADa%20con%20templa%20la%20determinaci%C3%B3n,bermas%20y%20alturas%20de%20banco.>

VALIENTE, Ricardo et al. "Estabilidad Taludes, Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo". Revista Civilizate. [En línea], 2016, (Perú) 1(1), p. 50. [Consulta: 15 octubre 2022]. ISSN 10-25. Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76781/taludes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VILLAROEL, Aida. *Pendiente Topográfica* [blog]. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/AIDAVILLARROEL1/pendiente-topografica>.



A handwritten signature in blue ink is written over a faint circular stamp. The stamp contains the text "D. P. R. A." and "Instituto de Investigación Científica y Tecnológica".



ANEXOS

ANEXO A: VALORES DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA DE LA DIACLASA 1

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo N/mm ²	Ensayo:	Compresión	Muestra:	MP001
0.147053143	0.0009818	Material:	Feldespató	Diáclasa:	1
0.147029714	0.0004909	Do (mm):	40	Lo (mm):	35
0.146723429	0.0029455	Ao (mm²):	8475	Vo (mm³):	56000
0.146252857	0.0014728				
0.147117143	0.0019637	Elaborado por: Diana Chacón, Damaris Pesantez			
0.147118857	0.0024546				
0.14715	0.0039274				
0.147174571	0.0068729				
0.147228286	0.0073638				
0.147382	0.0108003				
0.148983714	0.0098185				
0.149183143	0.0162005				
0.149202	0.0201279				
0.149211429	0.0274917				
0.149293143	0.0515469				
0.151278286	0.0554743				
0.151336	0.0692201				
0.151361429	0.0775658				
0.151396	0.0839478				
0.151404857	0.0888570				
0.151418286	0.0893479				
0.155537714	0.1836048				
0.159873429	0.2454613				
0.161457714	0.2881720				
0.161915143	0.4138476				
0.163983714	0.5679977				
0.163990286	1.0756119				
0.165234857	1.5370810				
0.164135143	1.3932386				
0.166076857	1.8566679				
0.166146286	2.4639396				
0.166148	2.7206945				
0.166179143	2.9563318				
0.166179143	3.0157387				
0.166917429	3.1792176				
0.168318571	3.6500062				
0.168318571	3.8120155				
0.168343429	3.8159382				
0.168349143	3.5768642				
0.169193714	2.7128376				

ANEXO B: VALORES DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA DE LA DIACLASA 2

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo N/mm ²	Ensayo:	Compresión	Muestra:	MP001
0.00006632420	0.028014526	Material:	Feldespato	Diaclasa:	2
0.00006215940	0.028291858	Do (mm):	50	Lo (mm):	50
0.00004346660	0.027459731	Ao (mm ²):	15000	Vo (mm ³):	125000
0.00008113380	0.053255274				
0.00007910000	0.054642131	Elaborado por: Diana Chacón, Damaris Pesantez			
0.00006164020	0.069897879				
0.00006457120	0.077664092				
0.00007438340	0.07988301				
0.00007099620	0.104291761				
0.00008110420	0.105124019				
0.00007390480	0.12481708				
0.00007471980	0.139240701				
0.00007471980	0.140904562				
0.00006883340	0.171692867				
0.00007461660	0.188612607				
0.00011198180	0.209137925				
0.00008508060	0.307327335				
0.00008508060	0.326188792				
0.00008508060	0.396641073				
0.00008938740	0.18528423				
0.00010450760	0.221064773				
0.00010450760	0.225225408				
0.00008878480	0.299006066				
0.00008878480	0.326465994				
0.00006548020	0.647107491				
0.00006510840	0.697311655				
0.00006510840	0.753340315				
0.00006510840	0.811585278				
0.00006510840	0.871778496				
0.00006510840	0.93280201				
0.00006510840	0.996597537				
0.00005976760	1.353847259				
0.00005976760	1.43262081				
0.00005976760	1.512231194				
0.00008330020	1.677538625				
0.00008523040	1.754651582				
0.00008759400	1.83647827				
0.00008759400	1.922462977				
0.00009354960	2.471936114				
0.00008523040	2.566236861				

ANEXO C: VALORES DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA DE LA DIACLASA 3

Deformación unitaria (mm/mm)	Es fuerza N/mm2	Ensayo:	Compresión	Muestra:	MP001
0.01629242	2.702980788	Material:	Feldespató	Diaclasa:	3
0.01621822	2.700764486	Do (mm):	50	Lo (mm):	50
0.01621822	2.701039072	Ao (mm2):	15000	Vo (mm3):	125000
0.01911204	2.684400456				
0.0220156	2.645566122	Elaborado por: Diana Chacón, Damaris Pesante			
0.023462	2.631974105				
0.0236914	2.615610075				
0.025068	2.608954628				
0.025068	2.605626905				
0.026416	2.605071195				
0.026517	2.596474032				
0.0265206	2.587040034				
0.0265434	2.587040034				
0.0265672	2.586765448				
0.029463	2.574559438				
0.0307208	2.559306828				
0.0308956	2.562909138				
0.0323908	2.545989397				
0.0337718	2.553200554				
0.038239	2.070576081				
0.039668	1.589063028				
0.0397136	0.522567612				
0.0426436	3.365557289				
0.0426146	0.320363642				
0.0412892	0.321473101				
0.0419236	0.322028158				
0.0420436	0.323692019				
0.0422	0.323137617				
0.041334	0.323414818				
0.041192	0.324247076				
0.041162	0.323969874				
0.041157	0.323414818				
0.0412048	0.323692019				
0.0411852	0.323137617				
0.0411758	0.323137617				
0.0411926	0.323137617				
0.0411748	0.324247076				
0.0411754	0.323969874				
0.0411776	0.323692019				
0.0411776	0.324524277				

ANEXO D: ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO DEL CAOLÍN



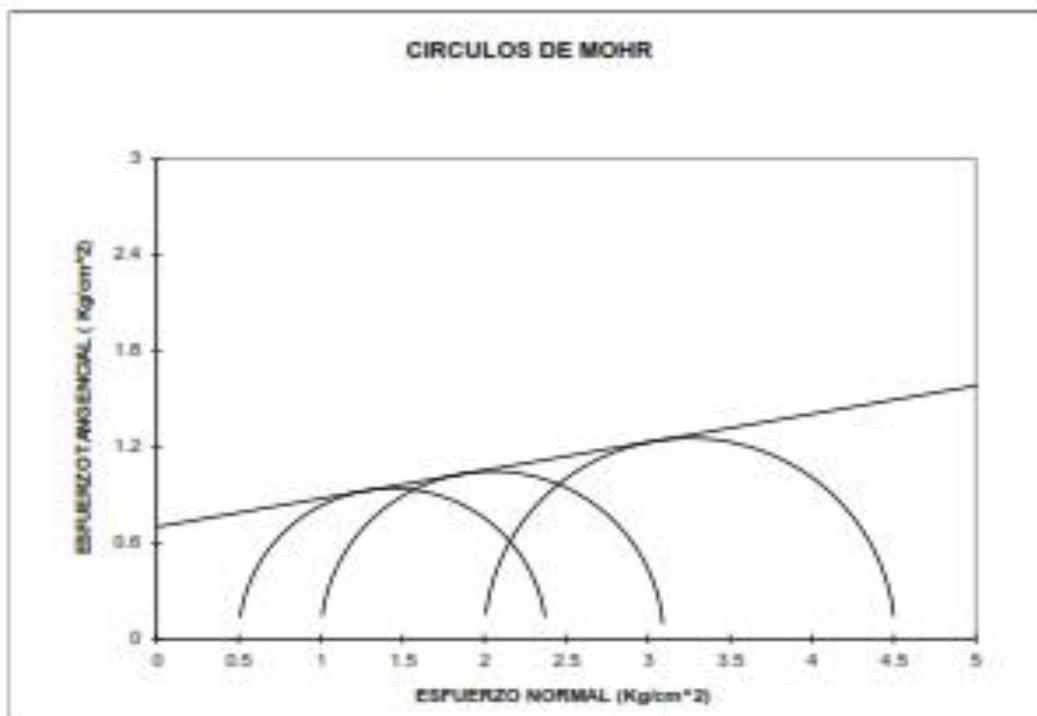
ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

(NORMA ASTM: D 2850)

PROYECTO : Mina "María".
 OBRA : Análisis de Estabilidad.
 UBICACION : Plantza, Zamora.

MUESTRA No : CAOLIN
 PROFUND. :
 FECHA : Enero 2023

No	σ_{desv} Kg/cm ²	σ_3 Kg/cm ²	σ_1 Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ Kg/cm ²	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ Kg/cm ²
1	1.88	0.50	2.38	0.94	1.44
2	2.09	1.00	3.09	1.05	2.05
3	2.51	2.00	4.51	1.25	3.25



COHESION (kg/cm ²)	0.7
FRICCION (GRADOS)	10

DATOS DE ENSAYO		PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)		3.69	3.65	3.70
ALTURA MEDIA (cm)		7.4	7.42	7.45
HUMEDAD FINAL (%)		32.96	32.80	31.61
DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)		1.746	1.744	1.675
DENSIDAD SECA (g/cm ³)		1.313	1.313	1.275

ANEXO E: ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO DE REGOLITA

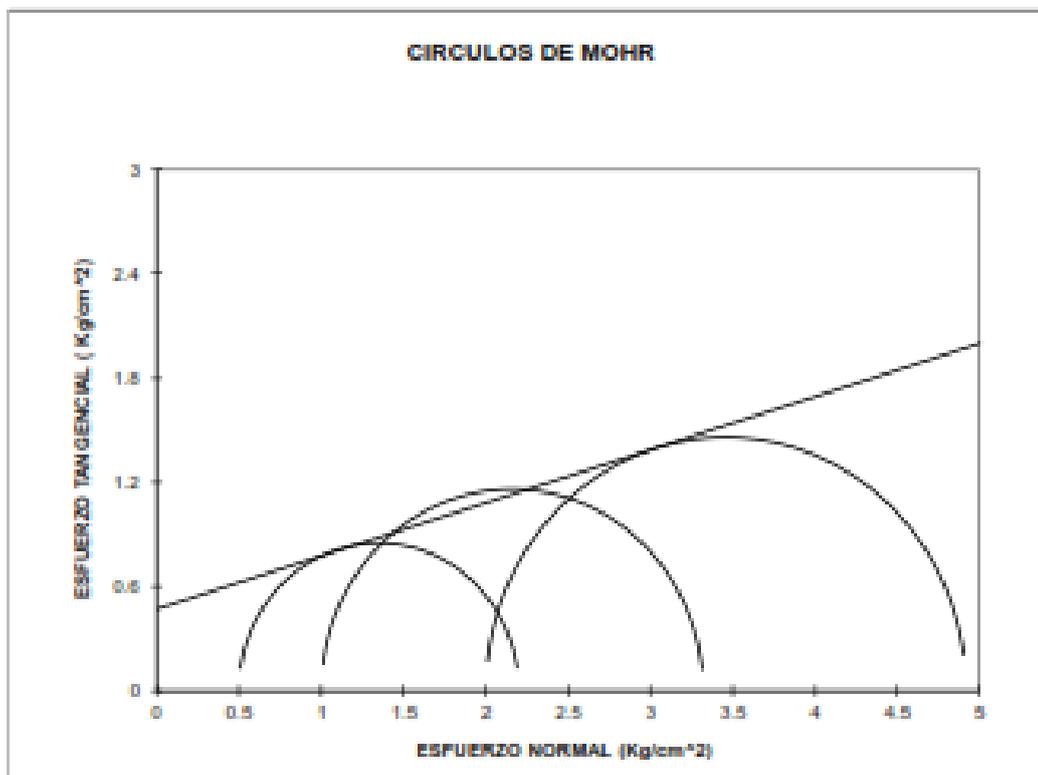


ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

(NORMA ASTM: D 2850)

PROYECTO : Mina "María". MUESTRA No.: REGOLITO
 OBRA : Análisis de Estabilidad. PROFUND. :
 UBICACION : Piuntza, Zamora. FECHA : Enero 2023

No	σ desv. Kg/cm ²	σ_3 Kg/cm ²	σ_1 Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ Kg/cm ²	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ Kg/cm ²
1	1.70	0.50	2.20	0.85	1.35
2	2.32	1.00	3.32	1.16	2.16
3	2.92	2.00	4.92	1.46	3.46



COHESION (kg/cm ²)	0.47
FRICCION (GRADOS)	17

DATOS DE ENSAYO		PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIO	(cm)	3.69	3.70	3.70
ALTURA MEDIA	(cm)	7.4	7.4	7.4
HUMEDAD FINAL	(%)	41.19	41.82	41.74
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm ³)	1.797	1.777	1.798
DENSIDAD SECA	(g/cm ³)	1.273	1.283	1.269



epoch

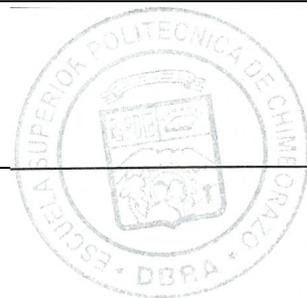
Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)	
Nombres – Apellidos: Chacón Piña Diana Carolina Pesantez Jarro Damaris Dianey	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Recursos Naturales	
Carrera: Minas	
Título a optar: Ingeniera en minas	
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz	



Ing. Cristhian Fernando Castillo

1009-DBRA-UTP-2023