

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de estabilidad del talud compuesto de puzolana
ubicado entre las progresivas 57+110 a la 57+200 de
la vía PE - 34 entre las regiones de Arequipa y Puno**

Meyber Mauricio Romero Alosilla

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que han colaborado en el desarrollo de la presente investigación.

Mediante el presente, expreso mi mayor gratitud a la Universidad Continental y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería, que me dieron la oportunidad de cumplir esta gran meta.

A mi familia y a mi novia, por el apoyo, confianza y por su colaboración en la elaboración de la tesis.

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha guiado por el camino Salesiano y me da fuerzas para continuar hacia adelante. Por haberme mostrado la bondad infinita de nuestra madre María Auxiliadora y la sabiduría de nuestro padre Don Bosco, quienes me protegen e iluminan cada día para lograr mis objetivos.

A mi madre Ibone A., por apoyarme siempre y en todo momento, por su amor incondicional, consejos, comprensión y, sobre todo, por los valores que la caracterizan como una madre verdaderamente única.

A mi padre Meyber R., por su ejemplo de perseverancia, humildad y la valentía que lo caracteriza. Por guiarme en el camino con valores y principios. Gracias, padre, por los ejemplos de vida, por tu apoyo y por el deseo sincero de llegar a ser un profesional competente.

A mi madrina Uberlinda S., por su apoyo y cariño incondicional y, sobre todo, por cuidarme y preocuparse por mí siempre; gracias porque sin ti nada de esto hubiera sido posible, siempre fuiste y serás parte de todos los logros que obtenga en mi vida.

A mi novia Lucia M., por la confianza, el amor, y todo el apoyo que me brindaste desde el día que nos conocimos; gracias compañera de vida, por ser parte de este logro en mi vida y por nunca permitir que me dé por vencido.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 PROBLEMA GENERAL	4
1.2.1 Problemas específicos:	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
1.5 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	5
1.5.1 Hipótesis General:	5
1.5.2 Hipótesis Específicas:	5
1.6 VARIABLES	6
1.6.1 Dependientes	6
1.6.2 Independientes.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	8
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 Suelo.....	10
2.2.1.1 Origen y formación de los suelos.....	10
2.2.1.2 Clasificación de los suelos	11
2.2.1.3 Clasificación de los suelos por el método SUCS	12
2.2.1.4 Diferencia entre suelos cohesivos y no cohesivos.....	13
2.2.2 Estabilidad de taludes.....	14
2.2.2.1 Factores que influyen en la estabilidad de taludes	15
2.2.2.2 Análisis de estabilidad de taludes.....	17
2.2.2.3 Método de análisis de equilibrio límite	19

2.2.2.4	Parámetros utilizados en los análisis de límite de equilibrio.....	24
2.2.2.5	Limitaciones de los métodos de límite de equilibrio.....	25
2.2.2.6	Métodos de análisis de límite de equilibrio.....	26
2.2.2.7	Comparación de los diversos métodos.....	31
2.2.2.8	Análisis Sísmico.....	34
2.2.2.9	Criterio de rotura de Mohr Coulomb.....	34
2.2.3	Propiedades del suelo.....	35
2.2.3.1	Propiedades físicas del suelo.....	35
2.2.3.2	Propiedades mecánicas del suelo.....	43
2.2.4	Ensayos de suelos.....	44
2.2.4.1	Ensayo para determinar el contenido de humedad.....	44
2.2.4.2	Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.....	45
2.2.4.3	Análisis Granulométrico por Sedimentación.....	47
2.2.4.4	Ensayo para determinar el límite líquido de suelos.....	50
2.2.4.5	Ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad de suelos.....	50
2.2.4.6	Ensayo de gravedad específica.....	52
2.2.4.7	Ensayo para determinar la densidad natural de un suelo cohesivo.....	54
2.2.4.8	Ensayo de Corte Directo.....	55
2.2.4.9	Ensayo de Resistencia a la compresión triaxial UU (No consolidado-No drenado)	57
2.2.4.10	Ensayo de densidad máxima y mínima.....	61
2.2.5	Características de la zona de estudio.....	62
2.2.5.1	Ubicación de la zona de estudio.....	62
2.2.5.2	Geología.....	63
2.2.5.3	Estratigrafía.....	66
2.2.5.4	Geodinámica.....	69
2.2.5.5	Historia sísmica del área de influencia.....	72
2.2.5.6	Condición actual del talud en estudio.....	75
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	76
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		77
3.1	MÉTODOS, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	77
3.1.1	Método General.....	77
3.1.2	Método Científico:.....	77
3.1.3	Enfoque Específico.....	78
3.1.4	Nivel:.....	78

3.1.5	Tipo	78
3.1.6	Diseño de la Investigación	78
3.1.7	Población y Muestra.....	78
3.1.8	Técnicas de recolección de datos	79
3.1.9	Instrumentos de recolección de datos.....	79
3.1.10	Instrumentos manuales y materiales.....	80
3.1.11	Técnicas de análisis de datos.....	80
3.2	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	81
3.2.1	Trabajos de campo	81
3.2.1.1	Estudio topográfico	81
3.2.1.2	Estudio geotécnico	82
3.2.2	Trabajos de laboratorio.....	83
3.2.3	Estudio Mineralógico y Petrográfico	84
3.2.4	Procesamiento y análisis de datos obtenidos.....	85
3.2.5	Casos de aplicación	85
3.2.5.1	Análisis Estático.....	85
3.2.5.2	Análisis Pseudoestático	86
CAPÍTULO IV		87
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
4.1.1	Características de la zona del estudio.....	87
4.1.1.1	Topografía del estudio.....	89
4.1.1.2	Condición Actual del talud en estudio	91
4.1.2	Propiedades físicas del suelo del talud	92
4.1.2.1	Contenido de Humedad.....	92
4.1.2.2	Análisis granulométrico por tamizado	93
4.1.3	Densidad Máxima y Mínima.....	94
4.1.3.1	Límites de Atterberg.....	95
4.1.3.2	Gravedad Específica.....	96
4.1.3.3	Análisis granulométrico por sedimentación	97
4.1.3.4	Densidad Natural.....	98
4.1.4	Propiedades mecánicas del suelo del talud.....	99
4.1.4.1	Corte Directo	99
4.1.4.2	Compresión Triaxial UU (No consolidado-No drenado)	100
4.1.5	Análisis de estabilidad del talud global	102

4.1.5.1	Análisis Estático.....	108
4.1.5.2	Análisis Pseudoestático.....	118
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	128
	CONCLUSIONES	130
	RECOMENDACIONES	132
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
	ANEXOS.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de los suelos según su tamaño	11
Tabla 2.	Simbología empleada para la clasificación (U.S.C.S.)	12
Tabla 3.	Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (U.S.C.S.)	12
Tabla 4.	Factores que influyen en la estabilidad de taludes.....	16
Tabla 5.	Factores de zona “Z”.	18
Tabla 6.	Zonificación sísmica.....	19
Tabla 7.	Resumen de metodologías utilizadas en análisis de estabilidad de taludes.	21
Tabla 8.	Resumen de Métodos de análisis de estabilidad de taludes	28
Tabla 9.	Comparación de los resultados del cálculo de factor de seguridad para varios métodos.....	32
Tabla 10.	Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	33
Tabla 11.	Tamaño de partículas.....	36
Tabla 12.	Tamaños estándar de tamices.	37
Tabla 13.	Características del suelo según su índice plasticidad.....	39
Tabla 14.	Clasificación SUCS para suelos gruesos.	40
Tabla 15.	Masa mínima de la porción de suelo según el tamaño máximo.	45
Tabla 16.	Cantidad de muestra mínima según tipo de suelo.....	52
Tabla 17.	Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de estudio	63
Tabla 18.	Tabla estratigráfica de unidades geológicas en el cuadrángulo de Arequipa	66
Tabla 19.	Niveles de susceptibilidad de efectos de fenómenos de geodinámica externa	70
Tabla 20.	Sismos ocurridos en la zona de gran intensidad desde el año 2007 al año 2020.	73
Tabla 21.	Sismos Registrados en el Poblado de Yura de gran intensidad en el año 2021.....	74
Tabla 22.	Normas Técnicas de ensayos realizados	83
Tabla 23.	Cantidad de Ensayos Realizados en Laboratorio.....	84
Tabla 24.	Composición mineralógica de la formación Volcánico Sencca.	87
Tabla 25.	Coordenadas en X, Y de puntos levantados en la sección de talud	90
Tabla 26.	Características geométricas del talud.....	91
Tabla 27.	Resumen del contenido de humedad del suelo	93
Tabla 28.	Resumen del análisis granulométrico por tamizado.	93
Tabla 29.	Fracciones de muestra encontradas en el análisis granulométrico.....	94
Tabla 30.	Coeficientes determinados por análisis granulométrico por tamizado.	94
Tabla 31.	Resumen de obtención de la densidad máxima.	94
Tabla 32.	Resumen de obtención de la densidad mínima.	95

Tabla 33.	Resumen de obtención del límite líquido.	95
Tabla 34.	Resumen de resultados de límites de consistencia.....	96
Tabla 35.	Resumen de resultados de límites de consistencia.....	96
Tabla 36.	Resumen de resultados de análisis granulométrico por sedimentación.	97
Tabla 37.	Resumen del análisis para determinar la densidad natural.	98
Tabla 38.	Resumen del análisis para determinar la humedad natural.....	98
Tabla 39.	Resumen de los resultados para determinar la densidad natural.....	98
Tabla 40.	Resumen esfuerzos para empleados en el ensayo de corte directo.....	99
Tabla 41.	Resumen resultados obtenidos en el ensayo de corte directo.	100
Tabla 42.	Resumen presiones laterales aplicadas en el ensayo de compresión triaxial.....	100
Tabla 43.	Resumen resultados obtenidos luego de aplicar las cargas en el ensayo de compresión triaxial.....	102
Tabla 44.	Parámetros obtenidos en el ensayo de compresión triaxial.	102
Tabla 45.	Coordenadas en X, Y de izquierda a derecha de la sección a analizar.	104
Tabla 46.	Densidad Natural obtenida en laboratorio	108
Tabla 47.	Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio	108
Tabla 48.	Datos obtenidos de la simulación Morgenstern- Price con parámetros de CORTE DIRECTO.....	110
Tabla 49.	Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros de CORTE DIRECTO..	112
Tabla 50.	Densidad Natural obtenida en laboratorio	113
Tabla 51.	Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio	113
Tabla 52.	Datos obtenidos de la simulación GLE/Morgenstern-Price con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.	115
Tabla 53.	Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.....	117
Tabla 54.	Densidad Natural obtenida en laboratorio	118
Tabla 55.	Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio	118
Tabla 56.	Datos obtenidos de la simulación GLE/Morgenstern-Price con parámetros obtenidos por CORTE DIRECTO.....	120
Tabla 57.	Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros obtenidos por CORTE DIRECTO.....	122
Tabla 58.	Densidad Natural obtenida en laboratorio	123
Tabla 59.	Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio	123
Tabla 60.	Datos obtenidos de la simulación GLE/Morgenstern-Price con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.	125

Tabla 61.	Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.....	127
Tabla 62.	Resumen de factores de seguridad en análisis estático y pseudoestático	128
Tabla 63.	Parámetros empleados en la simulación de estabilidad final.....	130
Tabla 64.	Factores de Seguridad Finales Admitidos del Estudio	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Suelos Cohesivos y no Cohesivos	14
Figura 2.	Suelos Cohesivos y no Cohesivos	14
Figura 3.	Nomenclatura de taludes y laderas.	15
Figura 4.	Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.	16
Figura 5.	Zonas sísmicas, diseño sismorresistente.	18
Figura 6.	Ejemplo de un análisis de estabilidad del talud.	20
Figura 7.	Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante.	22
Figura 8.	Formas de la superficie de falla.	23
Figura 9.	Esquema de grieta de tensión para análisis de límite de equilibrio.	24
Figura 10.	Métodos de análisis de estabilidad de taludes.	27
Figura 11.	Alternativas de procedimiento de localización de los círculos de falla para el análisis de estabilidad de taludes.	29
Figura 12.	Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer.	30
Figura 13.	Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.	30
Figura 14.	Diferencias entre los resultados de varios métodos.	31
Figura 15.	Envolventes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b). Para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envolventes no se producirá rotura.	35
Figura 16.	Curva granulométrica de un suelo e interpretación de la curva.	37
Figura 17.	Límites de Atterberg.	38
Figura 18.	Carta de Casagrande (Suelos finos y orgánicos).	41
Figura 19.	Diagrama de esfuerzo – deformación.	43
Figura 20.	Utensilios y equipos empleados para determinar el contenido de humedad.	45
Figura 21.	Herramientas utilizadas en el análisis granulométrico.	46
Figura 22.	Proceso de tamizado manual de la muestra.	46
Figura 23.	Utensilios y Materiales usados en el análisis granulométrico por sedimentación	49
Figura 24.	Determinación de partículas en suspensión mediante un cronómetro	49
Figura 25.	Equipo y Herramientas utilizadas para determinar el límite líquido.	51
Figura 26.	Determinación de límite líquido en copa de casa grande.	51
Figura 27.	Utensilios empleados para determinar la gravedad específica.	53
Figura 28.	Determinación de gravedad específica en picnómetros.	53
Figura 29.	Preparación de especímenes y utensilios para determinar la densidad natural.	54
Figura 30.	Empleo del método de la parafina para determinar la densidad natural.	55

Figura 31.	Tallado de muestras con herramientas manuales de acuerdo al molde de corte directo.	56
Figura 32.	Colocación de especímenes en el equipo de corte directo.	57
Figura 33.	Determinación de ángulo de fricción interna y cohesión con equipo de corte directo.	57
Figura 34.	Tallado de especímenes cilíndricos con herramientas manuales.	59
Figura 35.	Colocación de piedras porosas y membrana de jebes al espécimen.	59
Figura 36.	Impermeabilización del espécimen con membrana y colocación en la cámara triaxial.	60
Figura 37.	Colocación de cámara triaxial en equipo de compresión y aplicación de esfuerzos.	60
Figura 38.	Herramientas y utensilios utilizados en el ensayo de densidad máxima y mínima.	61
Figura 39.	Ubicación del Distrito de Yura en el mapa de la provincia de Arequipa.	62
Figura 40.	Localización mediante foto satelital de la posición del talud en la Vía 34-A Carretera a Yura progresiva 57+110 a la progresiva 57+200 perteneciente al tramo 5 de la carretera interoceánica.	63
Figura 41.	Localización del cuadrante de Arequipa.	64
Figura 42.	Unidades geomorfológicas en el cuadrante de Arequipa.	65
Figura 43.	Mapa Sísmico del Perú.	72
Figura 44.	Mapa de intensidades sísmicas a nivel nacional.	75
Figura 45.	Sección del talud analizado colindante a VÍA PE-34.	82
Figura 46.	Sección acotada del talud analizado.	82
Figura 47.	Perfil topográfico de la sección de talud analizado.	90
Figura 48.	Perfil estratigráfico del talud en estudio.	92
Figura 49.	Interfaz del software Slide.	103
Figura 50.	Obtención de coordenadas de la sección que se analizara.	103
Figura 51.	Aplicación de la herramienta Add External Boundary.	104
Figura 52.	Propiedades asignadas por el software SLIDE por defecto.	105
Figura 53.	Asignación de parámetros obtenidos en el ensayo de CORTE DIRECTO.	106
Figura 54.	Sección con las propiedades nuevas asignadas de acuerdo al material.	106
Figura 55.	Selección de los métodos de equilibrio límite por los que se realizara el análisis.	107
Figura 56.	Creación y ubicación de la cuadrícula de centros de deslizamiento.	108
Figura 57.	Simulación mediante el método Morgenstern- Price (CORTE DIRECTO).	109
Figura 58.	Simulación mediante el método Spencer (CORTE DIRECTO).	111
Figura 59.	Asignación de parámetros obtenidos en los ensayos de Compresión Triaxial UU. ...	113
Figura 60.	Sección con las propiedades nuevas asignadas de acuerdo al material.	114
Figura 61.	Simulación mediante el método GLE/Morgenstern-Price (TRIAxIAL).	114

Figura 62.	Simulación mediante el método Spencer (TRIAXIAL).	116
Figura 63.	Introducción de coeficientes de carga sísmica para análisis pseudoestático.	119
Figura 64.	Simulación pseudoestática mediante el método Morgenstern- Price	119
Figura 65.	Simulación pseudoestática mediante el método Spencer (CORTE DIRECTO).....	121
Figura 66.	Simulación pseudoestática mediante el método GLE/Morgenstern-Price (COMPRESIÓN TRIAXIAL).	124
Figura 67.	Simulación pseudoestática mediante el método Spencer (COMPRESIÓN TRIAXIAL).	126
Figura 68.	Levantamiento topográfico.	137
Figura 69.	Recolección de muestras representativas.....	138
Figura 70.	Perfil topográfico acotado del talud.....	139
Figura 71.	Perfil estratigráfico de la sección analizada.....	140
Figura 72.	Recepción de muestras representativas en laboratorio.	141
Figura 73.	Herramientas y utensilios empleados en el tamizado.	141
Figura 74.	Tamizado manual para determinar la granulometría.	142
Figura 75.	Equipos para determinar la densidad máxima y mínima.	142
Figura 76.	Equipos para determinar la los límites de consistencia del suelo.	143
Figura 77.	Equipos para determinar el límite líquido del suelo.	143
Figura 78.	Método del picnómetro para determinar la gravedad específica.	144
Figura 79.	Utensilios para determinar la gravedad específica del suelo.	144
Figura 80.	Utensilios y materiales para determinar la granulometría por sedimentación.	145
Figura 81.	Tallado de especímenes cilíndricos para el ensayo de compresión triaxial.	145
Figura 82.	Colocación de piedras porosas e impermeabilización del espécimen.	146
Figura 83.	Introducción de la muestra impermeable en la cámara triaxial.	146
Figura 84.	Fijado de la cámara triaxial en equipo de compresión.....	147
Figura 85.	Aplicación de cargas laterales y axiales reguladas.	147
Figura 86.	Tallado de especímenes cúbicos para ensayo de corte directo.	148
Figura 87.	Tallado de especímenes con herramientas manuales.....	148
Figura 88.	Colocado de especímenes cúbicos en equipo de corte directo.	149
Figura 89.	Aplicación de cargas axiales y posteriormente laterales.....	149
Figura 90.	Registro de cargas y temperatura en la realización del ensayo.....	150
Figura 91.	Preparación de muestras y utensilios empleados para determinar la densidad natural.	151
Figura 92.	Vertido y sumergido de muestras inalteradas.	151
Figura 93.	Sellado de envase con tapa cónica con abertura superficial.	152

Figura 94. Pesaje y enrazado de envase conteniendo la muestra. 152

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Gráfico de Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal en ensayo de corte directo.....	99
Gráfico 2.	Gráfico de Esfuerzos laterales vs Deformación axial en ensayo de compresión triaxial.....	101
Gráfico 3.	Gráfico de Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal en ensayo compresión triaxial.....	101
Gráfico 4.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela. (Morgenstern- Price / Corte Directo).....	110
Gráfico 5.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.....	112
Gráfico 6.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.....	116
Gráfico 7.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.....	118
Gráfico 8.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.....	121
Gráfico 9.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.....	123
Gráfico 10.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela (GLE/Morgenstern-Price / Compresión Triaxial UU).....	125
Gráfico 11.	Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela (Spencer Compresión Triaxial UU).....	127

RESUMEN

La tesis titulada: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VÍA PE – 34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO”, tuvo como objetivo principal verificar mediante la simulación con el software SLIDE V 6.0 por el método de equilibrio límite, la estabilidad del talud ubicado entre las progresivas km 57+110 al km 57+200 de la vía PE – 34 perteneciente al tramo 5 de la carretera interoceánica que une las regiones de Arequipa y Puno.

La metodología empleada fue del tipo demostrativa, a través de ensayos de laboratorio, que permitieron obtener los parámetros físicos y de resistencia, con los cuales se realizó el modelamiento y simulación para solicitaciones estáticas y pseudoestáticas determinándose mediante estas, el factor de seguridad en la superficie de falla más crítica de la sección analizada.

Los resultados obtenidos del trabajo de investigación reflejaron que, la condición del talud en función de las características del suelo y la geometría de la sección, determinan un único estrato de arena-limosa (SM) con un grado de cohesión de 0.38 kg/cm² y un ángulo de fricción de 28.00° en un ensayo de corte directo (análisis superficial no confinado); sin embargo, los parámetros de resistencia que se emplearon para simular las condiciones reales del talud, fueron obtenidas en un ensayo de compresión triaxial, en el cual se evalúa la muestra en una condición confinada, determinando un grado de cohesión de 0.74867 kg/cm², y un ángulo de fricción de 29.96°.

Asimismo, refleja una configuración estable con factor de seguridad de 1.961 utilizando el método de Morgenstern - Price y 1.916 con el método Spencer (análisis estático), y de 1.338 y 1.323 en los métodos Morgenstern – Price y Spencer respectivamente (análisis pseudoestático).

Se concluye entonces que, el talud compuesto por ignimbritas de la formación volcánico sencca, se encuentra estable pese a sus características geométricas para condiciones estáticas y pseudoestáticas respectivamente, dejando en evidencia las cualidades físico – mecánicas que aporta el material volcánico sencca (en su condición natural), a la estabilidad de un talud compuesto por dicho volcánico.

Palabras clave: Estabilidad de taludes, Volcánico sencca, Resistencia al corte del suelo, Compresión triaxial, Método de equilibrio límite.

ABSTRACT

The thesis titled: “ANALYSIS OF STABILITY OF THE SLOPE COMPOSED OF POZZOLAN LOCATED BETWEEN THE PROGRESSIVES 57+110 TO THE 57+200 FROM THE ROUTE PE -34

BETWEEN THE REGIONS OF AREQUIPA AND PUNO”, had the principal objective to verify through the stimulation with the software SLIDE V 6.0, by the method of limited balance, the stability of the slope located between the progressive’s km 57+110 to the km 57+200 of the via PE - 34 belonging to the section 5 from the interoceanic highway which unites the regions from Arequipa and Puno. The methodology was a part of the demonstrative type, through the trials of the laboratory, which allowed there to be obtained of the physical parameters and the resistance with which performed the modeling and simulation for the requesting statistics and pseudo statistics determining through these, the factor of security on the slip surface most critical of the analyzed section.

The obtained results of the investigation reflect the condition of the slop in the base of the characteristics of the ground and the geometric of the section, determining the only sand-silty stratum (SM) with a cohesion grade of 0.38 kg/cm² and an angle of friction of 28.00° in a direct shear test (A superficial analysis that’s not confined). Nevertheless, the resistance of the parameters which was used to simulate the real conditions of the slope was obtained in a triaxial compression trial where the sample was evaluated in a confined condition determining a cohesion grade of 0.74867 kg/cm², and a friction angle of 29.96°.

In addition, it demonstrates a stable configuration with the security factor of 1.961 utilizing the method of Morgenstern - Price and 1.916 with the method Spencer (static analysis), and 1.338 and 1.323 in the methods Morgenstern - Price, and Spencer respectively (pseudo-static analysis).

It is concluded that the slope composed by ignimbrites of the volcanic formation sencca, is found stable despite its geometric characteristics for the statistical and pseudo-static conditions respectively. Leaving in evidence the physical qualities mechanics that provide the volcanic sencca material (in its natural condition), at the stability of the slope composed by a volcanic.

Key Words: Stability of slopes, Volcanic sencca, Soil Shear Resistance, Triaxial Compression, Equilibriety limit method

INTRODUCCIÓN

La latente preocupación por los recurrentes eventos sísmicos de gran magnitud que se suscitan en todo el Perú, han propiciado que se analicen estructuras en etapa de servicio, las cuales son afectadas por este tipo de fenómenos naturales poniendo en riesgo su integridad, esto, con la finalidad de tomar medidas preventivas salvaguardando la vida de las personas que están ligadas directa o indirectamente a estas estructuras; asimismo evitar las grandes pérdidas económicas que ocasionarían los colapsos de las mismas y disminuir los riesgos y posibles eventos fatales que puedan ocasionar los desbaratamientos las estructuras.

Uno de los problemas de construcción que ha tomado notoriedad actualmente, tiene que ver con la estabilidad de taludes que se encuentran ubicados en vías nacionales importantes, puesto que, muchos de estos ya excedieron la vida de servicio estimada en sus diseños iniciales y fueron sometidos durante todo este periodo de tiempo a fenómenos sísmicos y condiciones meteorológicas extremas.

Tanto es así que la presente investigación, busca brindar una solución a este problema a través de un análisis de estabilidad, mediante una simulación en un software que emplea métodos de equilibrio límite.

Generalmente en las zonas con una constante actividad sísmica, las fallas o deslizamientos, son inducidas por estos efectos sísmicos y de una manera no tan determinante por la meteorización ocasionada por factores externos como: las precipitaciones, escorrentías sobre el suelo. Asimismo, estas fallas también suelen ser provocados por múltiples alteraciones realizadas por los hombres, ejemplo, el significativo aumento de vehículos de gran tonelaje que acogen las vías.

La composición de los taludes es influyente al determinar los parámetros de resistencia de los suelos, ya que estos a lo largo de su vida útil, están sometidos tanto a agentes externos como internos poniendo en riesgo la estabilidad de los mismos. Los parámetros de resistencia de los suelos naturales (inalterados), generalmente son inferiores a los parámetros de resistencia de suelos modificados estructuralmente para la satisfacción de los requerimientos de diseño.

En la zona sur del Perú se presentan estructuras geológicas volcánicas las cuales, en sus respectivas etapas de actividad, emitieron de forma violenta el magma que se divide en lava y gases provenientes del interior de la tierra, produciendo distintos tipos de materiales a temperaturas muy elevadas que aportan características estructurales especiales a los suelos, las que pueden perderse cuando su estructura natural se ve alterada por factores externos. Por esta razón, el estudio de estos materiales y sus características, es de suma importancia para realizar un diseño más adecuado y eficiente de una estructura.

Por ello, en el presente trabajo de investigación, se fijó el objetivo analizar la estabilidad del talud empleando la simulación mediante un software, basado en el método de equilibrio límite; así mismo, se buscó determinar la influencia del material ignimbrita de la formación volcánico sencca, en su estado natural (inalterado) para la estabilidad de taludes, evaluando la muestra de forma detallada, determinando el génesis y la composición de la misma.

La investigación se estructura en cinco capítulos:

En el capítulo I, se describe el planteamiento de la investigación donde se aprecia la problemática, objetivos, justificación, delimitación de la investigación, formulación de la hipótesis y las variables que se investigan.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico, donde se describen los antecedentes respecto a las técnicas de bioingeniería para estabilización de taludes. En las bases teóricas se presentan y describen puntos importantes para la investigación como: estabilización de taludes, técnicas de bioingeniería con cultivo de pastos vetiver, resistencia al corte de suelos y factores de seguridad contra deslizamientos de taludes.

En el capítulo III, se presenta el marco metodológico, por lo que se detalla el tipo, nivel, diseño, método de la investigación. Aquí también se describe la población, muestra, instrumentos para la recolección y análisis de datos.

En el capítulo IV, se analizan y discuten los resultados, en relación con la información recolectada, así como los resultados de los ensayos que se realizaron. También se presentan los procesos de modelamiento del talud.

En el capítulo V, se responden a las preguntas de los problemas de investigación mediante las conclusiones y recomendaciones a las que se arribaron.

Finalmente, se presentan los anexos que comprenden los ensayos de laboratorio realizados, análisis y modelamiento del talud, memorias de cálculo y el panel fotográfico.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Geomorfología de la sierra sur y centro del Perú es notoriamente accidentada, esto suscita que la infraestructura vial de las principales carreteras transversales que intersecan la cordillera de los andes, tengan que adecuarse a la inconstante topografía de la zona.

Cabe resaltar que la tecnología avanzó a pasos agigantados en los últimos años, optimizando los procedimientos y materiales usados para la construcción de infraestructuras viales; sin embargo, existen fenómenos geotécnicos encontrados en la construcción de las mismas, que si bien es cierto en algunos casos se han convertido en grandes obstáculos para la realización de dichos proyectos, otros han aportado características particulares. Es necesario enfatizar que un factor determinante a la hora de optar por un diseño o alguna técnica constructiva de una infraestructura vial, es realizar los estudios de suelos correspondientes y de esta forma inclinarse por una solución técnica y económicamente viable.

A menudo, nos preguntamos ¿Qué sucede cuando los parámetros de diseño no son compatibles con lo existente en campo a la hora de ejecutar el proyecto?, ¿Cómo es el caso del comportamiento atípico que tiene la puzolana encontrada en las secciones transversales de corte cerrado, ubicadas en la vía Arequipa – Yura?

Actualmente esta vía es de gran importancia para el sector económico por el transporte de concentrado de mineral e hidrocarburos y también para el desarrollo del sector turístico.

Es preciso indicar que la construcción del tramo de la vía Arequipa – Yura tiene características muy particulares, principalmente en el ángulo de reposo de los taludes que se originaron al cortar y perfilar el material existente (geológicamente denominado Volcánico Sencca) compuestas en su totalidad por puzolana, desarrollando la vía conforme a los diseños aprobados por el MTC. Sin embargo, como se puede apreciar en su recorrido entre las progresivas del km 57+110 al km 57+200; el ángulo de reposo existente es muy crítico, sumado a esto las características físicas de la puzolana, la misma que a simple inspección no presenta una cohesión adecuada, poniendo en

riesgo la integridad de las personas y vehículos que transitan por dicha vía, afectando directamente a la transitabilidad de los mismos.

La presente investigación pretende identificar, analizar las características geomecánicas del talud existente y determinar mediante el software SLIDE V. 6.0, las probables condiciones de falla y verificar la estabilidad del talud.

1.2 PROBLEMA GENERAL

¿El talud compuesto por puzolana entre las progresivas 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 entre las regiones de Arequipa y Puno, se encuentra estable? y ¿el ángulo de reposo está dentro de los límites establecidos mediante el método de equilibrio límite?

1.2.1 Problemas específicos:

- ¿Cuál es el ángulo de reposo actual del talud compuesto por puzolana contrastado con el ángulo de reposo obtenido mediante ensayos físicos entre las progresivas 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 entre las regiones de Arequipa y Puno?
- ¿Cómo influye el material puzolánico para mantener el ángulo de reposo actual, en el talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno?
- ¿La estabilidad del talud compuesto por puzolana ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno cumple con el factor de seguridad obtenido mediante análisis de los resultados obtenidos por ensayos de campo?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar a través del software SLIDE V. 6.0 mediante métodos de equilibrio límite, si el talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno cumple con los límites establecidos mediante el método de equilibrio límite, así como verificar y contrastar el ángulo de reposo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar los resultados obtenidos en laboratorio mediante ensayos físicos de muestras sustraídas del talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno.

- Determinar la influencia del material puzolana en el ángulo de reposo del talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno.
- Ratificar si la aparente estabilidad del talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno, cumple con el factor de seguridad obtenido mediante análisis de los resultados obtenidos por ensayos de campo.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La existencia de factores que ponen en riesgo de falla a los taludes adyacentes a estructuras viales como la erosión, la actividad sísmica, las vibraciones o cargas vivas producidas por vehículos de gran tonelaje, inducen al deterioro y en muchos casos a la falla estructural de los mismos. Esta investigación pretende analizar las características de un talud sometido por estos factores en condiciones no específicas de equilibrio, de esta manera mediante los datos obtenidos en ensayos de laboratorio verificar el grado de estabilidad del talud y porque se mantiene en equilibrio a pesar de dichas condiciones.

El beneficio de esta investigación permitirá identificar la influencia del material puzolánico en el ángulo de reposo de perfiles en equilibrio, para determinar la condición de equilibrio del mismo y garantizar la seguridad y transitabilidad del tramo, y sea referente a los demás tramos que se encuentren en semejantes condiciones.

1.5 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.5.1 Hipótesis General:

El talud compuesto por puzolana ubicado en las progresivas 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 entre las regiones de Arequipa y Puno, no se encuentra estable y el ángulo de reposo no está dentro de los límites establecidos mediante el método de equilibrio límite.

1.5.2 Hipótesis Específicas:

- Al analizar los resultados obtenidos en laboratorio mediante ensayos físicos de muestras sustraídas del talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno, se determina que son semejantes al ángulo de reposo existente.
- El material puzolánico influye en la estabilidad de talud al mantener el ángulo de reposo actual, en el talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno.

- La estabilidad del talud compuesto por puzolana ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno, cumple con el factor de seguridad obtenido mediante análisis de los resultados obtenidos por ensayos de campo.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Dependientes

- **ÁNGULO DE REPOSO:**

Se denomina de esta forma a la máxima inclinación que puede alcanzar el talud o ladera sin sufrir ninguna falla por deslizamiento respecto a la superficie horizontal que lo sostiene.

- **ESTABILIDAD DE TALUD:**

Se denomina estabilidad de talud al estado de equilibrio de las fuerzas que actúan sobre y dentro del mismo, asegurando de esta forma su integridad ante posibles fallas y movimientos de secciones del bloque de masa, que se suscitan cuando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo es excedida por los esfuerzos cortantes que actúan en la superficie continua del bloque de masa.

1.6.2 Independientes

- **COEFICIENTE COHESIÓN**

Se utiliza esta expresión al referirse a la adherencia entre partículas establecidas por la película de agua que envuelve las mismas y las fuerzas moleculares actuantes. De modo que la cohesión de un suelo es directamente proporcional al contenido de humedad del mismo, el cual tiene como unidad de medida kg/cm^2 .

- **DENSIDAD**

Se refiere a la magnitud escalar que relaciona el peso por unidad de volumen, existen dos tipos de densidad, una real que se obtiene de la división entre la masa del total y su volumen real (volumen excluyendo los vacíos entre partículas) y la densidad aparente que es el cociente entre la masa total y el volumen aparente (volumen incluyendo los vacíos entre partículas).

- **RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE**

Se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar. Los dos tipos de resistencia al cortante utilizados en el análisis de estabilidad son: la resistencia no-drenada y la resistencia drenada.

- **ESFUERZO EFECTIVO**

Se refiere a la magnitud vectorial en una dirección que resulta de la diferencia del esfuerzo total en dicha dirección y la presión del agua que se encuentra en los vacíos del bloque de suelo, por lo tanto, es una diferencia de esfuerzos.

- **ÁNGULO DE FRICCIÓN**

Se define como ángulo de fricción o ángulo de rozamiento interno a la propiedad de materiales granulares, la cual es el parámetro fundamental en la determinación de la resistencia al corte, también está directamente relacionada con el máximo ángulo en el cual el material granular se puede mantener en equilibrio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En el ámbito local Luque y Molina (2018), en su tesis titulada “Utilización de Elementos Finitos y Análisis Numérico para la Obtención de los Factores de Seguridad en el Talud de Sigvas (Entre Km. 920 – Km. 921), Distrito de Majes-Caylloma y Distrito San Juan de Sigvas-Arequipa, Arequipa”. El conocimiento de la existencia de problemas geotécnicos en la Ciudad de Arequipa y especialmente en el distrito de San Juan de Sigvas, es un problema latente que está afectando a la industria y especialmente a la sociedad del lugar. Debido a este fenómeno se han producido deslizamientos de importante magnitud principalmente porque la irrigación del Proyecto Majes I no tuvo previsto las filtraciones y ruptura del canal, lo que ha provocado alarma en la zona. Ingemmet realizó estudios que proporcionan la estratigrafía de la zona afectada; tratándose de una mezcla de arenas, gravas y conglomerado. En esta tesis se han estudiado los suelos para verificar dicho sustento bibliográfico para lo cual se han realizado muestreos en campo y también se ha revisado la bibliografía geológica respectiva; encontrándose cierta compatibilidad con los estudios de la institución anteriormente nombrada. Paralelamente se hicieron los trabajos preliminares de extracción de muestras, ensayos para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Para poder definir el estado actual del talud, se hizo un levantamiento topográfico con drones, obteniendo la planta, el perfil y secciones. Con estos datos se realizó un análisis de estabilidad de taludes por elementos finitos y métodos numéricos con los programas GeoStudio 2012 y Geo5 2018, respectivamente. Para ello se analizó tres superficies de falla que variaron en el tiempo, con una altura del agua constante para calcular el factor de seguridad que evidencia la inestabilidad. Adicionalmente dentro del análisis descrito se ha determinado cuál es la variabilidad en la obtención de resultados utilizando ambos programas. De acuerdo con el análisis de estabilidad mediante el método de elementos finitos utilizando el software Geo 5 2018 la superficie de falla más crítica se encuentra en la cresta del talud, de acuerdo con los parámetros de resistencia obtenidos el ángulo de fricción interna $34 - 42^\circ$ y una cohesión de $0.028 - 0.18\text{kg/cm}^2$ el talud se considera completamente

inestable por lo que se concluye que el deslizamiento en Siguan y sus áreas de influencia son un peligro inminente.

En el ámbito nacional Alvarado y Cornejo (2014), en su tesis titulada “Estabilización de Taludes en la Costa Verde - Callao Tramo. Av. Santa Rosa - Jr. Virú. (1.3 km). El objetivo general de este estudio fue Elaborar el estudio para la estabilización de talud entre la Av. Santa Rosa – Jr. Virú. (1.3 Km), que permitirá evitar el riesgo de vidas e incrementar la calidad de vida de la población, asimismo, la obstrucción del tránsito de acuerdo con las normas vigentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y otras normas relacionadas.

Esta tesis tiene por finalidad realizar un análisis de la estabilidad del talud de la Costa Verde en la zona correspondiente al distrito de La Perla, en la provincia del Callao. Con base en este análisis de estabilidad de taludes, se pretende establecer una solución para los problemas de este tramo específico. Para lograr una correcta evaluación de la problemática de la zona en estudio, se hizo una recopilación de información topográfica, geológica y geomorfológica que permita modelar de manera certera el talud en estudio. Para lograr este objetivo se ha utilizado el programa de computación SLOPE/W. Mediante este estudio se concluye que, en el caso de secciones críticas, se recomienda realizar el recorte del talud hasta lograr un ángulo de 47° , de esta forma, asegurar que no se producirá ningún desprendimiento de materiales, posteriormente será necesario, la colocación de tierra vegetal, para favorecer el crecimiento de césped que controle la estabilidad local Alvarado y Cornejo (2014).

En el ámbito internacional Romero y Galviz (2015), en su tesis titulada “Viabilidad de la Implementación de Fajinas para la Estabilización de Taludes en Colombia Período I, año 2015”. Presentado en la Universidad Católica de Colombia, dicha investigación plantea una nueva alternativa viable para el control y prevención de deslizamientos de tierra que es notablemente económica y amigable con el medioambiente.

En Colombia se ha manejado la protección y mantenimiento de taludes con métodos convencionales, pero los problemas de estabilización, erosión y deslizamiento continúan, por lo cual esta investigación se basa en utilizar la bioingeniería como una estrategia para el control a estos problemas, se enfocará en la utilización de fajinas que permitan un balance ambiental, de calidad y de costos, a fin de tener una alternativa que garantice un mejoramiento en las vías de nuestro país.

Uno de los problemas de deslizamiento en las vías de nuestro país es la conformación de suelo con materiales muy blandos y lodosos por lo cual podemos utilizar herramientas y métodos para poder controlar este problema, La utilización de fajinas en una alternativa de la bioingeniería para poder controlar y prevenir muchos factores presentado en los taludes.

Al concluir el estudio se determinó, que para suelos altamente erosionables con pendientes muy pronunciadas y con presencia de precipitación pluvial, se propongan la implementación de

materiales menos perjudiciales para el medio ambiente, como las fajinas, que tienen un costo inferior referente a otros materiales y cuentan con una apariencia rudimentaria Romero y Galviz (2015).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Suelo

Se define desde dos puntos de vista tanto para el área geológica como para el área geotécnica. Para la geología, el suelo se detalla en capas de material en estado suelto sin consolidar que se despliega desde la superficie hasta la roca sólida, las cuales se fueron conformando cronológicamente por fenómenos de meteorización y los diversos tipos de desintegración en las rocas.

La ingeniería Geológica, nos permite conocer los orígenes naturales de los suelos, los cuales se originan por procesos geológicos endógenos o exógenos, y mediante esta forma clasificarlos, según su origen se clasifican en rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

Desde el punto de vista Geotécnico, el suelo se describe como un material en estado natural no cementado conformado por granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo constituyen, los cuales dependen del grado de consolidación en el que se encuentren. En este aspecto, el suelo es determinante para el diseño y posterior construcción de todos los proyectos de ingeniería, por sus características físicas y mecánicas estudiadas en la geotecnia.

El suelo al igual que otros materiales, posee propiedades relevantes para la ingeniería geotécnica que se observan mediante ensayos in situ o en laboratorio, ambos con procedimientos normados tanto nacional como internacionalmente, como por ejemplo el tamaño de sus partículas y la forma en que estas interaccionan entre sí, que a su vez da lugar a los parámetros de resistencia dependiendo de dicha interacción interna.

Por lo general, son materiales anisotrópicos y heterogéneos, por lo que usualmente están compuestos por distintos estratos con características geotécnicas independientes que varían aleatoriamente, además tienen una característica predominante al ser no conservativos, es decir, que una sección de suelo al deformarse por un agente externo no recupera su forma original.

2.2.1.1 Origen y formación de los suelos

El génesis de los suelos, se debe a distintos tipos de desintegración que sufren los macizos rocosos preexistentes por agentes medioambientales, la meteorización in situ y la erosión.

Cuando la superficie de una roca se encuentra sometida a la atmósfera durante un periodo de tiempo considerable, se desestabiliza y desintegra en partículas de distinto tamaño, repitiendo este proceso hasta formar los suelos de gradación muy fina.

Otro tipo de formación in situ es la meteorización de los macizos rocosos. En este caso se desbaratan y alteran en el mismo lugar sin la intervención del traslado de partículas.

Existen algunos casos en los que las partículas que se generan por los procesos físicos, químicos y biológicos, son transportadas por distintos medios como el agua, viento y hielo, generándose un suelo transportado.

- Desintegración física
 - Cambios de temperatura.
 - Acción de la expansión del hielo (acuñamiento del hielo).
 - La difusión de las raíces de las plantas.
 - Abrasión.
 - Descomposición química.
- Descomposición química
 - Hidratación.
 - Carbonatación.
 - Oxidación.
 - Solución.
 - Hidrólisis.
- Descomposición biológica
- Transporte de suelos
 - Suelos transportados por el agua.
 - Suelos transportados por el viento.
 - Suelos depositados en los glaciares.

2.2.1.2 Clasificación de los suelos

- Suelos Inorgánicos
- Suelos Residuales
- Suelos Transportados
 - Aluviales o Fluviales: Depositados por agua en movimiento.
 - Glaciares: Depositados por el movimiento del glaciar.
 - Eólicos: Depositados por acción del viento.

También se debe mencionar que existen los suelos orgánicos compuestos por descomposición de materia orgánica como son plantas y acumulación de fragmentos de esqueletos.

Tabla 1.

Clasificación de los suelos según su tamaño

Nombre de la Organización	TAMAÑO DE GRANO (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir limos y arcillas) <0.075	

Fuente: Braja M. (2013).

2.2.1.3 Clasificación de los suelos por el método SUCS

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos**

El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (USCS o SUCS), está basado en el sistema creado planteado previamente por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial, luego de algunas modificaciones, fue aprobado por todas las agencias del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica. Actualmente está estandarizado como la norma ASTM D 2487-93.

Es usada en gran parte del mundo para trabajos geotécnicos, que no impliquen diseño o construcción de vías o caminos. Según este sistema de clasificación, los suelos se identifican por un símbolo de dos letras: la primera letra considera al componente base o más abundante de la muestra como el principal, y la segunda interpreta la curva granulométrica o la plasticidad determinada del material ASTM D 2487-83 (2011).

Tabla 2.

Simbología empleada para la clasificación (U.S.C.S.)

Símbolo	Primera Letra					Pt	Segunda Letra			
	G	S	M	C	O		H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o arcillas orgánicas	Turba y suelos altamente org.	Alta Plasticidad	Baja Plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja Das (2013).

Tabla 3.

Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (U.S.C.S.)

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS DEL GRUPO	DENOMINACIÓN TÍPICA	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN			
SUELOS DE GRANO GRUESO Más del 50% es retenido en el tamiz nº 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido por el tamiz nº 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas y mezclas grava-arena bien graduadas, con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \text{ entre 1 y 3}$ <p>Cuando no se cumplen simultáneamente las dos condiciones para GW</p>		
			GP	Gravas y mezclas grava-arena mal graduadas, con pocos finos o sin finos			
		GRAVAS CON FINOS	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo		Debajo de la línea A o IP < 4	Los casos intermedios requieren doble símbolo
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla		Por encima de la línea A o IP > 7	
	ARENAS Más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el tamiz nº 4	ARENAS LIMPIAS	SW	Arenas y arenas con grava bien graduadas, con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6 \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \text{ entre 1 y 3}$ <p>Cuando no se cumplen simultáneamente las dos condiciones para SW</p>		
			SP	Arenas y arenas con grava mal graduadas, con pocos finos o sin finos			
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		Debajo de la línea A o IP < 4	Los casos intermedios requieren doble símbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		Por encima de la línea A o IP > 7	
		Clasificación basada en el porcentaje de finos que pasan por el tamiz nº 200 (0,080 UNE) Menos del 5%: GW, GP, SW, SP Más del 12%: GM, GC, SM, SC Del 5 al 12%: Casos intermedios que requieren el uso de doble símbolo					

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja Das (2013).

2.2.1.4 Diferencia entre suelos cohesivos y no cohesivos

Los suelos cohesivos presentan diminutas partículas y una cantidad suficiente arcilla para que, mediante un reacomodo de las mismas, el suelo se adhiera a sí mismo.

La cohesión del suelo es directamente proporcional a la cantidad de arcilla que contiene, a mayor cantidad de arcilla mayor será la cohesión del mismo.

Los suelos granulares están formados por partículas gruesas como la arena o la grava. Cuando el suelo es menos cohesivo, se utiliza un ensayo de resistencia a la compresión para clasificar cada tipo de suelo, que es la cantidad de presión necesaria para que el suelo colapse.

- Tipos de suelos desde el punto de vista de la mecánica de suelos.
 - Suelos no cohesivos: Sus partículas no alcanzan a adherirse y su composición no presenta arcillas, sus partículas son respectivamente grandes, son también llamados suelos granulares como (arenas, gravas y limos).
 - Suelos cohesivos: Compuestos por diminutas partículas. Las partículas propenden a adherirse en suelos plásticos como las arcillas.



Figura 1. Suelos Cohesivos y no Cohesivos
Fuente: (CRESPO VILLALAZ, 1976-1980)



Figura 2. Suelos Cohesivos y no Cohesivos
Fuente: (Crespo Villalaz, 1976-1980)

2.2.2 Estabilidad de taludes

Según (Suárez, 2006), Un talud es una estructura o sección de tierra o roca, cuyo origen puede ser natural o artificial, en el cual en su geometría conserva una inclinación en relación con el plano horizontal.

Los taludes o laderas de origen natural, son formados por procesos geológicos, a los cuales se someten las masas de tierra o roca en un periodo significativo de tiempo, en cambio, los taludes artificiales, son creados debido a la intercesión del hombre, con el fin de satisfacer una necesidad, ya sea en el ámbito geológico o geotécnico.

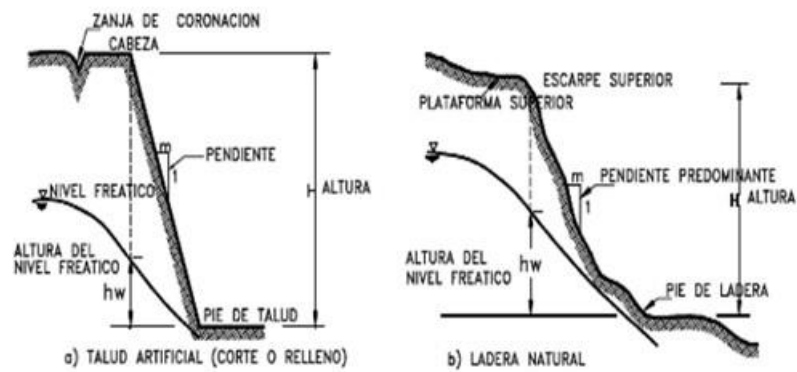


Figura 3. Nomenclatura de taludes y laderas.

Fuente: (Suárez, 2006).

El analizar la estabilidad de un talud, implica un estudio que se caracteriza por detallar la resistencia del suelo, levantar el perfil de la sección del talud, ponderar las condiciones de filtración y agua subterránea cuando el talud tenga condiciones freáticas activas, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y en base a todos estos aspectos, determinar el factor de seguridad. Es que, a partir de este factor de seguridad, se determinará la posible superficie de falla crítica (Suárez, 2000).

De acuerdo con lo anterior, la estabilidad de un talud es la seguridad que presenta el talud ante su posible falla o deslizamiento, es decir, el contraste entre la resistencia al esfuerzo cortante o momento resistente frente al esfuerzo cortante actuante y el momento actuante respectivamente.

Además, Suárez Díaz, menciona que, existen variedad de métodos para analizar la estabilidad de un talud, dentro de los cuales se encuentran los métodos de equilibrio límite, los métodos numéricos, los métodos dinámicos para análisis de flujos entre otros. Es necesario indicar que en este estudio se emplearon métodos de equilibrio límite (Suárez, 2000).

2.2.2.1 Factores que influyen en la estabilidad de taludes

Suárez Díaz manifiesta que, para que un talud se encuentre en una condición de inestable, es debido a dos grupos de factores influyentes los cuales, a su vez se subdividen por sus características.

De acuerdo con lo anterior, existe un grupo de factores condicionantes que se caracteriza por las condiciones propias del talud, y otro grupo de factores desencadenantes, los cuales se basan en las condiciones externas del talud, siendo estas las mayores causantes de la inestabilidad de un talud, por lo que una pequeña variación en estos factores originaría grandes movimientos de masa terrea (Suárez, 2000).

Tabla 4.

Factores que influyen en la estabilidad de taludes.

FACTORES INFLUYENTES EN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD		
	Geológicos	Litología, estratigrafía, discontinuidades
FACTORES	Hidrológicos	Cambios en las presiones de poros o hidrostáticas.
CONDICIONANTES	Geomorfológicos	Áreas con altas pendientes, topografía irregular.
	Climáticos	Efectos Erosivos
FACTORES	Naturales	Precipitaciones extraordinarias, infiltraciones, variación de temperatura, sismos.
DESENCADENANTES	Antrópicos	Deforestación, asentamientos humanos en laderas, minería, vialidad

Fuente: Análisis Geotécnico, (Suárez, 2006).

Los deslizamientos generalmente son llamados movimientos de masa de tierra, lo cual consiguen un movimiento progresivo a lo largo de diversas superficies a través de una franja. Instituto Geológico y Minero de España (1986).

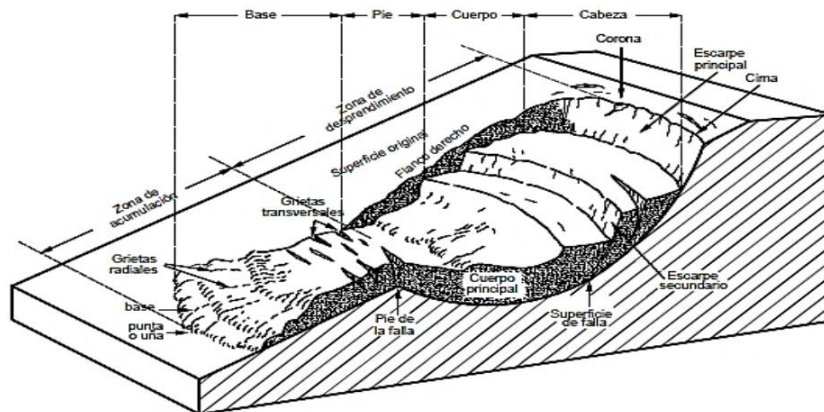


Figura 4. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.

Fuente: Análisis Geotécnico, (Suárez, 2006).

Según el Instituto Geológico y Minero de España (1986), existen dos tipos de deslizamiento, el rotacional con una superficie de falla formada por una curva generada por un centro de giro el cual se sitúa encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento, además existe el de traslación en el cual la masa de suelo se desplaza hacia afuera y abajo a través de una superficie plana o ligeramente ondeada.

2.2.2.2 Análisis de estabilidad de taludes

El Instituto Geológico y Minero de España, considera que el análisis de estabilidad de taludes, involucra el esfuerzo cortante que actúa en la superficie más probable de falla en relación la resistencia cortante del suelo (Instituto Geológico y Minero de España, 1986).

- **Factor de Seguridad (F.S.)**

El factor de seguridad viene a ser la relación entre las fuerzas que actúan sobre el talud y las fuerzas resistentes del suelo que la conforman (Suárez, 2000).

Según la Norma Peruana de Estabilización de Suelos y Taludes CE.020 dictamina que, el profesional responsable del diseño o análisis del talud, deberá evaluar la estabilidad del talud para condiciones estáticas y sísmicas, para lo cual la norma indica un factor de seguridad de 1.5 en la evaluación estática y de 1.25 en evaluaciones sísmicas (CE.020, 2019).

Además, la CE.020, expide que, si los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad no cumplen con los factores mínimos, se deberá seleccionar algún método o la combinación, algunos de estos para la estabilización, con el fin de obtener un factor de seguridad a los establecidos en la norma (CE.020, 2019).

- **Peligro sísmico**

Los sismos son fenómenos naturales originados por movimientos de las fallas geológicas formados por esfuerzos tectónicos en la corteza terrestre. Estas fallas al moverse, producen ondas de diferentes tipos y liberando una gran cantidad de energía, las cuales viajan a través los estratos de la corteza (Suárez, 2000).

Según la norma Norma Técnica E.030 (2018) el mapa del Perú se divide en cuatro zonas. La zonificación expuesta en la norma, está basada en la historia sísmica espacial observada, las características generales de los movimientos sísmicos y como se atenúan en relación a la distancia epicentral del sismo. Además, dicha norma, contiene el listado de las provincias y distritos que corresponden a cada zona.

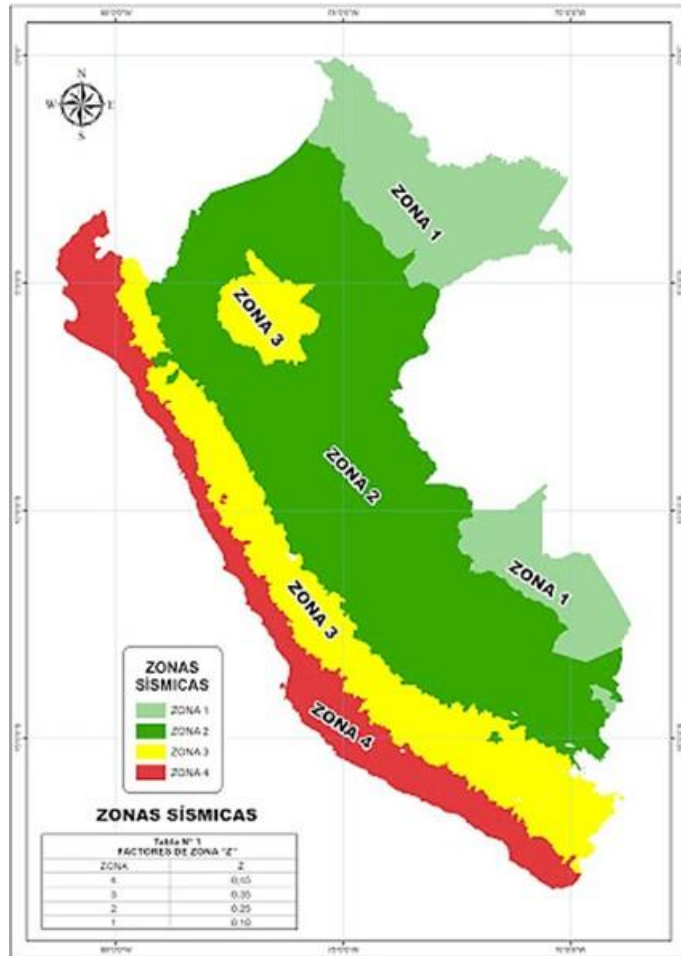


Figura 5. Zonas sísmicas, diseño sismorresistente.
Fuente: Norma Técnica E.030 (2018)

A cada zona se asigna un factor Z. Dicho factor se comprende como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido, con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (E.030, 2018).

Tabla 5.

Factores de zona "Z".

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

Fuente: Norma Técnica E.030 (2018) Diseño sismorresistente.

Tabla 6.*Zonificación sísmica.*

Región	Provincia	Distrito	Zona sísmica	Ámbito
Arequipa	Arequipa	Alto Selva Alegre	3	Veintiún Distritos
		Arequipa		
		Cayma		
		Cerro Colorado		
		Characato		
		Chiguata		
		Jacobo Hunter		
		José Luis Bustamante y Rivero		
		Mariano melgar		
		Miraflores		
		Mollebaya		
		Paucarpata		
		Pocsi		
		Quequeña		
		Sabandía		
		Sachaca		
		San Juan de Tarucani		
		Socabaya		
		Tiabaya		
		Yanahuara		
		Yura		
		La joya		
		Polobaya		
		San Juan de Sigvas		
Santa Isabel de Sigvas				
Santa Rita de Sigvas				
Uchumayo				
Vítor				
Yarabamba				

Fuente: (E.030, 2018), Diseño sismorresistente.

2.2.2.3 Método de análisis de equilibrio límite

Según lo indicado por (Suárez, 2006), una rama de la ingeniería geotécnica es la modelación y análisis de taludes, la cual tiene como objetivo fundamental analizar las condiciones de estabilidad

de los taludes naturales, así como también la seguridad y funcionalidad del diseño en los taludes artificiales (Suárez, 2000).

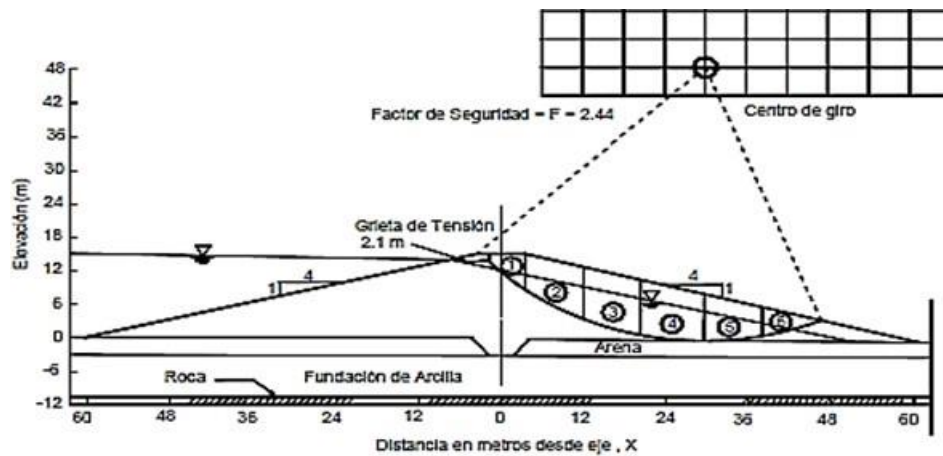


Figura 6. Ejemplo de un análisis de estabilidad del talud.
Fuente: (Suárez, 2006).

Los principales objetivos del análisis matemático de los taludes son:

- Analizar y evaluar las condiciones de estabilidad del talud (si es estable o inestable y los límites de estabilidad).
- Investigar los mecanismos potenciales de falla (analizar cómo ocurre la falla).
- Determinar la susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos de activación (efecto de lluvias, sismos, etc.).
- En caso se determine la condición inestable del talud, se evaluará la efectividad de las diversas opciones de remediación o estabilización y su efecto sobre la estabilidad del talud.
- Diseñar los taludes óptimos en términos de seguridad, confiabilidad y economía (Suárez, 2000).

(Stead y otros, 2000) manifiestan que los métodos numéricos, son las que mejor aproximación al detalle tienen de las condiciones de estabilidad.

No obstante, los métodos de equilibrio límite son más sencillos de analizar, además permiten analizar casos de falla traslacional y falla rotacional, así como fallas de inclinación (“Toppling”) y fallas en cuña.

“Para casos de sistemas de falla complejos, es conveniente utilizar metodologías de modelación que tengan en cuenta los factores que producen los movimientos. Los factores que generan el deslizamiento pueden ser complejos y muy difíciles de modelar; no obstante, con el objeto

de analizar esas situaciones, existen herramientas utilizando elementos finitos, diferencias finitas, elementos discretos y modelos dinámicos.” Suárez (2000, p. 128).

En la tabla mostrada a continuación se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en los análisis convencionales de estabilidad de taludes.

Tabla 7.

Resumen de metodologías utilizadas en análisis de estabilidad de taludes.

METODOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA MODELACIÓN DE TALUDES			
Método	Parámetros utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad, sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones
Esfuerzo-Deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elastoplásticas y de “creep”. Niveles freáticos, resistencia	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de “creep”.	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo al modelo utilizado.

Fuente: Análisis Geotécnico, (Suárez, 2006).

Como se manifestó anteriormente, (Suárez, 2000) para realizar el análisis de estabilidad de un talud, se determina si los esfuerzos cortantes que generan el deslizamiento o falla del talud pueden ser equilibrados por la resistencia que ofrecen los materiales de los que está compuesto el talud. Los métodos de equilibrio límite tienen como característica general, que contrastan las fuerzas o momentos resistentes con las fuerzas o momentos actuantes respectivamente sobre una cierta superficie de falla.

“Una de las principales diferencias de los diferentes métodos viene a ser la forma de cómo actúan internamente las fuerzas sobre la superficie de falla, así como también el tipo de este último.” Suárez (2000, p. 130).

- **Factor de Seguridad (F.S.)**

Fellenius (2012) expuso al factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F. S. = \text{Resistencia al cortante disponible} / \text{Esfuerzo al cortante actuante}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes el F.S. se expresa de esta forma (Fellenius, 2012).

$$F. S. = \text{Momento resistente disponible} / \text{Momento actuante}$$

- **Superficie de Falla**

Se define de esta forma a la superficie mediante la cual puede generarse la falla o deslizamiento del talud. Para los métodos de equilibrio límite el factor de seguridad es igual para todos los puntos en la superficie de falla, por lo tanto, es un promedio obtenido en toda la superficie (Suárez, 2000).

Por lo regular, la superficie más susceptible en la que se producirá el deslizamiento viene a ser la “superficie crítica de falla”, la cual se caracteriza por ser la superficie con el valor de factor de seguridad más bajo de las diferentes superficies de falla (Suárez, 2000).

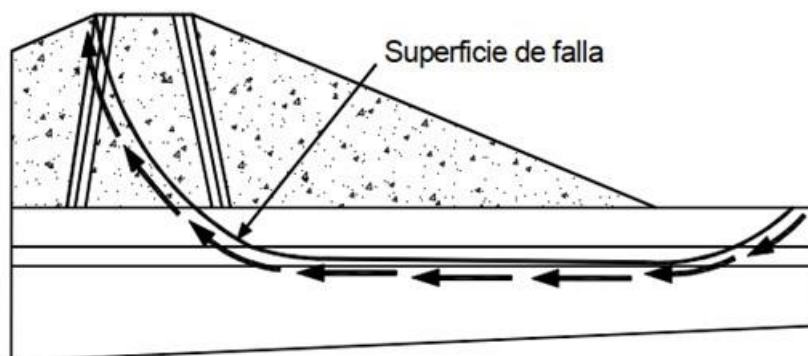


Figura 7. Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante.
Fuente: (Suárez, 2006).

- **Formas de la superficie de falla**

(Suárez, 2006) explica que, los métodos de límite de equilibrio serán utilizados cuando las fallas corresponden al deslizamiento de traslación o de rotación sobre superficies de falla. Por otro lado, menciona que existen superficies parabólicas, circulares, logarítmicas, planas y combinaciones de estas, de igual modo, superficies de falla con forma no geométrica.

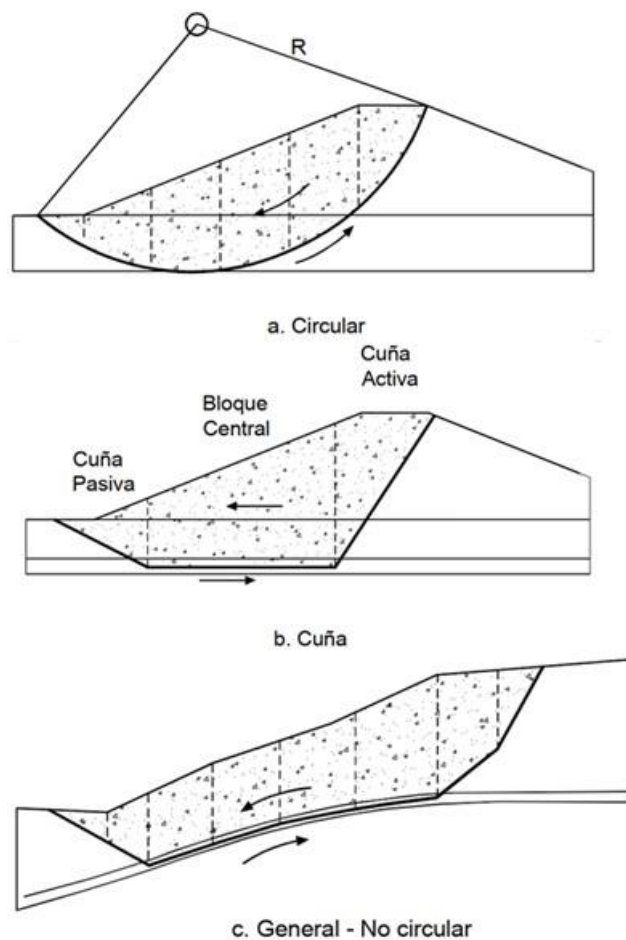


Figura 8. Formas de la superficie de falla.
Fuente: (Suárez, 2006)

“La presencia de grietas de tensión dificulta en forma considerable, la confiabilidad de los análisis cuando no se tiene en cuenta este factor. Estas son muy importantes en los cortes de taludes donde existe un alivio de presiones al ejecutarse la excavación” Suárez (2000, p. 132).

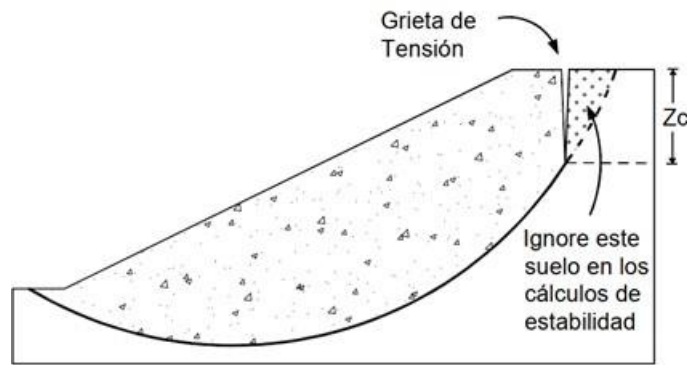


Figura 9. Esquema de grieta de tensión para análisis de límite de equilibrio.
Fuente: (Suárez, 2006)

2.2.2.4 Parámetros utilizados en los análisis de límite de equilibrio

“Los factores primarios que afectan la estabilidad que se tienen que tener en cuenta en los modelos son la geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de resistencia y peso unitario de los suelos, etc.” Suárez (2000, p. 132).

Por otra parte, no todos los factores citados se pueden ponderar para ser incluidos en un modelo matemático. Por ende, hay situaciones en las que un enfoque de límite de equilibrio no satisface los resultados esperados (Suárez, 2000).

- **Pesos unitarios**

De acuerdo con (Suárez, 2006), el parámetro menos influyente en el cálculo del factor de seguridad de un análisis de estabilidad de taludes es el peso unitario del suelo, siendo este un factor sencillo de obtener. Además, los pesos unitarios totales son pesos húmedos por encima del nivel freático y saturados por debajo de este nivel.

- **Resistencia al cortante**

Para la obtención de los parámetros de resistencia al corte, existen dos formas de obtenerlos una es en campo con un grado de precisión aproximado y en laboratorio con un grado de precisión más exacto, para los cuales se debe tener en cuenta las condiciones drenadas o no drenadas o si el análisis se hará en estado no saturado. Estos parámetros competen a los grados de esfuerzos sobre las superficies potenciales de falla. (Suárez, 2000).

Se recomienda utilizar las resistencias residuales en los casos donde ya ha ocurrido la falla del talud (Skempton, 1970).

(Suárez, 2006) Menciona que, se debe considerar el tiempo, pues en la variación del mismo se ve afectada la resistencia. De igual forma indica que para suelos

completamente saturados, el ángulo de fricción interno para condiciones no drenadas será cero.

- **Condiciones drenadas o no drenadas**

Las condiciones en las que se produce la falla de un talud pueden ser drenadas o no drenadas. En el caso de que la falla sea originada por cambios de carga, extracción de material del pie del talud o incremento de carga en la cabeza del talud (en suelos de baja permeabilidad), estos no tendrán tiempo para drenar en el lapso de tiempo en el que ocurre la variación de carga. En este caso, se denomina a la condición no drenada (Suárez, 2000).

- **Esfuerzos totales y efectivos**

Para realizar un análisis de estabilidad de taludes se suponen sistemas de esfuerzos totales o efectivos, puesto que siempre es posible evaluar la estabilidad de un talud usando el método de presión efectiva, dado que la resistencia del suelo simboliza las presiones efectivas tanto en condiciones drenadas como no drenadas.

Por otra parte, en la práctica es tácitamente imposible hallar los excesos de presión de poros que se generarán por los cambios de cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel de agua). Cornforth (2005).

- **Estabilidad a corto y a largo plazo**

En la estabilidad a corto plazo se debe tener en cuenta que los suelos que no tienen un drenaje rápido, están sujetos a presiones de poros por acción de las cargas aplicadas, en cambio, en la estabilidad a largo plazo, se supone que los suelos están drenados (Cornforth, 2005).

Según (Cornforth, 2005). Cuando se evalúa la estabilidad de las arcillas normalmente consolidadas y de limos a corto plazo, se sugiere hacer un modelamiento considerando los esfuerzos totales, aunque se puede realizar el análisis utilizando esfuerzos efectivos, es complicado cuantificar las presiones de poros para contemplarlas en el análisis (Cornforth, 2005).

2.2.2.5 Limitaciones de los métodos de límite de equilibrio

Las técnicas de límite de equilibrio tienen determinadas limitaciones entre las cuales se encuentran las siguientes:

Están basadas exclusivamente en la estática. Como los métodos de límite de equilibrio se basan solamente en la estática y no tienen en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones, en muchos casos, no son realistas. Sin embargo, debe tenerse

en cuenta que estos esfuerzos no realistas, generalmente ocurren en algunas tajadas del análisis y no significa que el factor de seguridad general sea inaceptable (Suárez, 2000).

- **Consideran que los esfuerzos están uniformemente repartidos.** Debe tenerse cuidado cuando existan concentraciones de esfuerzos debidos a la forma de la superficie de falla o a la interacción de suelo estructura (Suárez, 2000).
- **Emplea modelos de falla muy simples.** El diseño de taludes utilizando solamente la modelación con métodos de límite de equilibrio, es completamente inadecuado si los procesos de falla son complejos, especialmente cuando están presentes los procesos de “creep”, la deformación progresiva, el flujo, la rotura por fragilidad, la licuación y otras formas de deterioro de la masa del talud (Suárez, 2000).
- **Regularmente se asume que el material es isotrópico.** “La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema, asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares. Sin embargo, el mecanismo de falla en los materiales residuales donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como las formaciones aluviales y coluviales no-isotrópicas, requiere de nuevos enfoques y del estudio de las superficies de falla no simétricas” Suárez (2000, p. 134).
- **Presiones de poros.** “Las condiciones de presión de poros son generalmente obtenidas de las características de las aguas subterráneas y pueden especificarse para los análisis utilizando los siguientes métodos: Superficie freática, Datos piezométricos, Relación de presión de poros, Superficie piezométrica, Presión de poros constante. Suárez (2000, p. 134).

Aun con las restricciones de un modelo específico, hallar el factor de seguridad asumiendo posibles superficies de falla, brinda al ingeniero una herramienta muy útil para la toma de decisiones. “Los métodos de límite de equilibrio, son una herramienta muy útil en la práctica y se recomienda tener cuidado de no abusar en la aplicación del método para casos complejos donde la distribución de esfuerzos y las deformaciones, desempeñan un papel importante en el comportamiento del talud” Suárez (2000, p. 134).

2.2.2.6 Métodos de análisis de límite de equilibrio

Los métodos para el análisis de límite de equilibrio realizan el estudio de la totalidad de la superficie de falla. Martínez (2010).

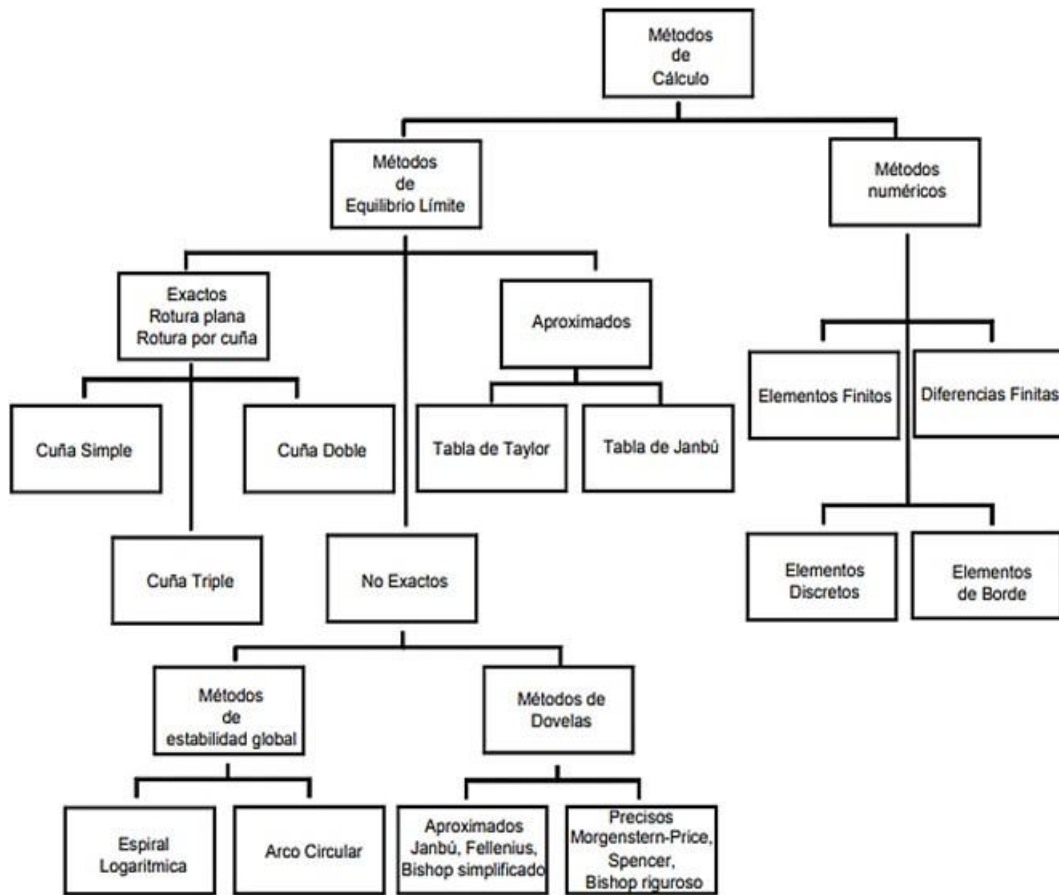


Figura 10. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.
Fuente: Análisis Geotécnico, (Suárez, 2006)

Tabla 8.*Resumen de Métodos de análisis de estabilidad de taludes*

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES			
Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud Infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o Cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral Logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varia con el ángulo de rotación
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi=0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius, 1927)	Circulares	Fuerzas	No considera las fuerzas entre las dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asumen que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbu Simplificado (Janbu 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no existe fuerza cortante entre las dovelas.
U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre las dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas en cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

Fuente: Análisis geotécnico, (Suárez, 2006)

a) Métodos de círculos de falla

“Las fallas observadas en los materiales relativamente homogéneos, ocurren a lo largo de las superficies curvas. Por facilidad de cálculo, las superficies curvas se asimilan a círculos y la mayoría de los análisis de estabilidad de taludes se realizan suponiendo fallas circulares” Suárez (2000, p. 152).

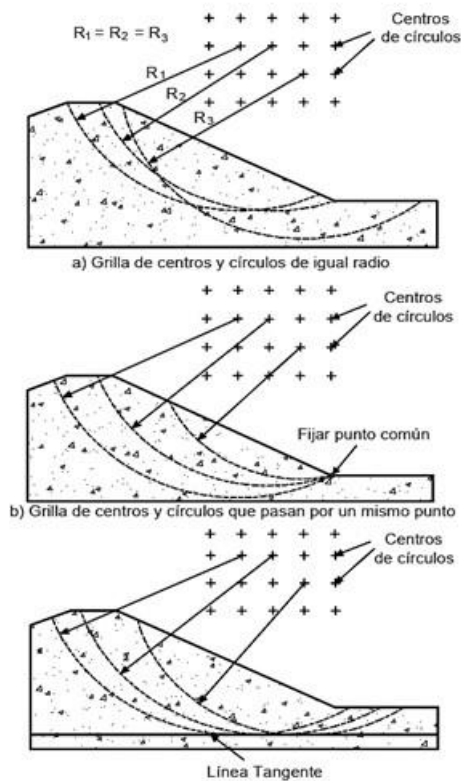


Figura 11. Alternativas de procedimiento de localización de los círculos de falla para el análisis de estabilidad de taludes.

Fuente: Análisis geotécnico, (Suárez, 2006).

“Los factores de seguridad para todos y cada uno de los círculos se calculan por medio de uno o varios de los métodos existentes y el factor de seguridad del talud es el mínimo F. S. obtenido de todos los círculos analizados.” Suárez (2000, p. 152).

• Método de Spencer

“El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos (Spencer, 1967). El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación.” Suárez (2000, p. 156).

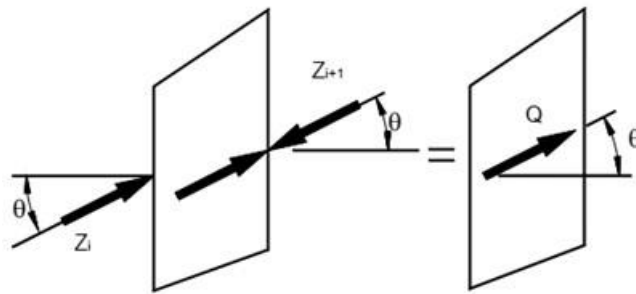


Figura 12. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer.

Fuente: Análisis geotécnico, (Suárez, 2006).

La inclinación de estas fuerzas, es indeterminada y se analiza como una incógnita en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer al principio propuso su método para superficies circulares, pero este mecanismo se puede extender sencillamente a superficies no circulares (Suárez, 2000).

En este método se plantean dos ecuaciones, una para el equilibrio de fuerzas y otra para el equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas θ .

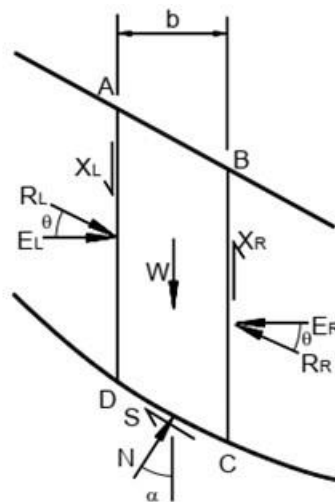


Figura 13. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.

Fuente: Análisis geotécnico, (Suárez, 2006).

“Para resolver las ecuaciones F y θ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.” Suárez (2000, p. 157).

Una vez obtenidos los factores de seguridad y los ángulos de inclinación de fuerza, se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. Este método es considerado muy fiable y es aplicable para cualquier tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y probablemente, es el método de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad (Duncan & Wright, 2005).

- **Método de Morgenstern y Price**

Este método fue desarrollado en 1965, el cual considera que existe una función que vincula las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre las dovelas. Del mismo modo que el método de Spencer, es un método muy preciso, aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo (Duncan & Wright, 2005).

2.2.2.7 Comparación de los diversos métodos

La gran variedad de métodos que se emplean, representan resultados diferentes y en muchas ocasiones contradictorios, los cuales demuestran la incertidumbre que define los rasgos del análisis de estabilidad. Dentro de los métodos más utilizados se encuentran, el Simplificado de Bishop y los métodos precisos de Morgenstern y Price y Spencer. Cada método por sus características y limitaciones brinda diferentes factores de seguridad.

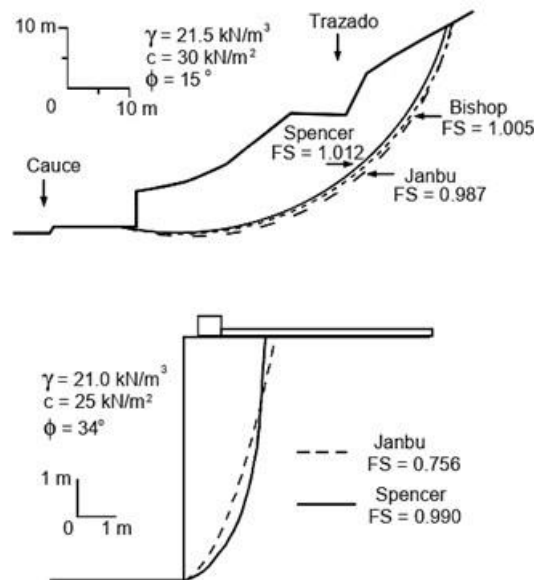


Figura 14. Diferencias entre los resultados de varios métodos.

Fuente: Análisis geotécnico, (Suárez, 2006).

Tabla 9.

Comparación de los resultados del cálculo de factor de seguridad para varios métodos.

Talud	Factor de Seguridad Calculado				
	Bishop	Spencer	Janbú	Morgenstern-Price	Ordinario
Talud 2H:1V	2.08	2.07	2.04	2.08	1.93
Talud sobre una capa de suelo débil	1.38	1.37	1.45	1.38	1.29
Talud con una línea piezométrica	1.83	1.83	1.83	1.83	1.69
Talud con dos líneas piezométricas	1.25	1.25	1.33	1.25	1.17

Fuente: Fredlund y Krahn (1977).

Por los argumentos expuestos previamente, se opta por los métodos más sencillos y fáciles de manejar, siendo aun métodos aproximados, como el método simplificado de Bishop. Cualquier método que cumpla con el equilibrio completo, brindará valores similares del factor de seguridad (Duncan & Wright, 2005).

No se puede afirmar que algún método de equilibrio completo que sea sustancialmente más preciso que otro.

El método de Spencer es más simple que el de Morgenstern y Price, por otro lado, los métodos de Morgenstern son más flexibles para tener en cuenta diversas situaciones de fuerzas entre dovelas; sin embargo, se debe considerar que la dirección de las fuerzas entre partículas en estos métodos, no incide significativamente en el factor de seguridad.

El método de Sarma, tiene algunos beneficios referentes a los demás métodos, en la realización del análisis sísmico.

Alva (1994) luego de comparar los métodos de equilibrio concluye lo siguiente.

- Cualquier método que cumpla el Equilibrio de Momentos, tendrá el mismo factor de seguridad en el análisis de $\varphi = 0$ en superficies de falla circular.
- El Método Ordinario o de Fellenius, da error en el sentido conservador en el caso de $\varphi > 0$. Con presiones de poros mínimas, para los análisis de esfuerzos totales y de esfuerzos

efectivos, el error es menor del 10 %. Para pendientes casi horizontales con altas presiones de poros, el error puede ser mayor del 50 %.

- Para el análisis de $\phi = 0$ o $\phi > 0$ tanto de altas o bajas presiones de poros, el método simplificado de Bishop es ideal y constante para el análisis de falla circular.
- Numéricamente, existen problemas de aproximación cuando los bordes de la sección de falla son muy parados, casi verticales.
- Para los métodos que cumplen únicamente el equilibrio de fuerzas, el factor de seguridad es bastante susceptible a la inclinación considerada por las fuerzas laterales.
- Si se cumplen todas las condiciones de equilibrio, la escala del error en el factor de seguridad es mínima, usualmente $\pm 5\%$ de la respuesta correcta (Alba, 1994).

Tabla 10.

Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Procedimiento	Condición de Equilibrio Satisfecha				Ecuaciones e Incógnitas	Forma de la superficie de falla	Aplicable A	
	Mom. total	Mom. Dovela	Vert	Horiz			Cálculos Manuales	Cálculos en Computador
Método ordinario de dovelas	si	no	no	no	1	circular	si	si
Método de Bishop Modificado	si	no	no	no	n+1	circular	si	si
Método de Janbú Procedimiento generalizado de dovelas.	si	si	si	si	3n	cualquiera	si	si
Métodos de Spencer y Morgenstern y Price.	si	si	si	si	3n	cualquiera	no	si
Método de Lowe y Karafiath	no	no	si	si	2n	cualquiera	si	si
Método de Espiral Logarítmica	si	-	si	si	3	espiral logarítmica	si	si

Fuente: Analisis de estabilidad de taludes. Alba Hurtado (1994).

2.2.2.8 Análisis Sísmico

Los acontecimientos sísmicos son susceptibles a liberar fuerzas de considerable magnitud, las cuales pueden inducir la falla de taludes y laderas. Adicionalmente, la resistencia al corte de un suelo, puede verse afectada por las cargas oscilatorias que generan deformaciones cíclicas, o debido al origen de presiones de poros altas.

La suma de las cargas sísmicas y la disminución de la resistencia producen una reducción integral de la estabilidad. Los materiales más críticos son los no plásticos de grano fino, como son los limos o las arenas finas (Suárez, 2000).

En el análisis de estabilidad se requiere analizar los cinco factores indicados a continuación:

- Magnitud de la fuerza sísmica.
- Disminución de la resistencia a causa de las cargas oscilatorias.
- Disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros.
- Fenómeno de resonancia.
- Amplificación de las cargas sísmicas por la presencia de suelos blandos.

Para los eventos sísmicos se han propuesto cuatro métodos de análisis para la evaluación de la estabilidad de los taludes y laderas. (Houston y otros, 1987):

Método pseudoestático, considera a las cargas del sismo como cargas estáticas horizontales y verticales (Houston y otros, 1987).

Método del desplazamiento o de las deformaciones, se basa en las aceleraciones reales que pueden exceder la aceleración límite permitida, produciendo desplazamientos permanentes (Newmark, 1965).

Método de la estabilidad después del sismo, utiliza las resistencias no drenadas en muestras de suelo distintivas que fueron sometidas con anterioridad a fuerzas cíclicas equiparables a las del sismo esperado (Castro, 1985).

Método de análisis dinámico por elementos finitos. Con un análisis más empírico en dos o tres dimensiones, que utiliza un modelo concreto, se obtienen detalles relacionados con esfuerzos, deformaciones cíclicas o permanentes (Prevost, 1985).

Los dos primeros métodos son los más empleados en la ingeniería geotecnia debido, especialmente, a su facilidad de implementación (Prevost, 1985).

2.2.2.9 Criterio de rotura de Mohr Coulomb

La teoría de Mohr-Coulomb, es un modelo matemático que describe la reacción de materiales quebradizos, tal como agregados de partículas como el suelo, a esfuerzos cortantes, así como tensión normal.

La mayoría de los materiales téreos actúan bajo esta teoría al menos en la resistencia al corte. Frecuentemente, la teoría se aplica a los materiales en los que la resistencia a la compresión está muy por encima de la resistencia a la tracción.

Esta teoría indica que el corte de un material ocurre en una combinación de la tensión normal y tensión tangencial, dado que mientras mayor sea la tensión normal, mayor será la tensión tangencial necesaria para cortar el material.

La relación de esa envolvente se expresa como:

$$\tau = \sigma \tan\phi + c$$

Donde:

- τ es el esfuerzo cortante.
- σ es la tensión de normal.
- c es la intersección de la línea de fallo con el eje de τ , llamada cohesión.
- ϕ es la pendiente del ángulo de la envolvente, también llamado el ángulo de rozamiento interno.

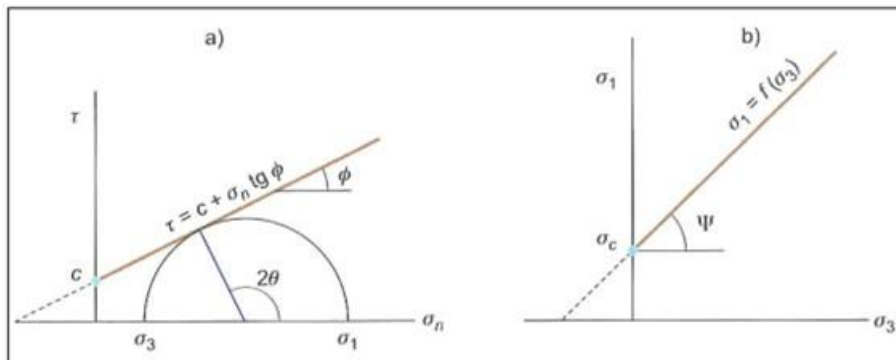


Figura 15. Envolventes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b). Para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envolventes no se producirá rotura.

Fuente: Suárez (2000)

2.2.3 Propiedades del suelo

2.2.3.1 Propiedades físicas del suelo

De acuerdo con la norma de Suelos y Cimentaciones (Norma E.050, 2015), indica que, para determinar las propiedades del suelo, se tienen que llevar a cabo ensayos in situ y de laboratorio, los cuales se están basadas en las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

“En la mecánica de suelos, es de suma importancia conocer las principales propiedades físicas del suelo, ya que interpretando correctamente los resultados podemos predecir a un futuro el comportamiento de un suelo determinado” Crespo (2004, p. 41).

- **Humedad natural del suelo**

La Norma Técnica Peruana (NTP 339.127, 2006), define a la humedad o contenido de humedad, como la cantidad de agua presente en el suelo, el cual se expresa como porcentaje de la relación del peso de agua en una masa dada del suelo entre el peso de las partículas sólidas.

- **Análisis granulométrico del suelo**

Este análisis detalla la obtención de la distribución de partículas expresados en porcentajes del peso total, puesto que el suelo contiene partículas de diversos tamaños. el análisis granulométrico por tamizado es aplicado para suelos con partículas con diámetro superior a 0.075 mm. (Braja, 2013).

La Norma Técnica Peruana (NTP 339.128, 2006), menciona la distribución de partículas de los suelos mediante tamices estandarizados. Cabe resaltar que esta distribución de partículas nos brindará alcances necesarios para clasificar los suelos mediante los sistemas SUCS o AASHTO. Este método clasifica a estos en función del tamaño de sus partículas, el cual comprende sacudir la muestra a través de tamices estandarizados los cuales cuentan con aberturas que se van reduciendo gradualmente (MTC, 2016).

Tabla 11.

Tamaño de partículas.

MATERIAL DE SUELO		TAMAÑO DE PARTÍCULAS
	Grava	75 – 4.75
	Arena	Arena gruesa: 4.75 – 2.00 Arena Media: 2.00 – 0.425 Arena fina: 0.425 – 0.075
Material Fino	Limo	0.075 – 0.005
	Arcilla	Menor a 0.005

Fuente: Manual de ensayos de materiales. MTC (2016.)

Posteriormente, se muestran los números de tamiz estándar con sus respectivas aberturas en milímetros.

Tabla 12.

Tamaños estándar de tamices.

N° Tamiz	Abertura (mm)
3"	75.000
1 ½"	38.100
¾"	19.000
3/8"	9.500
N° 4	4.760
N° 8	2.360
N° 16	1.100
N° 30	0.590
N° 50	0.297
N° 100	0.149
N° 200	0.075

Fuente: Manual de ensayos de materiales. MTC (2016).

Para el análisis de datos se representa de manera gráfica (papel semilogarítmico), el porcentaje de pesos acumulados (escala aritmética) y la abertura del tamiz en la abscisa (escala logarítmica), con la que se determina la curva de graduación de los tamaños de las partículas (Braja, 2013).

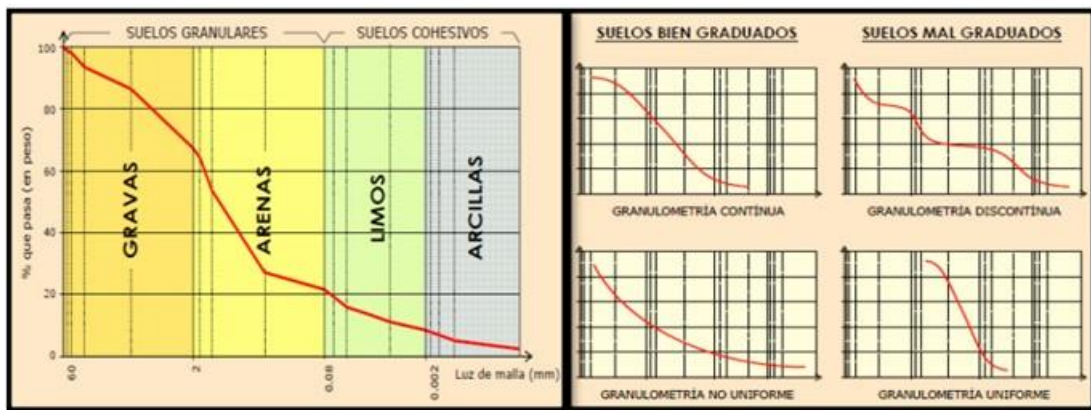


Figura 16. Curva granulométrica de un suelo e interpretación de la curva.

Fuente: Braja Das (2013).

- **Consistencia del suelo**

La teoría de la consistencia del suelo, fue desarrollada por Albert Atterberg en 1900, quien menciona que la incorporación de diferentes contenidos de humedad al grano fino,

el cual con un contenido de humedad muy bajo el comportamiento del suelo es como un sólido quebradizo, pero cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Debido a esto el comportamiento natural del suelo se divide en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido (Braja, 2013).

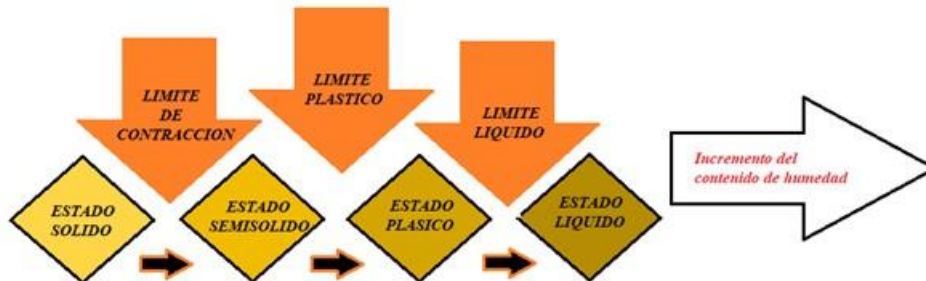


Figura 17. Límites de Atterberg.
Fuente: Elaboración Propia

- Límite líquido

La Norma Técnica Peruana (NTP 339.129, 2006), se refiere al límite líquido como el contenido de humedad del suelo, el cual se encuentra entre el límite del estado líquido y plástico. Esta humedad se determina situando una masa de suelo en el instrumento denominado Copa de Casagrande, dicha masa es humectada y separada con un ranurador, para posteriormente dejar caer la copa a una altura de 1 cm., y luego de cerrar la ranura en 1 cm., con 25 golpes de la cuchara contra la base, se toma el peso de la muestra para posteriormente secarla al horno y volver a pesar para determinar el peso de agua perdido. El cálculo del límite líquido se realiza mediante las pruebas con diferentes contenidos de humedad, el cual mediante el método gráfico se determina la humedad a los 25 golpes en un gráfico semilogarítmico (humedad versus número de golpes).

- Límite plástico

Se denomina límite plástico al contenido de humedad del suelo, al cual un cilindro de suelo de 3 milímetros de diámetro se resquebraje al conformarse manualmente, la muestra deber ser pasante de la malla N° 40, al igual que para el ensayo del límite líquido. Es necesario indicar que la diferencia del límite líquido y límite plástico nos permite hallar el índice de plasticidad del suelo (NTP 339.128, 2006).

- Índice de plasticidad

De esta forma, se define al comportamiento de un suelo basándose en su contenido de humedad, el suelo trabajará siendo capaz de resistir deformaciones sin llegar a una falla.

Tabla 13.

Características del suelo según su índice plasticidad

Índice de plasticidad	Características del suelo
IP>20	Muy arcillosos
20>IP>10	Arcillosos
10>IP>4	Poco arcillosos
IP=0	Exentos de arcillas

Fuente: (MTC, 2016).

- **Clasificación de los suelos mediante el sistema SUCS**

Se han desarrollado algunos métodos de clasificación de suelos, debido a que en la naturaleza se presentan gran variedad de suelos, según el tamaño de partículas y la plasticidad que presenta.

- Suelos gruesos

Son las gravas y las arenas, se denominan de esta forma si más de la mitad de la fracción de la muestra es retenida por la malla N°4, esta fracción será parte del grupo de las gravas (G), caso contrario pertenecerá al de las arenas (S). Estos dos grupos se dividen en cuatro grupos más que son GM, GP, GW, GC y SW, SP, SM, SC respectivamente para las gravas y las arenas, esto debido a que estos también puedan contener porcentajes de finos. Los símbolos de GW y GP pertenecen a gravas bien graduadas y a gravas pobremente respectivamente, de igual forma para los que contengan finos los cuales son GM que indica a una grava limosa y GC a una grava arcillosa. De igual forma sucede en las arenas SW, SP, SM y SC que se refieren a arenas bien graduadas, arenas mal graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas respectivamente (Crespo, 2004).

- Suelos finos

Los suelos finos son los limos y las arcillas que se agrupan en tres grupos con límite líquido menor a 50 %, de igual forma agrupa en tres grupos a los finos con un límite líquido mayor a 50 %, y un solo grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Si el suelo posee un límite líquido menor a 50 %, se añadirá el símbolo L a los prefijos M, C y O, obteniéndose los grupos ML, CL y OL a los que se refieren como limos inorgánicos de baja compresibilidad, arcillas inorgánicas de baja compresibilidad y limos orgánicos de baja compresibilidad respectivamente. Para las turbas de suelos altamente orgánicos se les asignan el símbolo Pt (Crespo, 2004).

Tabla 14.

Clasificación SUCS para suelos gruesos.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo		NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm).	Gravas limpias (sin o con Pocos finos).	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% >GW, GP, SW, SP. >12% >GM, GC, SM, SC. 5 al 12% >casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu=D60/D10>4 Cc=(D30)²/D10xD60 entre 1 y 3	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos).	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm).	Arenas limpias (pocos o sin finos).	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cu=D60/D10>6 Cc=(D30)²/D10xD60 entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos).	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja Das, 2013

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo		NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	

Fuente: (Braja Das, 2013) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

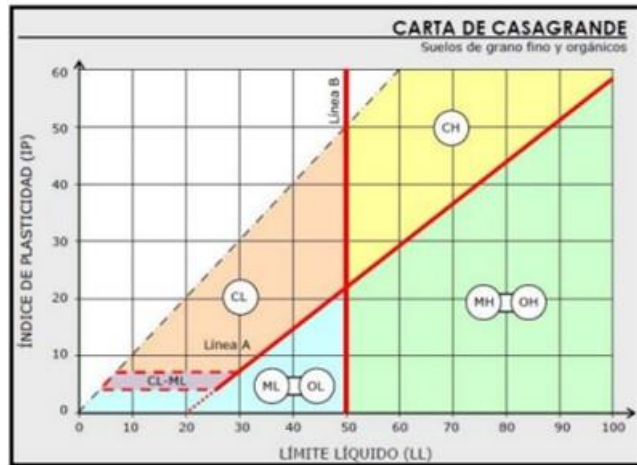


Figura 18. Carta de Casagrande (Suelos finos y orgánicos).
Fuente: (Braja Das, 2013)

- **Análisis granulométrico por sedimentación**

El análisis por sedimentación o hidrométrico se basa en la ley de Stokes. Se considera que la ley de Stokes, puede aplicarse a una masa de suelo dispersado con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se emplea para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados que se mantienen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, este análisis se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (N° 10). Para más exactitud, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 74 μm (N° 200).

- **Gravedad Específica**

Mediante este ensayo, se determina la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan la malla de 4.75 mm. (tamiz no. 4) por medio de un picnómetro con agua.

Los sólidos que contengan los suelos para este ensayo, no deben incluir sólidos que puedan ser alterados por estos métodos, ni los sólidos altamente orgánicos, tales como materia fibrosa ya que esta flota en el agua.

La gravedad específica de los sólidos de un suelo se emplea para calcular las relaciones entre las fases de suelos, tales como razón de vacíos y grado de saturación; también se utiliza para calcular la densidad de los sólidos del suelo. Esto se calcula multiplicando su gravedad específica por la densidad del agua (en la temperatura apropiada). Se debe aplicar un procedimiento especial para las partículas solubles o que reaccionen con el agua.

- **Densidad Natural**

El término de peso específico del suelo, se refiere a la relación de peso de la masa de suelo entre su volumen, se le conoce como densidad del suelo, o como peso unitario o peso específico volumétrico. El valor del peso volumétrico del suelo, además de servir para fines de clasificación, también es un parámetro muy importante en las pruebas estandarizadas y cálculos de la mecánica de suelos.

- **Densidad Máxima y Mínima**

El término densidad mínima de un suelo, hace referencia a la relación de peso entre el volumen de la muestra en un estado suelto sin estar expuesto a fuerzas externas.

La densidad máxima, es el máximo grado de compactación que puede alcanzar un suelo sometido a cargas externas para comprimir y reacomodar sus partículas, de tal forma que su peso sea mayor en un volumen más pequeño.

Para determinar la densidad máxima del material, se han desarrollado distintos métodos como la mesa vibradora y el método del pistón de Marshall, este último tiene un procedimiento menos complejo y costoso, de igual forma, es más rápido y manuable.

La masa del pistón al caer, no entra en contacto directo con el suelo a compactar, sino con la placa circular del pistón, lo que ejerce un efecto vibrante en el suelo.

Es aplicable para arenas no cementadas, que pase en su totalidad por el tamiz de 5,0 mm. (malla N° 4 ASTM) y que no contenga más de un 10 % de material que pase por el tamiz de 0,08 mm. (malla N° 200 ASTM).

Para la preparación de la muestra, deberán tomarse aproximadamente 6 kg. de material representativo de la muestra a ensayar y secarlos al horno o estufa hasta obtener una masa constante. Posteriormente, dividir por cuarteo el material obtenido en dos porciones iguales. A continuación, pesar el molde con su base ajustada, verificar su volumen y colocar el collarín superior. Se coloca el molde y su conjunto sobre una base plana y firme, y se toma una porción del material compactando la muestra mediante 5 capas, aplicando a cada una de ellas 50 golpes de pisón uniformemente distribuidos, escarificando la superficie de cada capa recién compactada mediante un punzón, en una profundidad no mayor a 1 cm. Finalizada la compactación, retirar el collarín, enrasar el material excedente y pesar el molde más el suelo compactado. Repetir la operación con la otra porción de suelo y determinar la densidad máxima como el promedio de los resultados obtenidos.

Para determinar la densidad mínima del material se debe pesar el molde con su base ajustada, verificar su volumen y colocar el collarín superior.

Luego retirar el collarín, enrasar el material excedente y pesar el molde más el suelo sin compactar. Repetir la operación con la otra porción de suelo y promediar (Crespo, 2004).

2.2.3.2 Propiedades mecánicas del suelo

- **Resistencia al corte del suelo**

El suelo en ciertas ocasiones se comporta como un material elástico, pero la mayoría de veces tendrá deformaciones mayores a lo normal, por lo que se considera un factor predominante la plasticidad del suelo.

Resistencia máxima o resistencia pico. La resistencia pico, “es la resistencia al corte máximo que posee el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto de la curva esfuerzo-deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que en otros, en un fenómeno de falla progresiva, asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis” Alba (1994).

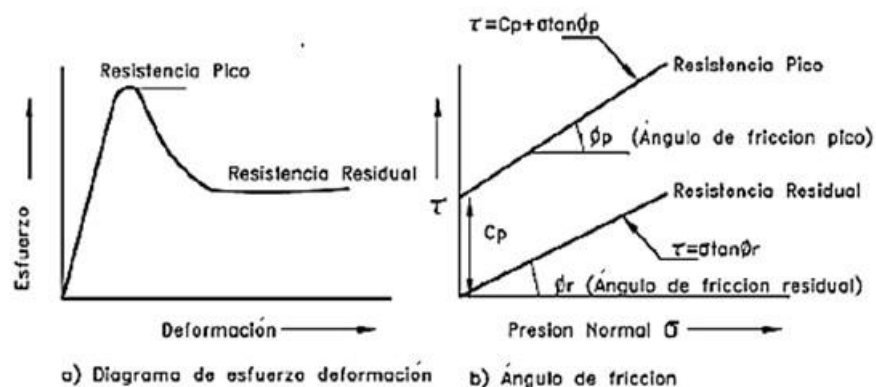


Figura 19. Diagrama de esfuerzo – deformación.

Fuente: Braja Das, (2008).

- **Resistencia a la compresión triaxial UU (No consolidado-No drenado)**

Este método nos sirve para determinar la resistencia y las relaciones esfuerzo-deformación de un espécimen cilíndrico, tanto de especímenes intactos como remoldados de suelo cohesivo.

Las muestras son sometidas a una presión de fluido confinante en una cámara triaxial. No se permite que el espécimen drene durante la prueba.

La resistencia triaxial no drenada y no consolidada, es aplicable a situaciones donde se asume que la aplicación de carga es tan rápida, que no hay tiempo suficiente para que la presión de

poros inducida se disipe y ocurra consolidación durante el período de carga (es decir que no ocurre drenaje).

Este método mide los esfuerzos totales aplicados al espécimen, es decir, que los esfuerzos no son corregidos por presiones de poro. Los resultados dependerán del contenido de humedad y el grado de saturación del espécimen. Se debe observar muy bien la interpretación de los resultados puesto que son directamente proporcionales en la envolvente de falla.

Para este ensayo se deben preparar especímenes cilíndricos y tener un diámetro mínimo de 33 mm. el promedio de la razón altura-diámetro promedio, debe estar entre 2 y 2.5. Una medida individual de altura o diámetro, no debe variar del promedio en más de 5 %.

Se prepara el espécimen y se coloca en la cámara triaxial. Se coloca la cámara triaxial en el dispositivo de carga y se procede a cargar hasta la falla con los drenajes cerrados, luego de la falla se toma una fotografía o se dibuja un diagrama del espécimen, y se obtiene la humedad del mismo.

2.2.4 Ensayos de suelos

2.2.4.1 Ensayo para determinar el contenido de humedad

- Se tomaron muestras de material transportados dentro de bolsas plásticas.
- Pesado de la muestra húmeda representativa (W húmedo).
- Secado en el horno a 105 °C durante 24 horas.
- Pesado de la muestra seca (W seco).
- Cálculo de humedad con la siguiente fórmula.

$$w (\%) = ((W_{humedo} - W_{seco}) / W_{seco}) \times 100$$



Figura 20. Utensilios y equipos empleados para determinar el contenido de humedad.

Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- NTP 339.127: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

2.2.4.2 Ensayo para determinar la granulometría por tamizado

La finalidad de este ensayo es la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas del suelo, mediante el empleo de tamices estandarizadas desde 3" (76.200 mm) hasta la N°200 (0.074 mm). Para ello la masa de suelo a ensayar dependió del tamaño máximo de las partículas.

Tabla 15.

Masa mínima de la porción de suelo según el tamaño máximo.

Tamaño de partículas más grandes pulg. (mm)	Porción Aproximada de Masa Mínima (gr)
3/8" (9.5)	500
3/4" (19.0)	1000
1" (25.4)	2000
1 1/2" (38.1)	3000
2" (50.8)	4000
3" (76.2)	5000

Fuente: NTP 339.128.

- Se homogeniza mediante el cuarteo de la muestra natural.
- Si la muestra encontrada es arcillosa y arenas con limos, estos se tratarán por la vía húmeda, ya que presentan terrones, por lo que se cubre con agua para que se ablanden las partículas.
- Se procede a lavar con el tamiz N° 200, teniendo el cuidado que las partículas finas no se pierdan. La muestra lavada, se coloca al horno para su secado.
- Se tamiza la muestra seca por las mallas desde la 3" hasta la N° 200, obteniendo los pesos retenidos en cada una de estas.



Figura 21. Herramientas utilizadas en el análisis granulométrico.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 22. Proceso de tamizado manual de la muestra.
Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- NTP 339.128: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado.
- ASTM D 422 – 63: Método de prueba estándar para el análisis del tamaño de partículas de suelos.

2.2.4.3 Análisis Granulométrico por Sedimentación

- Determínese el peso específico de los sólidos, Gs.
- Colóquese la muestra en una cápsula, agréguese agua destilada o desmineralizada, hasta que la muestra quede totalmente sumergida.
- Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 ml. de solución de hexametáfosfato de sodio (40 gr/l).
- Déjese la muestra en remojo por una noche, hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado.
- Transfiérase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión, lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada.
- Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de esta quede de 50 a 80 mm. por debajo de la boca del vaso.
- Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1 000 ml. la suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.
- Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. La suspensión puede ser agitada antes de proceder al ensayo mediante un agitador manual. Moviendo dicho agitador hacia arriba y hacia abajo, a través de la suspensión, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo.
- Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa.
- Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introduzca lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.
- Observe y anote las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extraiga cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro

graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas. Luego, introduzca nuevamente el hidrómetro y realícese lecturas a los 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extraiga el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y coloque en el cilindro graduado con agua limpia.

- Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, coloque un termómetro en la suspensión, mida la temperatura y anote en la planilla con una aproximación de 0.5 °C (0.9 °F). Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.
- Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lave cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Seque el material al horno, dejar enfriar y determinar el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.
- Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro, deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.



Figura 23. Utensilios y Materiales usados en el análisis granulométrico por sedimentación
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 24. Determinación de partículas en suspensión mediante un cronómetro
Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencia:

- ASTM D422: Método de ensayo para el análisis granulométrico por sedimentación.
- MTC E 107: Análisis Granulométrico de Suelos Por Tamizado.

2.2.4.4 Ensayo para determinar el límite líquido de suelos

El límite líquido, se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 12.7 mm. mediante 25 golpes.

- Procedimiento del límite líquido:
 - Lo primero es ajustar y verificar la Copa de Casagrande.
 - La muestra a usar es la pasante del tamiz N° 40, la que se mezclará con 15 a 20 ml. de agua, amasándola con la espátula. Los incrementos de agua serán de 1 a 3 ml.
 - Se coloca una parte de la mezcla en la Copa de Casagrande, verificando que este nivelado y emparejado a una altura de 1 cm. en el punto de profundidad máxima.
 - Se divide la mezcla a través del centro de la cuchara de la Copa de Casagrande.
 - Se procede a girar la manija a una velocidad de 2 golpes por segundo, el ensayo terminará cuando las dos mitades de la mezcla se junten en el fondo de la ranura a lo largo de 1.3 cm. aproximadamente, y se anotará el número de golpes realizados.
 - Cuando el suelo tiende a deslizarse en el momento de los golpes de la copa de Casagrande, deberá de agregarse más agua y volver a mezclar, si a pesar de esto sigue deslizándose con un número de golpes menor a 25, entonces el suelo no presenta límite líquido.
 - Se procede a tomar una parte de suelo del ancho de la espátula, para colocarlas en un recipiente para determinar el contenido de humedad.
 - Se repite el procedimiento para cada mezcla de suelo ensayada.
 - Los golpes para cerrar la ranura del suelo deben encontrarse entre los intervalos de 25 a 35, 20 a 30, 15 a 25, con el propósito de tener muestras con consistencia cercanas a las requeridas.

2.2.4.5 Ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad de suelos

El límite plástico consiste en determinar la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm. de diámetro, sin que estos se desmoronen, es decir, el punto límite entre el estado plástico y semisólido.

- Procedimiento del límite plástico:
 - Con la mezcla de suelo del ensayo de límite líquido, se moldea en forma de elipsoides con los dedos sobre la superficie lisa del vidrio, hasta conseguir formar cilindros.
 - Si antes de llegar a 3.2 mm. de diámetro de los cilindros, no se ha desmoronado o se formó grietas a su alrededor, se vuelve a realizar el proceso cuantas veces sea

necesario, hasta que se logre el agrietamiento o desmoronamiento con dicho diámetro aproximadamente.

- El cilindro debe tener aproximadamente 3 mm. de diámetro cuando empiece a desmoronarse o agrietarse.
- Se debe tener aproximadamente entre 6 a 8 gramos de porciones agrietadas, para proceder a determinar el contenido de humedad.
- Para determinar el índice de plasticidad del suelo se realiza mediante la diferencia del límite líquido y límite plástico.



Figura 25. Equipo y Herramientas utilizadas para determinar el límite líquido.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 26. Determinación de límite líquido en copa de casa grande.

Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- ASTM D4318: Método de ensayo para el análisis límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.
- NTP 339.129: Método de Ensayo para Determinar Límite Líquido y Límite Plástico.

2.2.4.6 Ensayo de gravedad específica

- El espécimen de prueba puede ser húmedo o seco al horno y será el representativo de los sólidos del suelo que pasan el tamiz No. 4.
- Un espécimen de suelo en estado de humedad natural o secado al horno, se tamiza a través de la malla No.4 (4.75 mm).
- Se introduce dentro del picnómetro la masa de suelo, y se agrega agua destilada.
- Se extraen las burbujas de aire atrapado en la muestra.
- Se completa el picnómetro con agua destilada hasta su capacidad de calibración.
- Se determina el peso del picnómetro con la solución de suelo-agua.
- Se determina la temperatura del agua.
- Se realizan las correcciones de los pesos del picnómetro y el agua por temperatura.
- Recuperada la muestra de suelo, se seca al horno por 24 horas, posteriormente se determina el peso seco al aire.
- Se debe proporcionar una masa mínima de suelo correspondiente a la especificada en la siguiente tabla:

Tabla 16.

Cantidad de muestra mínima según tipo de suelo

Tipo de Suelo	Masa seca (usando Picnómetro de 250 ml) (g)	Masa seca (usando Picnómetro de 500 ml) (g)
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o Arcilla	35 ± 5	50 ± 5

Fuente: Elaboración Propia.

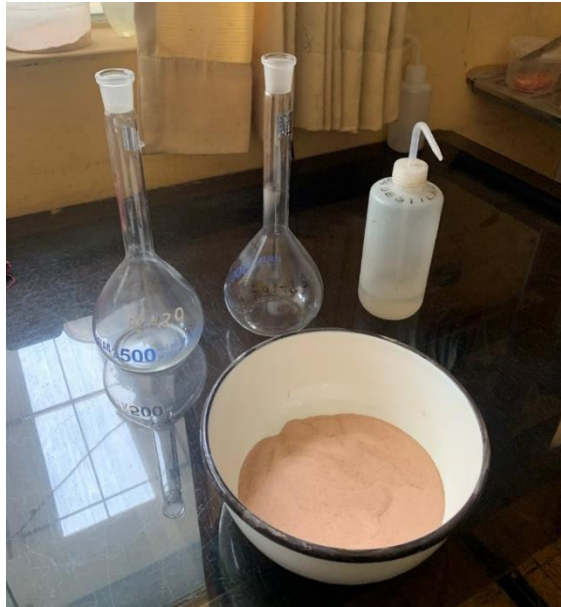


Figura 27. Utensilios empleados para determinar la gravedad específica.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 28. Determinación de gravedad específica en picnómetros.

Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- ASTM D854: Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante picnómetro de agua.
- MTC E 113: Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo. mediante picnómetro de agua.

2.2.4.7 Ensayo para determinar la densidad natural de un suelo cohesivo

El término de peso específico del suelo, se aplica comúnmente a la relación de peso de la masa de suelos entre su volumen de masa, se le conoce como densidad del suelo, o como peso unitario o peso específico volumétrico. El valor del peso volumétrico del suelo, además de servir para fines de clasificación, también es un parámetro muy importante en las pruebas estandarizadas y cálculos de la mecánica de suelos.

- Previamente se debe tallar una muestra sin agujeros ni grietas, el tamaño a elegir debe ser tal que pueda introducirse en la probeta de medición de volumen.
- Se debe pesar la muestra tallada y anotarlo.
- Derretir previamente la parafina en el horno o estufa.
- Dejar enfriar ligeramente la parafina, para luego cubrir la muestra impermeabilizándola. Como sugerencia, la parafina debe cubrir la muestra en una capa fina, y no debe penetrar en los poros del suelo.
- Cuando la muestra esté completamente recubierta con la parafina, registrar el peso.
- Luego llenar la probeta de medición de volumen con agua hasta un volumen inicial conocido, registrar este volumen inicial.
- Introducir la muestra parafinada en la probeta, con lo cual se anotará el volumen desplazado por esta.
- Por último, realizar los cálculos con los datos anotados.



Figura 29. Preparación de especímenes y utensilios para determinar la densidad natural.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 30. Empleo del método de la parafina para determinar la densidad natural.

Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- NTP 339.139: Método de ensayo para determinar el peso volumétrico de suelo cohesivo.

2.2.4.8 Ensayo de Corte Directo

El propósito de este ensayo, fue determinar la resistencia al corte, y además determinar la cohesión y el ángulo de fricción interna de una muestra de suelo, sometida a fatigas, esfuerzos y deformaciones que simulen en el terreno. Este ensayo permitió deslizar una fracción de suelo, respecto a otra o a lo largo de un plano de falla predeterminado, mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento. Este ensayo se realizará de acuerdo con lo especificado en la norma MTC E 123, el cual es el ensayo de Corte Directo (Consolidado Drenado).

- Antes de realizar el ensayo se pesa la muestra de suelo para los 3 especímenes a ensayar, en este caso utilizaremos 1 kg., luego se procederá a tamizar a través del tamiz N°4, el ensayo se realiza con muestras a la misma densidad y humedad.
- Previamente se tiene que ensamblar la caja de corte, colocamos la muestra de suelo y la piedra porosa.
- El espesor mínimo de la muestra de ensayos, debe ser alrededor de 12 mm. (1/2”), pero no menor de un sexto del tamaño máximo de las partículas del suelo.
- Colocamos la carga vertical, nivelamos, colocamos el pistón de carga y colocamos el dial para determinar el desplazamiento vertical.

- Se debe permitir una consolidación de 30 minutos para cada ensayo, utilizando tres ensayos para cada uno, aplicando diferentes cargas de 2, 4 y 8 kg. como cargas normales.
- Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor inicial.
- Durante el proceso de la consolidación, debemos registrar la deformación de normal en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.
- Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria.
- Expresión de resultados:
 - Obtener el esfuerzo normal para cada prueba, el cual corresponde a la fuerza normal aprovechada sobre la caja dividido en su área.
 - Obtener el esfuerzo de corte de cada punto donde se tomó lectura, para lo cual será necesario dividir la fuerza cortante en el área corregida.
 - Hacer un gráfico de tensión cortante, versus deformación de todos los puntos para cada prueba y determinar el esfuerzo cortante máximo para cada ensayo.
 - Una vez que se tiene el esfuerzo cortante máximo y el esfuerzo normal de cada ensayo, se proceden a graficar estos tres puntos en un gráfico de esfuerzo de corte (τ) versus esfuerzo normal (σ_n), para luego trazar una recta que se aproxime lo más posible a estos 3 puntos, lo cual dará origen a una recta que debe satisfacer la ecuación de Coulomb. Según la ecuación obtenida, la resistencia al corte dependerá de la cohesión (c) y la fricción interna del suelo (ϕ).



Figura 31. Tallado de muestras con herramientas manuales de acuerdo al molde de corte directo.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 32. Colocación de especímenes en el equipo de corte directo.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 33. Determinación de ángulo de fricción interna y cohesión con equipo de corte directo.
Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- ASTM D-3080 / NTP 339.171: Método de ensayo de corte directo.

2.2.4.9 Ensayo de Resistencia a la compresión triaxial UU (No consolidado-No drenado)

- Los especímenes deberán tener un diámetro de 71 mm. (2,8"), la partícula mayor deberá ser menor que 1/6 del diámetro. La relación altura – diámetro (H/D) debe estar entre 2 y 2,5, siendo preferible 2, Deberán efectuarse las mediciones con aproximación a 0,10 mm. (0,05") empleando un calibrador Vernier.

- Muestras remodeladas. Pueden prepararse especímenes a partir de una muestra alterada. El método de moldeo depende de la estructura del suelo. Si las muestras no son moldeadas al tamaño requerido por el equipo empleado para realizar el análisis, el margen de error de los resultados se incrementa y el ensayo fallaría.
- Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal.
- Colóquese un disco pulido de plexiglás o de teflón ligeramente mayor que la muestra sobre la piedra porosa en el pedestal y cúbrase tal disco con una película delgada de grasa de silicona. El disco engrasado se emplea para reducir la fricción entre la muestra y la tapa del extremo y permitir así una deformación más uniforme. Coloque la muestra sobre este disco.
- Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable, asegurándola con anillos u otros sellos de presión alrededor de la membrana a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Coloque un disco pulido, engrasado, una piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el extremo de la muestra. Coloque el cilindro hueco sobre la base y asegúrese.
- Coloque la cámara con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese, mediante el regulador de presión, una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
- Ponga en movimiento el aparato de carga y deje funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado, por fricción o por empuje, debido a la presión de la cámara. Anote la lectura cero de los dispositivos de medida de carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de compresión.
- Anote las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños, para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. La razón de deformación deberá hallarse dentro del rango de 0,3 a 1,0 por ciento por minuto; se recomienda una ratio de 0,5 por ciento. El criterio de falla deberá ser el del valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. Si no puede establecerse un máximo definido y el esfuerzo desviador continúa aumentando con la deformación, se toma la falla como el esfuerzo desviador a un 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos, puede adoptarse como criterio de falla.

- Después de la falla, quite toda presión y drene el fluido de confinamiento de la cámara. Desmonte el aparato de ensayo, examine la muestra y hágase un esquema del tipo de falla; pésese para secarla con el fin de determinar la humedad y el peso unitario. En lugar de la piedra porosa y de los discos pulidos podrá emplearse un espaciador adecuado de plexiglás pulido o de un, material similar.

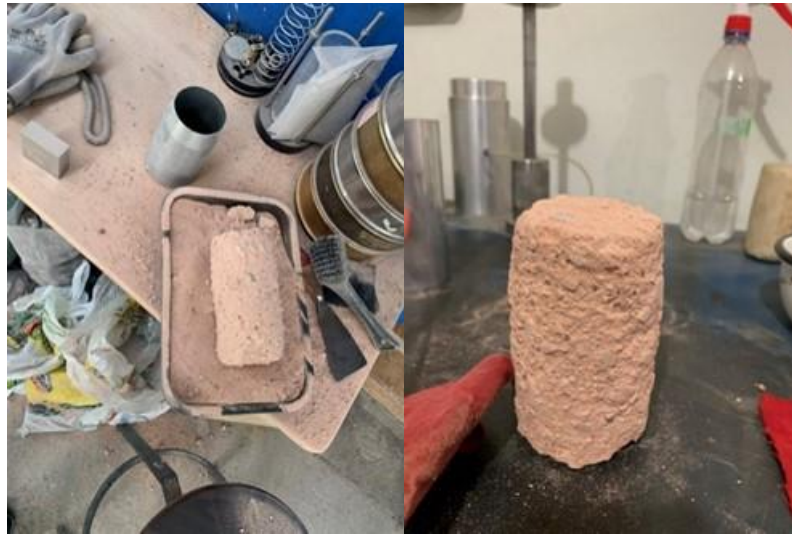


Figura 34. Tallado de especímenes cilíndricos con herramientas manuales.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 35. Colocación de piedras porosas y membrana de jebe al espécimen.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 36. Impermeabilización del espécimen con membrana y colocación en la cámara triaxial.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 37. Colocado de cámara triaxial en equipo de compresión y aplicación de esfuerzos.

Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencias:

- ASTM D2850: Método de prueba estándar para la prueba de compresión triaxial no consolidada-no drenada en suelos cohesivos.
- NTP 339.164: Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado no drenado para suelos cohesivos.

2.2.4.10 Ensayo de densidad máxima y mínima

- Para determinar la densidad máxima del material, se utilizó el método del pistón de Marshall.
 - Procedimiento de apisonado: para agregados de tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 1/2") o menos.
 - Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, emparejar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla.
 - Llenar las 2/3 partes del recipiente volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente, llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.
 - Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la respectiva capa.
 - Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).



Figura 38. Herramientas y utensilios utilizados en el ensayo de densidad máxima y mínima.

Fuente: Elaboración Propia.

Normas de referencia:

- Norma MTC E 203 – 2000: Peso unitario y vacíos de los agregados.
- ASTM D 4253: Métodos de prueba estándar para densidad de índice máxima y peso unitario de suelos usando una mesa vibratoria.

2.2.5 Características de la zona de estudio

2.2.5.1 Ubicación de la zona de estudio

Para un mejor alcance de la investigación, se identificó minuciosamente el lugar de estudio, en el cual se realizó el levantamiento topográfico y muestreo de suelos que serían representativos para la tesis. El talud de estudio está ubicado en la Vía 34-A Carretera a Yura progresiva 57+110 a la progresiva 57+200, localizada en la provincia de Arequipa, región Arequipa.



Figura 39. Ubicación del Distrito de Yura en el mapa de la provincia de Arequipa.

Fuente: Elaboración Propia

El distrito de Yura está ubicado al noroeste de la ciudad de Arequipa, poco más o menos a 30 km. del centro de la ciudad. Con una superficie de 1 942.9 km. y una altitud de 2 529 msnm. El cual es sesgado por la vía transversal PE-34A que a su vez pertenece al tramo 5 de la carretera interoceánica, uniendo las regiones de Arequipa y Puno. El talud de estudio es referenciado en las progresivas 57+110 a la progresiva 57+200.

El sector de Yura presenta un sistema de quebradas paralelas, con caudales temporales y secciones transversales en “V” drenando hacia los ríos Chili y Yura. Su latitud oscila entre 1 800 m. hasta los 2 600 m.s.n.m., con una pendiente de 5 % inclinada hacia el Suroeste.

Su topografía es significativamente accidentada, compuesta por laderas con gradientes notables; las áreas planas u onduladas son escasas como las localizadas en el Pampa de Arrieros, Quiscos, Uyupampa y Cono Norte.



Figura 40. Localización mediante foto satelital de la posición del talud en la Vía 34-A Carretera a Yura progresiva 57+110 a la progresiva 57+200, perteneciente al tramo 5 de la carretera interoceánica.

Fuente: Google Maps

Tabla 17.

Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de estudio

EJE DE TALUD	UTM - WGS84	
	ESTE (UTMX)	NORTE (UTMY)
1	215050.9	8199088.6
ZONA 19 del hemisferio sur		

Fuente: Elaboración Propia

2.2.5.2 Geología

El talud seleccionado para el análisis, se ubica geológicamente en el cuadrángulo de Arequipa (2 950 Km². aproximadamente). En el que se consideran seis unidades geomorfológicas: Planicie Costanera, Cordillera de Laderas, Estribaciones del Altiplano, Altiplanicies, Arco Volcánico del Barroso y Penillanura de Arequipa. En el Terciario Superior, se depositaron la Formación Millo y el volcánico Sencca, a la vez que ocurrieron varias fases de erosión, llegando a los comienzos del Cuaternario, donde se inició un intenso volcanismo que dio lugar a los volcánicos Chila y Barroso (Vargas, 1970).

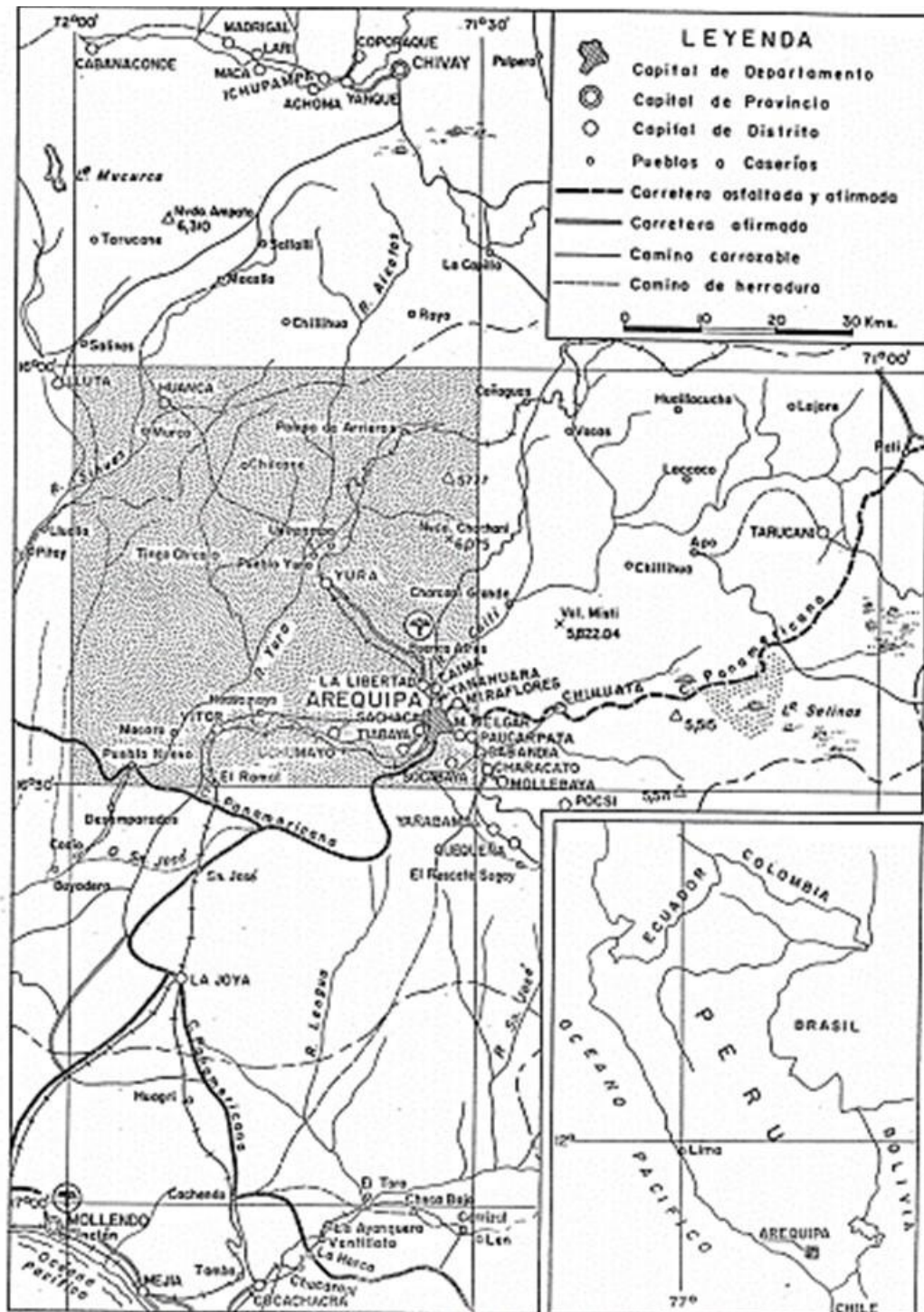


Figura 41. Localización del cuadrante de Arequipa.
 Fuente: Geología del cuadrángulo de Arequipa. Luis Vargas (1970).

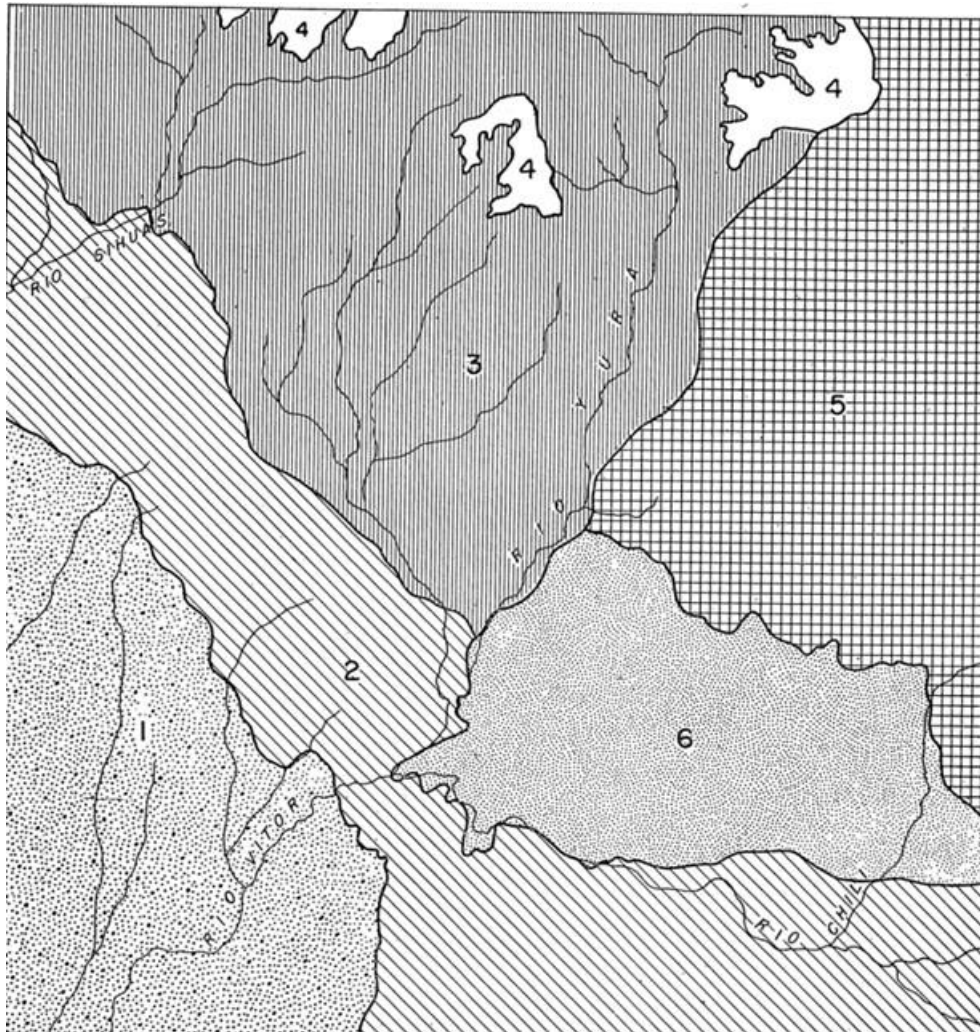


Figura 42. Unidades geomorfológicas en el cuadrante de Arequipa.
Fuente: (Luis Vargas, 1970).

Penillanura de Arequipa, es una superficie suavemente ondulada de forma groseramente triangular, comprendida entre las localidades de Arequipa, Yura y la confluencia de los ríos Chili y Yura. A su vez está rodeada de cerros altos que forman parte de la Cordillera de Laderas, de las Estribaciones del Altiplano y del Arco de Barroso. La penillanura se ha formado en los tufos del volcánico Sencca que ocuparon una depresión originada, posiblemente por erosión. Presenta un sistema de quebrada paralelas, con caudales temporales y secciones transversales en “V”, drenando hacia los ríos Chili y Yura. Las altitudes de esta superficie ascienden desde los 1 800 m. hasta los 2 600 m.s.n.m., con una pendiente de 5 %, inclinada hacia el Suroeste (Vargas, 1970).

2.2.5.3 Estratigrafía

En el área comprendida del cuadrángulo de Arequipa, se exponen diferentes unidades litológicas de naturaleza sedimentaria, ígnea y metamórfica, cuyas edades varían desde el Precambriano hasta el Cuaternario reciente (Vargas, 1970).

Columna Estratigráfica

Tabla 18.

Tabla estratigráfica de unidades geológicas en el cuadrángulo de Arequipa

EDAD	UNIDAD Y DESCRIPCION	GROSOR	
Reciente	Depósitos eólicos y aluviales de gravas limo, etc.		
	Discordancia		
	Depósitos piroclásticos recientes.— Bancos de lapilli alternando con capas de arena		
	Discordancia		
Pleistoceno	Morrenas y Fluvioglaciares		
	Discordancia		
	Flujos de barro.— Fragmentos y bloques angulares de origen volcánico, en matriz arenotufácea.		
	Discordancia		
	GRUPO BARROSO	Volcánico Barroso.— Andesitas gris oscuras porfídicas de grano grueso.	2000 m. (?)
		Discordancia	
	Volcánico Chila.— Andesitas afaníticas gris oscuras, por intemperismo rojizas	+ 50 m.	
	Discordancia		
	Conglomerado aluvial pleistocénico.— Rodados de intrusivos, gneis, cuarcitas y otras rocas		
	Discordancia erosional		
Plioceno	Volcánico Sencca.— Tufos de composición dacítica o riolítica.	+ 150 m.	
	Discordancia erosional		
	Formación Millo.— Conglomerados y areniscas tufáceas.	60 m.	
	Discordancia		
Terciario medio	Grupo Tacaza.— Derrames volcánicos, tufos y sedimentos en la parte inferior.	800 m.	

Discordancia			
Terciario inferior	Formación Sotillo. — Areniscas arcóscas y lutitas verdes que alternan con capas de yeso.	250 m.	
Discordancia			
	Formación Huanca. — Conglomerados y areniscas marrón rojizas.	1,400 m.	
Discordancia Angular			
Senoniano inferior Turoniano.	Formación Chilcane. — Yeso de color blanco con tintes rojizos y verdosos.	100 m.(?)	
Coniaciano — Alciano.	Formación Arcurquina. — Calizas gris claras. Presenta concreciones y lentes de chert.	668 m.	
Aptiano-Neocomiano superior.	Formación Murco. — Lutitas abigarradas y areniscas sacaroideas.	300 m.	
Hauteriviano—Valanginiano.	GRUPO YURA	Miembro Hualhuani. — Cuarzitas blancas de grano fino a medio, en capas gruesas	65 m.
Berriasiano		Miembro Gramadal. — Bancos gruesos de calizas marrón claras y gris oscuras.	95 m.
Titoniano		Miembro Labra. — Areniscas, areniscas cuarcíticas gris claro a parduscas, lutitas y limolitas verde amarillentas a marrón violáceas.	1,070 m.
Kimmerigdiano Oxfordiano.		Miembro Cachíos. — Lutitas gris oscuras a negruzcas.	603 m.
Oxfordiano Calloviano		Miembro Puente. — Areniscas cuarcíticas gris parduscas interstratificadas con lutitas oscuras en cantidades menores.	600 m.
Discordancia erosional			
Toarciano superior Bajociano medio	Formación Socosani. — Calizas y lutitas con intercalaciones de areniscas y de algunos volcánicos hacia la base.	270 m.	
Discordancia erosional			
Liásico	Volcánico Chocólate. — Derrames y brechas volcánicas de color rojo opaco y gris oscuro con algunas intercalaciones sedimentarias.	1'000 m (?)	
Discordancia angular			
Paleozoico inferior Pre-cambriano.	Complejo Basal de la Costa. — Gneis y granito potásico antiguo.	(?)	

Fuente: (Luis Vargas, 1970).

- **Formación Volcánico Sencca**

Mendivil (1965) introdujo dicha denominación, en la región de Arequipa, se halla cubriendo grandes áreas desde el límite Norte del cuadrángulo (Pampa de Arrieros), conformando hacia el Sur una faja angosta entre el río Yura y las lavas de grupo Barroso, hasta llegar al denominado “triángulo de Arequipa” (Yura, Arequipa y Quishuarani, W. Jenks, 1948), donde ocupa una mayor superficie (Vargas, 1970).

Los bancos de tufos son subhorizontales y en algunos lugares, siguen los lineamientos de la topografía preexistente. En la hidroeléctrica de Charcani, el volcánico Sencca está representado por tufos rosados de composición dacítica, bastantes compactos y con una disyunción prismática muy

irregular. Tienen un espesor aproximadamente de 60 m. y conforman unas escarpas pronunciadas (Vargas, 1970).

La formación volcánica Sencca, está constituida esencialmente por ignimbritas, tufos de naturaleza riolítica, dellénítica y riodacítica, con variaciones laterales y verticales de textura, estructura, compactación, tipo y tamaño de las inclusiones, con granos de cuarzo y feldespato con fragmentos angulosos de tipo ´lapilli´ de colores oscuros (Vargas, 1970).

También se compone de elementos vítreos, cristalinos y líticos, cuyo color predominante es el color rosáceo o color salmón. Estos tufos son casi siempre lapillíticos y brechoides, en general tienen una coherencia apreciable y poca dureza, pero hay casos donde son poco consistentes y por tanto fácilmente disgregables; engloban abundantes fragmentos angulosos hasta redondeados de lavas y pómez, los fragmentos de pómez son los más abundantes y los de mayor tamaño. Igualmente contienen capas lenticulares de aglomerados y brechas tufáceas, cuyas proporciones en algunos casos son considerables (Vargas, 1970).

Se distinguen dos niveles según el color, uno superior, rosado a marrón rojizo, y otro inferior, gris claro a blanco. Entre los últimos, existe una variedad que se emplea en Arequipa como material de construcción. Alternando con los tufos, se hallan capas poco consolidadas de gravas, arenas y tufos retrabajados (Vargas, 1970).

El grado de compactación de los volcánicos sencca es muy variable, en ciertas zonas las tobas están extremadamente litificadas, constituyendo verdaderas ignimbritas, mientras en otras zonas, las tobas blanquecinas se encuentran muy sueltas llegando a causar deslizamientos y asentamientos en el suelo, la edad de los volcánicos sencca es posiblemente en el periodo plioceno medio a plioceno superior. De tal modo que estos volcánicos constituyen un nivel de referencia al separar las fases pre y post-orogénicas en el sur del Perú (Vargas, 1970).

Superficialmente los tufos muestran una costra endurecida de color más oscuro que la roca fresca debido a la meteorización; otras veces, se disgregan fácilmente dando lugar a un manto de material completamente suelto, de grano fino hasta pulverulento. El espesor máximo del volcánico Sencca es de 80 m., pero normalmente es más delgado. Este tufo pertenece de la segunda etapa del segundo período del volcánico Chachani. Donde la característica principal son las formas onduladas de los tufos rosados (Vargas, 1970).

Los domos de Cortaderas, estas geofomas de la última etapa de actividad del volcán Chachani, forma una pequeña cordillera que ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo geomorfológico de la zona nor-occidental de Arequipa. Alcanzan una altitud de 2 900 m.s.n.m. y están constituidos de lavas andesíticas y basálticas. La prolongación de estos domos hacia el sur, se cortan en un tramo de la carretera Arequipa - Yura, antes de la quebrada Buenavista. Es una colina más o menos redondeada, que forma una estructura de domo y representan el frente del

avance de las coladas de andesitas porfíricas escoriáceas. materiales volcánicos (nubes ardientes) sillares de Arequipa, datado en 2.76 (Vargas, 1970).

2.2.5.4 Geodinámica

- **Geodinámica Externa**

La ocurrencia de fenómenos de Geodinámica externa, tiene relación directa con toda obra de ingeniería que se planee, construya o se encuentre en una etapa de operatividad; en el caso de obras viales, incide en su desarrollo y conservación, influyendo muchas veces en su paralización total o parcial y en el desembolso de ingentes sumas de dinero en su rehabilitación. Se entiende por geodinámica, aquellos procesos de transformación, sea esta química o física y pueden ser endógenos o exógenos, que se producen interrumpidamente sobre la corteza terrestre, modificando su estructura y morfología, por lo que el paisaje observado está en una constante transformación. Estos cambios son fenómenos que operan en períodos de escala geocronológica.

Inestabilidad de taludes y/o laderas en los acantilados.

La inestabilidad de taludes en las vías de ingreso a la ciudad de Arequipa, como es el tramo Arequipa-Puno, son tanto geológica como geotécnicamente variados, ya que nos encontramos con distintos tipos de materiales térreos y su topografía notablemente accidentada, ocasiona fenómenos de laderas y desprendimientos de fragmentos rocosos (gravas y gravillas) y partículas de suelos fino (arenas y limos). Ello por la ocurrencia de caídas y/o desprendimientos de los elementos conformantes de roca fracturada, tanto gruesos como finos. En la parte superior de las laderas, se detiene una mezcla de suelo arenoso y gravillas con desechos industriales diversos: trozos de vidrios, plásticos, papeles, fragmentos de concreto, etc.

Por tanto, las causas de la inestabilidad de taludes son:

- Taludes y/o paredes de la sección muy empinados (subverticales).
- Efectos de meteorización constante: neblinas matutinas y nocturnas, cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche.
- Acciones complementarias de gravedad y eventuales efectos eólicos que son agentes influyentes en la inestabilidad o desprendimiento.
- Vibraciones y efectos de rebufo que ocurren por la alta velocidad a la que circulan vehículos de gran tonelaje por la zona.

Tabla 19.

Niveles de susceptibilidad de efectos de fenómenos de geodinámica externa

Grado	Características Generales
Baja	Escasa o nula posibilidad de ocurrencia y/o activación de algún fenómeno de geodinámica externa que pueda incidir negativamente sobre la estabilidad del talud.
Moderada	Posibilidad intermedia de ocurrencia y/o activación de algún fenómeno de geodinámica externa, o no existe la completa seguridad que se produzcan.
Alta	Existencia de amenaza o inminencia de ocurrencia y/o activación de algún fenómeno de geodinámica externa que pueda incidir negativamente sobre la estabilidad del talud.

Elaboración: Elaboración Propia

Erosión eólica

El viento constantemente impacta en los sedimentos que conforman el material suelto disgregado, puede llevar en suspensión granos de arenas o pequeñas partículas de pomes que tienen un peso específico muy bajo las cuales al chocar directamente con los taludes ocasionan la erosión por abrasión, asimismo, transporta los sedimentos finos que no han caído por acción de la gravedad y que han sido disgregados por la acción de otros agentes erosivos.

- **Geodinámica interna**

La geodinámica interna, son efectos de procesos endógenos que se originan en el interior de la corteza terrestre y están circunscritos a la actividad tectónica, los que consisten en movimientos telúricos y la reactivación de fallas estructurales. Este concepto está referido a los procesos internos de dinámica cortical, y que no dependen de la interacción de los fenómenos atmosféricos; tales procesos, en la zona del proyecto se restringen a los de naturaleza tectónica y consisten básicamente, de eventuales movimientos relacionados con la reactivación de estructuras preexistentes y manifestaciones sísmicas de origen profundo.

- **Sismos**

Los sismos son definidos como movimientos de la corteza terrestre originados por procesos físicos naturales de ajuste (liberación de energía), que se desarrollan en el interior de la tierra y que producen frecuentemente, deslizamientos, aludes, derrumbes, etc., por efecto de las ondas elásticas producidas por la liberación de energía, las que se propagan a través de las rocas y materiales como ondas de distintas características (primarias, secundarias, superficiales, etc.). Los hipocentros sísmicos en el Perú, indican que en la porción oceánica la actividad sísmica está constituida por sismos superficiales (< 70 Km. de profundidad focal), concentrados casi exclusivamente, entre la

fosa marina y la línea de la costa. Todos los sismos, en la porción oceánica, corresponden a la zona de subducción.

La ubicación de hipocentros ha mejorado en tiempos recientes, por lo que puede considerarse los siguientes períodos en la obtención de datos sismológicos.

Sismicidad histórica

1) Antes de 1900: datos históricos descriptivos de sismos destructores

Sismicidad instrumental

2) 1900 - 1963: datos instrumentales aproximados.

3) 1963 - 1992: datos instrumentales más precisos.

Se debe indicar que esta información se encuentra recopilada en el catálogo sísmico del Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina) 1985, actualizado hasta el año 1992 con los datos verificados publicados por el ISC (Internacional Sismological Center).

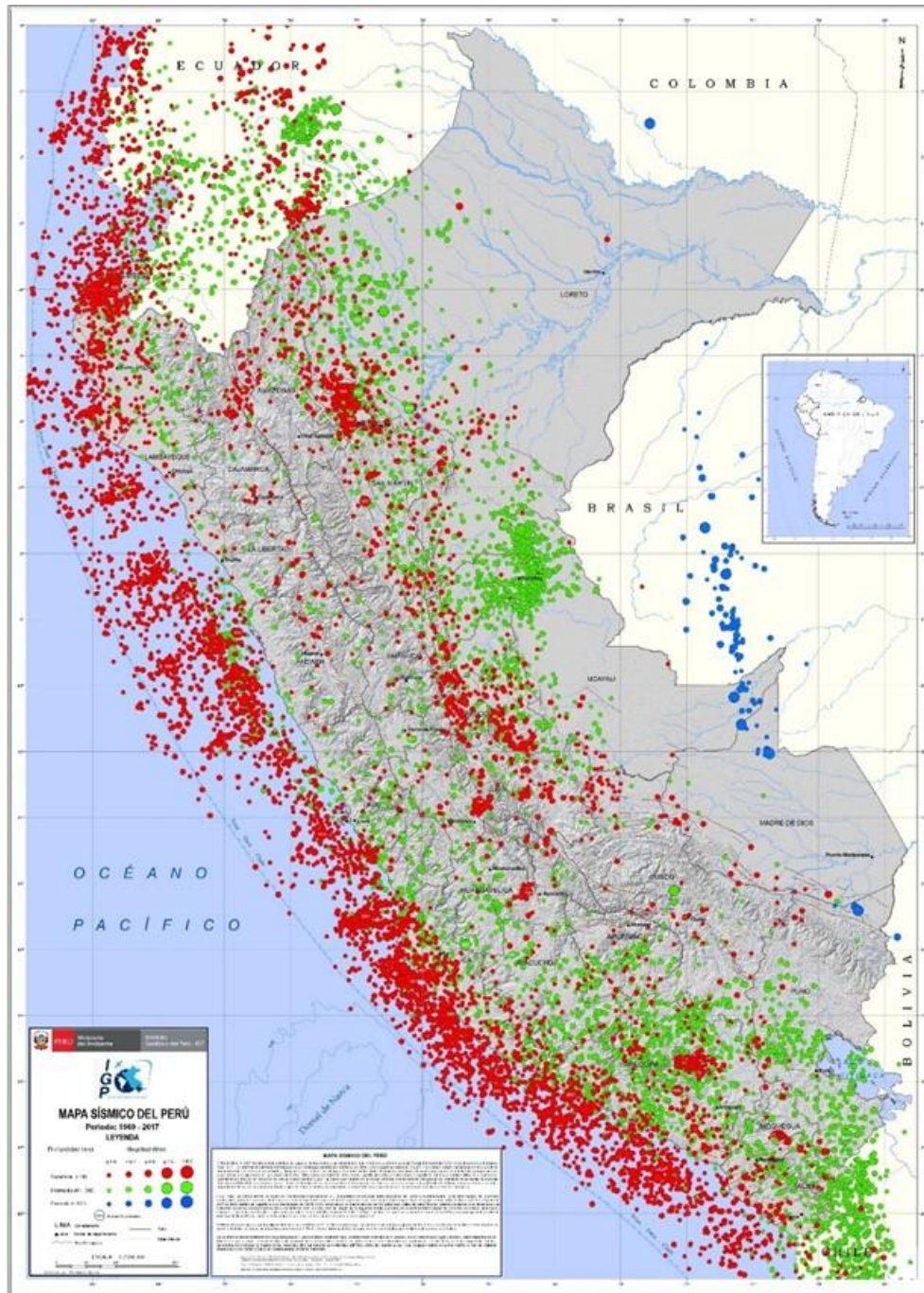


Figura 43. Mapa Sísmico del Perú
Fuente: IGP

2.2.5.5 Historia sísmica del área de influencia

A lo largo de muchos años se han registrado numerosos eventos sísmicos, cuyos análisis pueden aportar conocimientos sobre la intensidad de estos, es necesario comprender que ocasionalmente pueden ocurrir sismos cuya intensidad puedan sobrepasar fácilmente el máximo valor hasta ahora registrado.

Tabla 20.*Sismos ocurridos en la zona de gran intensidad desde el año 2007 al año 2020.*

Fecha UTC	Hora UTC	Latitud (°)	Longitud (°)	Profundidad (km)	Magnitud (M)
06/03/2007	21:30:08.00	-15.2058	-74.1741	111	5.60
26/03/2007	02:46:58.00	-17.1587	-73.1067	23	5.70
28/06/2007	08:44:44.00	-15.9408	-75.3102	30	6.00
29/06/2007	02:02:17.00	-15.9055	-75.3971	51	6.00
08/07/2008	09:13:07.00	-16.1698	-72.5948	117	6.30
20/09/2008	14:43:04.00	-16.4313	-74.0973	47	5.70
15/03/2009	08:19:03.00	-14.5236	-70.8514	227	5.90
18/05/2009	14:00:56.00	-16.0633	-75.5084	17	6.00
18/05/2009	14:12:58.00	-16.1748	-75.7284	25	5.60
12/07/2009	06:12:46.00	-15.2383	-71.0789	182	6.20
24/12/2009	14:01:58.00	-16.0022	-74.3375	83	5.90
23/03/2010	20:19:25.00	-15.3244	-75.0052	82	5.60
13/09/2010	07:15:45.00	-14.6785	-71.1999	193	6.10
07/06/2012	16:03:15.00	-15.98	-72.7451	151	6.20
04/11/2012	06:37:36.00	-16.0299	-72.2888	109	5.70
14/05/2013	23:39:15.00	-15.6948	-73.3223	104	5.80
17/07/2013	02:37:43.00	-15.7023	-72.0368	7	6.20
25/09/2013	16:42:40.00	-16.1531	-74.8669	31	7.10
12/07/2014	14:25:43.00	-15.4421	-75.6524	42	5.70
24/08/2014	23:21:43.00	-14.6973	-73.7445	108	6.90
25/08/2014	14:31:36.00	-16.2831	-73.392	33	5.90
01/09/2014	22:55:20.00	-15.2103	-75.2985	60	5.80
13/10/2014	15:14:27.00	-15.2573	-73.5396	95	5.80
29/06/2015	09:09:12.00	-16.257	-74.4205	23	6.00
16/02/2016	10:46:26.00	-16.8227	-73.8856	31	5.90
01/12/2016	22:40:25.00	-15.4393	-70.9316	10	6.20
16/05/2017	17:09:06.00	-14.5794	-73.5957	12	5.70
24/06/2017	16:09:11.00	-15.6573	-73.6162	94	6.20
18/07/2017	02:05:16.00	-16.6692	-73.9141	34	6.50
21/07/2017	15:22:18.00	-15.9756	-74.6045	67	5.80
11/08/2017	21:45:08.00	-16.4387	-73.5614	30	6.20
14/01/2018	09:18:41.00	-16.0529	-74.9038	27	7.10
30/01/2018	14:23:50.00	-16.086	-74.7303	36	5.80
11/02/2018	04:11:11.00	-16.6738	-74.0786	32	5.70
06/04/2018	00:40:15.00	-15.3224	-75.7304	20	5.70
14/09/2018	11:20:03.00	-16.1013	-71.6123	127	5.80
25/01/2019	04:45:18.98	-14.7345	-75.7	56	6.00
08/05/2019	13:47:18.62	-15.9013	-75.1269	22	5.80
31/05/2020	05:09:35	-15.4084	-70.9434	210	5.80
27/12/2020	07:11:09	-16.1402	-74.4222	41	6.00

Fuente: IGP Elaboración: Oficina de Estadística y Telemática del INDECI

Tabla 21.

Sismos Registrados en el Poblado de Yura de gran intensidad en el año 2021.

Reporte sísmico	Referencia	Fecha y hora local	Magnitud
IGP/CENSIS/RS 2021-0260	12 km al Sur de Yura, Arequipa – Arequipa	07/05/2021 21:55:37	3.7
IGP/CENSIS/RS 2021-0343	16 km al N de Yura, Arequipa – Arequipa	13/06/2021 02:31:40	4.8
IGP/CENSIS/RS 2021-0506	10 km al Norte-NE de Yura, Arequipa - Arequipa	18/08/2021 06:12:20	3.9

Fuente: IGP Elaboración: Oficina de Estadística y Telemática del INDECI

En a base a esta información, se puede establecer que la máxima intensidad de los sismos ocurridos es del orden de VI a VII grados, en la escala de MM.

De acuerdo con la nueva Norma Sismo Resistente NTE E-030-2016, para el predominio del suelo y de acuerdo con el mapa de Sismología Regional, el tramo donde se ubica el talud analizado, se encuentra enmarcada en la zona 3, de alta sismicidad, debiéndose utilizar en los diseños Sismo - Resistentes de Estructuras los siguientes parámetros:

Factor de zona	: $Z = 0.35$
Factor de amplificación del suelo	: $S = 1.15$

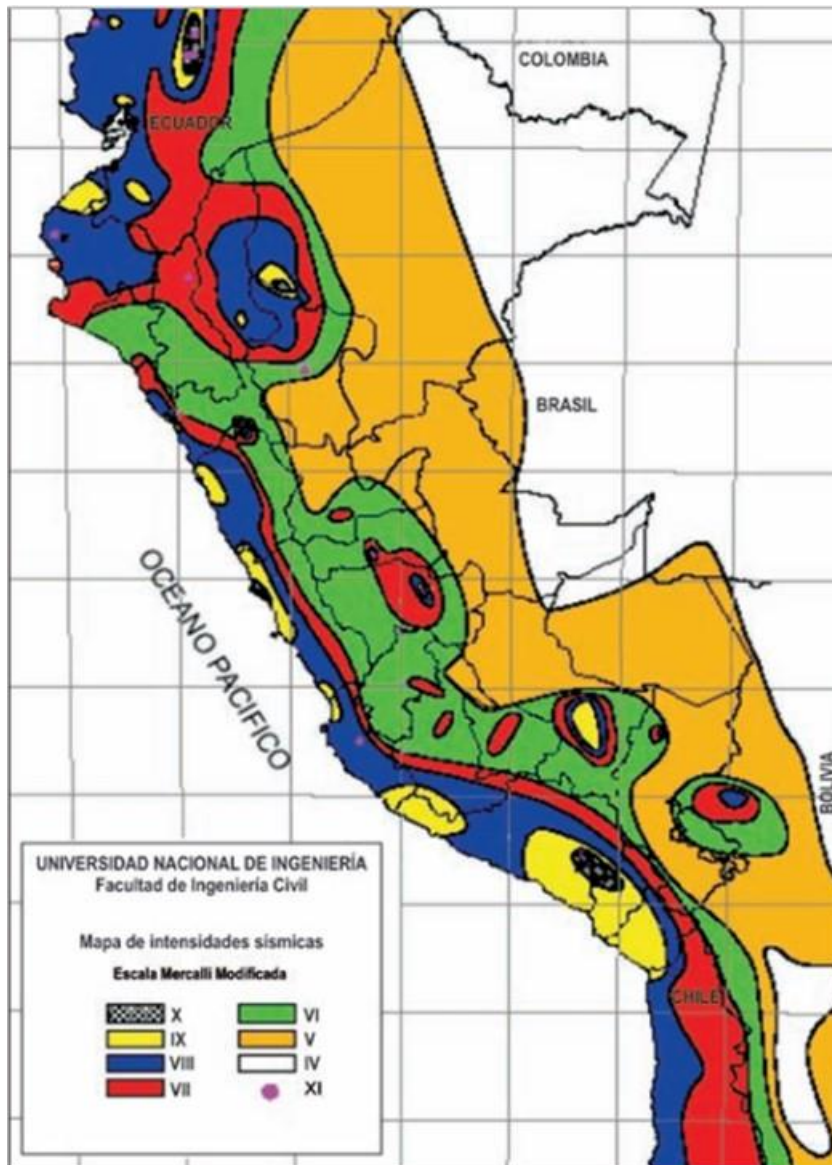


Figura 44. Mapa de intensidades sísmicas a nivel nacional.
Fuente: CISMID/FIC-UNI.

2.2.5.6 Condición actual del talud en estudio

A la fecha del desarrollo del proyecto de investigación, el talud en estudio no presenta deslizamientos y erosiones, evidenciando una aparente estabilidad la cual es frecuente a lo largo de la carretera Arequipa – Yura en las secciones de taludes artificiales conformados por el volcánico Sencca, entonces se debe analizar la estabilidad del mismo prevenir un posible deslizamiento o falla. Estratigráficamente, presenta una superficie compuesta por suelos de baja cohesividad (arenas con limos), el cual es uniforme en todo el talud, siendo así su único estrato. Debajo del estrato mencionado, subyace un suelo de alta cohesividad (suelo duro – roca arenisca). Una vez realizada la descripción del talud, se procede a la descripción de un diagnóstico acerca de la problemática y situación actual del talud en estudio. Donde se evidencian condiciones susceptibles a deslizamientos

como son el grado de inclinación y la altura del mismo, sumadas a estas, el factor de mayor incidencia es la permanente actividad sísmica ocurrente en la ubicación del talud, que provoca condiciones de inestabilidad. los agentes erosivos naturales se relacionan a factores climáticos y meteorológicos. El ambiente presente en la zona de estudio debido a las variaciones de temperatura durante el día, propicia un agente erosivo, que, aunque con efectos menos perceptibles a corto plazo, estas contribuyen en los procesos erosivos y posterior deslizamiento del talud.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- Propiedades físicas del suelo: Son las que se definen como las propiedades obtenidas con los ensayos físicos, mas no ensayos de resistencia, como contenido de humedad, límites de consistencia, granulometría, etc.
- Propiedades mecánicas del suelo: Son las que se definen como las propiedades obtenidas con los ensayos que se relacionan con la resistencia, deformabilidad y estabilidad, como ensayos de compactación, ensayos de corte, etc.
- Talud artificial: Se da cuando el hombre modifica el estado natural del terreno creando así cortes o terraplenes (rellenos).
- Erosión: Comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento.
- Análisis de estabilidad de talud: Implica comparar el esfuerzo cortante que actúa a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MÉTODOS, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método General

Según el libro publicado por Hernández, Fernández y Baptista (2014) que tiene el título de “Metodología de la Investigación”, señala que este método general está referido a las etapas que se debe realizar para obtener un conocimiento válido desde el punto de vista científico, utilizando instrumentos que resulten fiables, puesto que su finalidad es minimizar la influencia de la subjetividad del científico en su trabajo, por ende para la presente investigación se empleará el método científico (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.1.2 Método Científico:

El presente método, se utiliza para desarrollar un conjunto de fases o etapas, donde los procedimientos se ciñen a lo establecido:

- Identificación del problema de investigación.
- Formulación del problema de investigación.
- Identificación de objetivos y justificación del estudio.
- Formulación de la hipótesis de investigación
- Antecedentes y bases teóricas – revisión bibliográfica.
- Visita de campo, (directo e indirecto) y ensayos en laboratorio.
- Recopilación de información de la zona de estudio.
- Desarrollo de modelo y procesamiento de datos con el propósito de proporcionar nuevos conocimientos teóricos (SLIDE V. 6.0).
- Evaluación del factor de seguridad mediante Análisis Determinístico - Métodos de equilibrio límite.
- Interpretación: de resultados y discusiones.

3.1.3 Enfoque Específico

El enfoque científico en el cual se orientó la investigación, fue el enfoque Cuantitativo.

Hernández, Fernández y Baptista (2014). Entre sus técnicas suelen emplearse encuestas, experimentos e incluso predicciones, una vez obtenido un primer resultado, ya que los datos cuantitativos suelen ser generalizables. Porque requiere variables numéricas para poder expresar el problema de la investigación. Es decir, que los datos analizados deben ser siempre cuantificables, o sea, expresables en una cantidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.1.4 Nivel:

De acuerdo con lo aportado por Hernández Sampieri son cuatro los niveles de investigación: Nivel Exploratorio, Descriptivo, Correlacional y Explicativo. Considerando lo mencionado el Nivel de Investigación que se usó en la presente investigación, fue el Descriptivo que busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.

3.1.5 Tipo

Por su finalidad, el proyecto de investigación está orientado a la Investigación Básica porque es el fundamento de toda otra investigación.

Por su profundidad es descriptivo porque precisa a las variables en una población definida.

3.1.6 Diseño de la Investigación

Con la finalidad de comprobar si es posible analizar a través del software SLIDE V. 6.0 mediante métodos de equilibrio límite, si el talud ubicado en la progresiva 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno cumple con las normas teóricas de estabilidad de suelos; y verificar y contrastar su estado de equilibrio natural y sus posibles condiciones de falla, y según los resultados poder asegurar la estabilidad del mismo, la presente investigación se ha orientado por el Diseño de investigación experimental. El término experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.1.7 Población y Muestra

Para la presente investigación, se dispone a realizar el estudio en la Población, la vía PE – 34 que une los departamentos de Arequipa y Puno.

La muestra se tomará de las progresivas 57+110 a la 57+200.

3.1.8 Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de la observación, ya que todos los resultados y recopilación de información, se obtuvieron y registraron mientras se realizaron el levantamiento topográfico: los ensayos del suelo en laboratorio, análisis de estabilidad de talud, así como la recolección directa de información. Lo fundamentado según Ccanto Mallma (2010), refiere que las técnicas de recolección de datos son los medios por los cuales el investigador recoge la información requerida de una realidad en función de los objetos de estudio.

- Se recolectó la información concerniente a la zona, sus características, ubicación geográfica, sísmica y geológica de los diferentes estudios realizados con anterioridad, como, por ejemplo: Geografía de la zona donde se ubica el talud, características geológicas y estratigráficas, Ubicación Sísmica y la historia sísmica de la misma, propiedades y génesis del estrato ignimbrita (Volcánico Sencca).
- Se tomaron los datos del levantamiento topográfico para la realización del perfil, mediante un trabajo de gabinete y de los diferentes ensayos del suelo realizados en un laboratorio particular certificado, de acuerdo con el tipo de suelo encontrado.
- Se tomaron los datos del análisis de estabilidad del talud obtenidos mediante la simulación en el software con los datos recolectados de los ensayos de laboratorio.

3.1.9 Instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron como instrumento de recolección, las fichas de campo (formatos Excel de levantamiento topográfico) y fichas de ensayos de laboratorio de suelos (formatos Excel de pruebas estandarizadas sobre la base de las normas técnicas), como fuente base se toma a Ccanto Mallma (2010), quien señala que, la recolección de datos a través de ciertas técnicas e instrumentos implica tres procesos, los cuales no siempre aparecen juntos en el mismo instrumento: la captación, el registro y la medición.

Los instrumentos de medición empleados en esta investigación fueron:

- Equipo de Estación total (Levantamiento de puntos para el perfil de la sección del talud).
- Horno eléctrico (contenido de humedad).
- Tamices estandarizados (granulometría).
- Balanza de sensibilidad 0.1g.
- Máquina de Casagrande (límites de atterberg).
- Picnómetro (para usar con el procedimiento gravimétrico).
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0.5 °C. (granulometría por sedimentación).
- Hidrómetro. Graduado (granulometría por sedimentación).

- Cronómetro o reloj. (granulometría por sedimentación).
- Cilindro de vidrio para sedimentación de unos 457 mm. (granulometría por sedimentación).
- Equipo de corte directo (parámetros de resistencia al corte).
- Indicador de Deformación. (parámetros de resistencia).
- Dispositivo de carga axial. (parámetros de resistencia triaxial).
- El dispositivo para medir la carga axial (parámetros de resistencia triaxial).
- Cámara de compresión triaxial. (parámetros de resistencia triaxial).
- Software Slide V6.0 (análisis de estabilidad de talud).
- Recipiente de medida, metálico, cilíndrico (molde de Proctor) (densidad máxima).

3.1.10 Instrumentos manuales y materiales

- Picota mango largo: Herramienta necesaria para extraer muestras de roca y probar la resistencia de las mismas en campo.
- Barreta de acero corrugado de 1 ¼” para extraer muestra inalterada.
- Espátulas y cierras para el moldeado de muestras.
- Brochas y cepillos para la remoción de partículas retenidas en tamices.
- Envases metálicos tarados utilizados en el secado mediante horno eléctrico.
- Lápices y lapiceros: Utilizados para anotaciones y cartografiado.
- Cámara de dispositivo celular iPhone XS: Instrumento utilizado para el registro fotográfico.
- Tablero de madera para la recolección de datos en la realización de los ensayos.
- Hexametáfosfato de sodio para ensayo de granulometría por sedimentación.
- Parafina para el ensayo de Densidad natural.
- Laptop Lenovo: Instrumento utilizado para el procesamiento de los datos y redacción de los informes.

3.1.11 Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de análisis de datos ayudaron a organizar e interpretar los datos recolectados con los instrumentos de investigación. La organización de los datos se organizó en tablas (Excel), estos datos fueron recopilados y se fueron almacenando a medida que se iban realizando los ensayos de laboratorio. La primera técnica para el análisis de los datos e interpretación de los resultados, fue el método gráfico (análisis de estabilidad del talud). La descripción y análisis de los datos se hizo mediante las técnicas de análisis cuantitativo y cualitativo, que nos sirvió para mostrar las variaciones

de los factores de seguridad obtenidos mediante el software (Slide V6), para posteriormente contrastarlos con las características resultantes del análisis en laboratorio.

3.2 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología que se siguió para el desarrollo de la investigación fue la siguiente:

- Planteamiento del problema
- Revisión de información y recolección de datos
 - Revisión de estudios geológicos de la zona.
 - Revisión de historia sísmica de la zona.
 - Levantamiento del perfil topográfico de la sección del talud.
 - Estudio mediante ensayos geotécnicos del talud.
 - Caracterización física y mecánica del material compuesto por ignimbrita.
 - Estudio Mineralógico y Petrográfico del Volcánico Sencca.
- Revisión de información y recolección de datos.
 - Análisis de estabilidad Estático y Pseudo Estático del talud con los datos recopilados de los ensayos efectuados en laboratorio
 - Análisis de los resultados del estudio mineralógico y petrográfico del Volcánico Sencca para determinar el grado de influencia en la estabilidad del talud
- Conclusiones de la investigación.

3.2.1 Trabajos de campo

3.2.1.1 Estudio topográfico

Levantamiento topográfico: Utilizado para la obtención de la superficie topográfica actual, necesaria como geometría externa para el modelamiento de estabilidad.

Para determinar la superficie del talud en estudio, se realizó la toma de datos con uso de una estación total, para luego realizar los trabajos de gabinete, los cuales consistieron en el procesamiento de datos obtenidos en campo y el desarrollo de la superficie topográfica y perfil longitudinal del talud.

De manera preliminar se puede establecer que el talud tiene una longitud vertical de pie a cabeza aproximada de 19.2589 m., con una distancia horizontal de 5.394 m. de pie a cabeza. Así mismo posee una pendiente promedio de 74.00° con respecto a la horizontal.

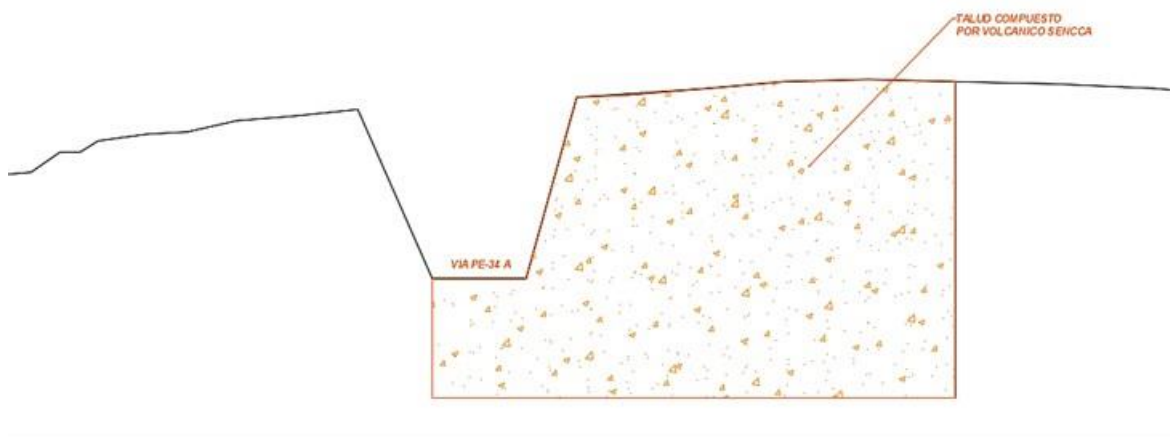


Figura 45. Sección del talud analizado colindante a VÍA PE-34.

Fuente: Elaboración propia.

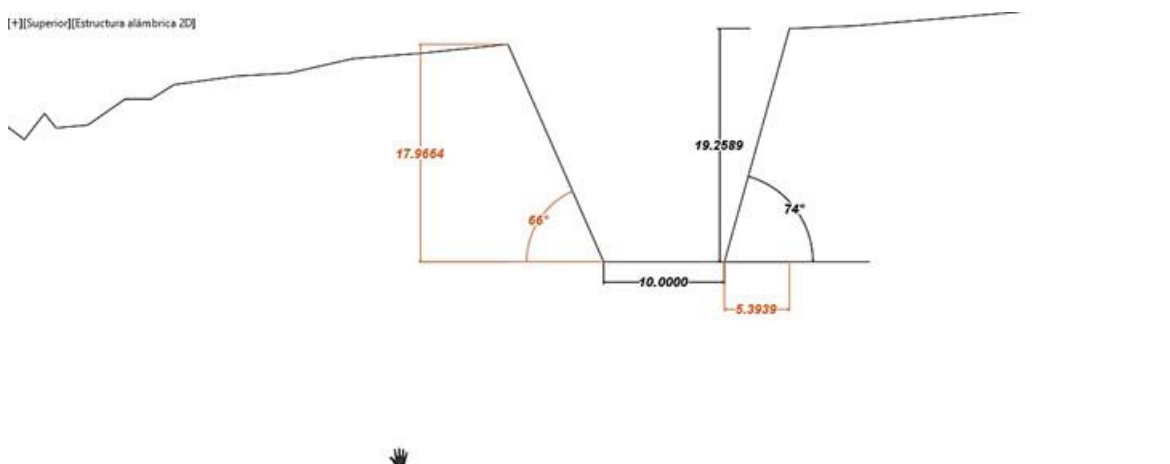


Figura 46. Sección acotada del talud analizado.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Estudio geotécnico

En esta etapa se extrajeron las muestras de suelos del talud de estudio, las cuales nos sirvieron para:

- Realizar la investigación geotécnica del talud, con el objetivo de asignar las propiedades mecánicas a los diferentes tipos de suelos que lo conforman.
- Verificar la estabilidad del talud, determinando así las causas de los deslizamientos.

Cabe mencionar que aquí se tomaron las muestras de suelos de un solo estrato que compone en su totalidad el talud. Además, se tomaron muestras inalteradas y alteradas de los suelos tanto en bloque tallados y material en estado suelto.

Se ubicaron, un punto en la parte inferior y otro en la parte media del talud para la extracción de la muestra, con la finalidad de establecer las propiedades del suelo en el laboratorio, además se extrajo una cantidad considerable de material para realizar los ensayos.

3.2.2 Trabajos de laboratorio

En esta etapa, se realizaron los ensayos del suelo para determinar los contenidos de humedad, granulometría por tamizado, densidad máxima y mínima, límites de consistencia, gravedad específica, análisis granulométrico por sedimentación, y densidad natural (peso específico). Una vez caracterizados los suelos, se tomaron muestras inalteradas de los suelos para realizar los ensayos de corte directo y ensayo de compresión triaxial no consolidada no drenada en suelos cohesivos. Se determinaron los parámetros de resistencia mediante estos dos ensayos, cada uno de estos con los respectivos resultados de cohesión y ángulo de fricción interno respectivos. Para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, se realizaron mediante los procedimientos establecidos en las Normas Técnicas mostradas a continuación:

Tabla 22.

Normas Técnicas de ensayos realizados

ENSAYOS	Norma NTP	Norma MTC	Norma ASTM
Propiedades Físicas			
Contenido de Humedad	NTP 339.127	MTC E 108	ASTM D 2216
Análisis Granulométrico por Tamizado	NTP 339.128	MTC E 107	ASTM D 422 – 63 (2002)
Densidad Máxima y Mínima		MTC E 203 - 2000	ASTM D 4253
Límite Líquido de los Suelos	NTP 339.129	MTC E 110	ASTM 4318
Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad	NTP 339.129	MTC E 111	ASTM 4318
Clasificación Método SUCS	NTP 339.134		D 2487-83
Gravedad Específica		MTC E 113	ASTM D - 854
Análisis Granulométrico por Sedimentación		MTC E 109	ASTM D - 422
Ensayo de Densidad Natural	NTP 339.139		
Propiedades Mecánicas			
Ensayo de Corte Directo	NTP 339.171		ASTM D - 3080
Compresión Triaxial No Consolidada-No Drenada	NTP 339.171		ASTM D - 2850

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23.

Cantidad de Ensayos Realizados en Laboratorio.

CANTIDAD DE ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS	
ENSAYOS	MUESTRAS AM 274
PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	
Contenido de Humedad	1
Análisis Granulométrico por Tamizado	1
Densidad Máxima y Mínima	1
Límite Líquido de los Suelos	1
Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad	1
Gravedad Específica	1
Análisis Granulométrico por Sedimentación	1
Ensayo de Densidad Natural	1
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO	
Ensayo de Corte Directo	1
Compresión Triaxial No Consolidada-No Drenada	1

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron 10 ensayos en laboratorios. Cabe mencionar que la cantidad que se necesitó para realizar los ensayos mencionados, se determinó de acuerdo con lo requerido por tipo de ensayo en las normas técnicas.

3.2.3 Estudio Mineralógico y Petrográfico

- Estudio Mineralógico

La mineralogía estudia los minerales y los clasifica sistemáticamente según su estructura y composición, mediante análisis cualitativos y cuantitativos para determinar la presencia de minerales en muestras solidas cristalinas (minerales).

- Estudio Petrográfico

Este estudio permite conocer las relaciones mutuas entre los cristales como textura, microestructuras, composición modal y clasificación petrográfica.

El procedimiento empleado para la clasificación de estos depósitos piroclásticos, está en función de su patrón textural y composición mineralógica de cada componente constituyente de las muestras en estudio.

- 1) Preparación de las secciones delgadas.

- 2) Reconocimiento preliminar de los minerales existentes a través de las secciones delgadas.
- 3) Descripción de los principales parámetros petrográficos tales como: textura, tamaño, forma, microestructuras e identificación de los cristales.
- 4) Descripción mineralógica y determinación porcentual modal según la abundancia de los componentes como: esenciales, accesorios y secundarios.

La descripción microscópica consiste en la determinación de:

- Minerales, asociaciones, tamaños de grano.
- Formas, texturas.
- Porcentajes de cada mineral.
- Reemplazamientos y alteraciones que la afectan.
- Clasificación de la roca.
- Fotomicrografías

3.2.4 Procesamiento y análisis de datos obtenidos

Una vez terminada la recolección de información, se procedió a procesar los datos obtenidos del ensayo de corte directo, para una simulación en estado superficial de la zona y del ensayo de Compresión Triaxial No Consolidada-No Drenada, para una simulación de la muestra confinada (en condiciones reales), para determinar el ángulo de fricción interno y la cohesión en cada caso.

3.2.5 Casos de aplicación

En esta etapa de la investigación, se realizó los análisis de estabilidad del talud. Se realizó la simulación en un software de modelación geotécnica disponible y de libre acceso, para determinar el factor de seguridad mediante los datos parámetros de resistencia obtenidos de los ensayos efectuados en laboratorio y verificar la estabilidad del talud aparentemente estable.

Se realizó el análisis de estabilidad del talud utilizando métodos de equilibrio límite. Se utilizaron los parámetros de resistencia como son: el grado de cohesión, ángulo de fricción interna y el peso específico del suelo, con la finalidad de asignar y definir las propiedades mecánicas del suelo que conforma el talud. Luego se verificó la estabilidad del talud mediante los factores de seguridad de estabilidad.

3.2.5.1 Análisis Estático

Condiciones normales: el desencadenante es la misma gravedad.

3.2.5.2 Análisis Pseudoestático

- Sismicidad máxima: condicionado por la máxima aceleración del terreno.
- La componente sísmica horizontal, será siempre en dirección del talud y la componente sísmica vertical, será siempre a favor de la gravedad.
- A continuación, se describen algunos puntos destacables para el análisis:
- Las componentes sísmicas horizontales y verticales son obtenidas bajo estas variables:
 - De acuerdo con el mapa de zonificación sísmica de la Norma de Diseño Sismo-resistente E 030, la componente horizontal en la ZONA 3, tiene un coeficiente de zonificación para la determinación de la máxima aceleración: $Z = 0.35$.

Componente Horizontal: 0.35

- La fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso. Para las zonas 2 y 3, esta fracción será de $2/3 Z$.

Componente Vertical: 0.23

CAPÍTULO IV

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 Características de la zona del estudio

a) Geológicamente

Se ubica geológicamente en el cuadrángulo de Arequipa en la unidad geomorfológica Penillanura de Arequipa.

b) Mineralógica y Petrográficamente

- Descripción Macroscópica

Roca de color rosado, poco compacta, disgregable, con textura tobacea, engloba fragmentos líticos de colores oscuros y claros de diversa composición, con tamaños que van desde los centímetros hasta milímetros. La matriz de la roca, es disgregable y arcillosa.

- Descripción Microscópica

Mineralogía:

Tabla 24.

Composición mineralógica de la formación Volcánico Sencca.

ESENCIALES %		ACCESORIOS %	
		Sanidina	2
		Plagioclasas	2
		Cuarzo	1
Vidrio volcánico	94	Biotita	<1
		Muscovita	<1
		Óxidos/hidróxidos Fe	<1
		Minerales opacos	trazas

Fuente: Elaboración propia

- Textura
 - o Roca: Piroclástica.
 - o Matriz: textura eutaxítica.
- Clasificación:
 - Ignimbrita riolítica.

Roca piroclástica, constituida por piroclastos, cristaloclastos y líticos en una matriz con granulometría mayoritariamente de ceniza volcánica de fina a gruesa, está compuesta principalmente por vidrio volcánico, trizas vítreas, fiammes, cristales y vitroclastos, es matriz sostenida. los clastos líticos son escasos, porque solo se han observado en muestra de mano. Las texturas y estructuras de la roca solo se han podido observar sin luz polarizada, ya que está constituida casi en su totalidad por vidrio volcánico, el cual es negro al microscopio de luz polarizada.

c) Geodinámicamente

- GEODINÁMICA EXTERNA
 - Taludes y/o paredes de la sección muy empinados (sub verticales).
 - Efectos de meteorización constante: neblinas matutinas y nocturnas, cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche.
 - Acciones complementarias de gravedad y eventuales efectos eólicos que son agentes influentes en la inestabilidad o desprendimiento.
 - Vibraciones y efectos de rebufo que ocurren por la alta velocidad a la que circulan vehículos de gran tonelaje por la zona.
- GEODINÁMICA INTERNA
 - De acuerdo con la nueva Norma Sismo Resistente NTE E-030-2016 para el predominio del suelo y de acuerdo con el mapa de Sismología Regional, el tramo donde se ubica el talud analizado, se encuentra enmarcada en la zona 3, de alta sismicidad.

Factor de zona	: Z = 0.35
Factor de amplificación del suelo	: S = 1.15

d) Meteorológicamente

En Yura, los veranos son cortos, cómodos, áridos y parcialmente nublados y los inviernos son cortos, frescos, secos y nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 8 °C a 21 °C y rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más de 23 °C.

- Temperatura promedio en Yura

La temperatura generalmente varía de 8 °C a 21 °C y rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más de 23 °C.

- Nubes

El porcentaje de presencia de nubes es extremadamente variado durante el año, la etapa más despejada dura 6 meses y empieza en el mes de abril, mientras que la etapa más nublada empieza en el mes de octubre y también dura un semestre.

- Precipitación

La temporada con más precipitación dura 2.3 meses de enero a marzo, el mes con más precipitaciones es febrero, Mientras que la temporada seca dura 9.7 meses de marzo a enero.

- Lluvia

La temporada de lluvias dura 2.1 meses de enero a marzo, el mes con más lluvia es febrero con un promedio alcanzando de 19 mm/m² mientras que el periodo sin lluvia es de 9,9 meses de marzo a enero.

- Sol

La duración del día varia durante el transcurso del año, pero generalmente el distrito de Yura se encuentra soleado con altos niveles de radiación UV.

- Humedad

La humedad en Yura se encuentra en los meses de temporada más seca en 0 % por tener un clima seco y árido.

- Viento

La velocidad promedio del viento por hora en Yura no varía considerablemente durante el año y permanece en un margen de más o menos 0.8 kilómetros por hora de 9.8 kilómetros por hora.

4.1.1.1 Topografía del estudio

Para un mejor alcance de la investigación, se identificó el lugar de estudio, en la cual se realizó el levantamiento topográfico, mediante la toma de puntos del perfil del talud seleccionado. Cabe mencionar que, el área de estudio está ubicada dentro de la Vía 34-A Carretera a Yura progresiva 57+110 a la progresiva 57+200, que a su vez pertenece al tramo 5 de la carretera interoceánica, localizada en la provincia de Arequipa, región Arequipa.

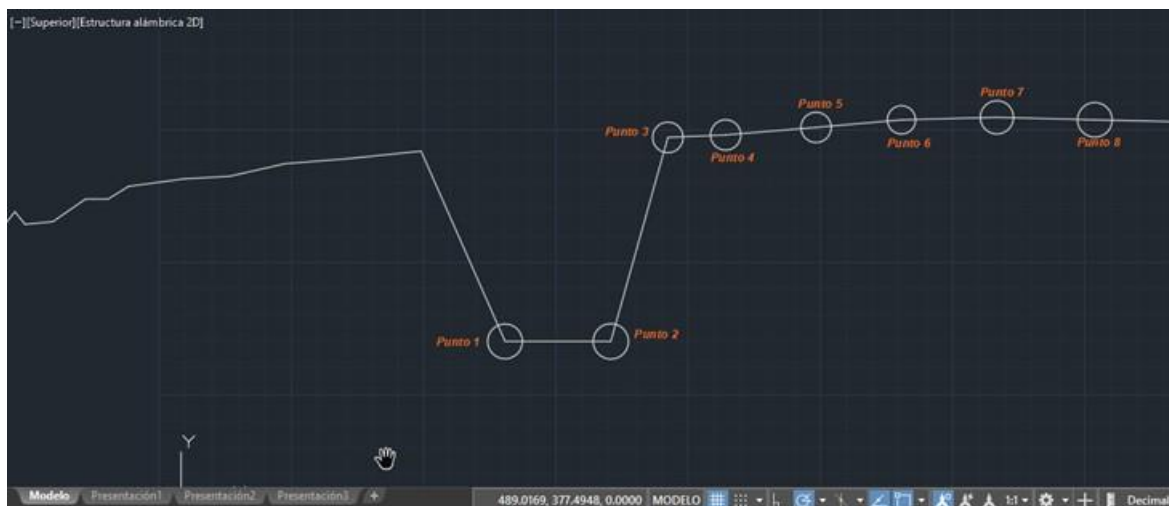


Figura 47. Perfil topográfico de la sección de talud analizado.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25.

Coordenadas en X, Y de puntos levantados en la sección de talud

PUNTO	COORDENADA EN X	COORDENADA EN Y
1	320.1895	342.5357
2	330.1895	342.5357
3	335.5833	361.7946
4	341.0433	362.0317
5	349.5893	362.743
6	357.6606	363.4543
7	366.6813	363.6913
8	375.9395	363.4543

Fuente: Elaboración propia.

La topografía de la zona de estudio, representa el aspecto más importante con respecto a los fenómenos de deslizamientos. A continuación, se muestran las características geométricas del talud en estudio.

Tabla 26.*Características geométricas del talud.*

PARÁMETRO	UNIDAD	TALUD EN ESTUDIO
Pendiente media	°	74°
Distancia vertical (pie a cabeza)	M	19.2589
Distancia horizontal (pie a cabeza)	M	5.3939
Ancho de escarpe	M	0

Fuente: Elaboración propia.

La pendiente representa un rol significativo en la erosión e inestabilidad de taludes. Entre los parámetros más importantes que describe la topografía del talud, se encuentra la pendiente media natural, distancia vertical de pie a cabeza del talud, distancia horizontal y ancho de escarpe, entre otros.

4.1.1.2 Condición Actual del talud en estudio

A la fecha del desarrollo del proyecto de investigación, el talud en estudio tenía una longitud de ancho de escarpe aproximada de 80.20 m. y alcanzaba una altura de 19.85 m. de pie a cabeza en su parte central. Su distancia horizontal era de 33.50 m., su inclinación de pendiente de 36.40°. En este talud ocurren deslizamientos y erosiones y, que como se evidencia en la longitud, es un problema que se debe solucionar.

Cabe mencionar que la norma (CE.020, 2019) ítem “7.1.1. Evaluación de la condición de estabilidad de un talud”, menciona que las propiedades físicas y mecánicas de los materiales geotécnicos, se determinan mediante ensayos de campo y laboratorio de acuerdo con el tipo de material e importancia de la obra, cuya decisión le compete al profesional responsable. Y para el análisis de estabilidad del talud en roca y suelos, es necesario realizar los estudios geotécnicos, que permitan caracterizar los materiales y evaluar los parámetros de diseño que el profesional responsable considere necesario, a fin de obtener la estabilidad del talud.

En tal sentido, en el tema de taludes, es recomendable hacer un mínimo de tres perforaciones. El número de perforaciones se pueden incrementar dependiendo del tamaño del talud. Se puede hacer una perforación en la cresta con una profundidad aproximada de 1,5 veces la altura del talud, otra hacia la mitad del talud con una profundidad comparable con la altura de ese talud y, una última, al pie del mismo con una profundidad aproximada de 1/3 de la altura mencionada o mediante el muestreo mediante excavación a cielo abierto.

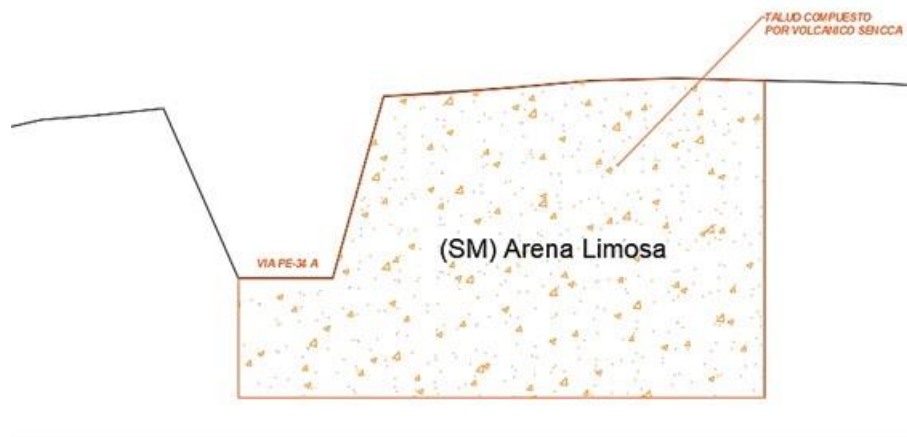


Figura 48. Perfil estratigráfico del talud en estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Estratigráficamente presenta una superficie compuesta por suelos de media cohesividad (arenas con arcillas), intercalado con estratos de baja cohesividad (arenas con limos). Debajo de los estratos mencionados, subyace un suelo de alta cohesividad (suelo duro – roca arenisca). Se evidencian problemas de zonas susceptibles a deslizamientos causadas por la erosión continua del talud, los cuales son condiciones de inestabilidad que presenta el talud.

4.1.2 Propiedades físicas del suelo del talud

Las muestras de material representativas del talud, se han obtenido en cantidades suficientes para poder realizar los ensayos de laboratorio correspondientes, teniendo un debido cuidado para su conservación y traslado al laboratorio, tal como nos dice la norma NTP 339.151, que nos menciona las prácticas estándar para su preservación y transporte de muestras de suelos.

Los ensayos se realizaron mediante guías de ensayos de laboratorio, normas técnicas, además se aclara que los certificados de los ensayos se muestran en los anexos.

4.1.2.1 Contenido de Humedad

En la siguiente tabla se resumen los resultados del contenido de humedad del suelo, lo cual nos indica el contenido de agua que contiene esta.

Tabla 27.*Resumen del contenido de humedad del suelo*

MUESTRA	ÍTEM	DESCRIPCIÓN		
AM 274	1	Peso de muestra húmeda + tara	(g)	491.40
	2	Peso de muestra seca + tara	(g)	483.50
	3	Contenido de humedad	%	1.63

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla mostrada se presenta el contenido de humedad para el espécimen. Se aprecia un porcentaje promedio ya que estos suelos son arenosos con presencia de arcillas y limos.

4.1.2.2 Análisis granulométrico por tamizado

Se registraron los porcentajes pasantes en cada tamiz, para determinar los porcentajes de gravas, arenas y finos.

Tabla 28.*Resumen del análisis granulométrico por tamizado.*

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	Peso Retenido +Tara (g)	Peso Retenido – Tara (g)	% Peso Retenido	% Total Retenido	% Total Pasante
5''	127.00					
4''	101.60					
3 ½''	88.90					
3''	76.20					
2 ½''	63.50					
2''	50.80			0.0	0.0	100.0
1 ½''	38.10	171.0	75.0	1.1	1.1	98.9
1''	25.40	254.0	158.0	2.3	3.3	96.7
¾''	19.10	161.0	65.0	0.9	4.3	95.7
½''	12.7	182.0	86.0	1.2	5.5	94.5
3/8''	9,52	181.0	85.0	1.2	6.7	93.3
N°4	4,760	429.0	333.0	4.8	11.5	88.5
N°8	2.380	67.1	37.6	5.9	17.5	82.5
N°10	2.000	40.7	11.2	1.8	19.2	80.8
N°16	1.19	65.9	36.4	5.7	25.0	75.0
N°30	0.590	96.7	67.2	10.6	35.6	64.4
N°40	0,425	68.6	39.1	6.2	41.7	58.3
N°50	0.300	73.8	44.3	7.0	48.7	51.3
N°80	0.180	96.6	67.1	10.6	59.3	40.7
N°100	0,150	59.5	30.0	4.7	64.0	36.0
N°200	0,074	128.1	98.6	15.6	79.6	20.4
		158.8	129.3	20.4	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que los resultados de granulometría mostrados, son el resumen de los porcentajes pasantes acumulados de cada calicata.

- CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D 2487 – 00

Tabla 29.

Fracciones de muestra encontradas en el análisis granulométrico.

FRACCIONES DE LA MUESTRA	
Grava	11.5 %
Arena	68.1 %
Finos	20.4 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30.

Coefficientes determinados por análisis granulométrico por tamizado.

COEFICIENTES	
Coefficiente de uniformidad	9.35
Coefficiente de curvatura	1.19

Fuente: Elaboración propia.

Según los porcentajes obtenidos en el análisis granulométrico, se clasifica mediante los parámetros de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) SM: ARENA LIMOSA

4.1.3 Densidad Máxima y Mínima

Se determinó la densidad máxima mediante el método del Pistón de Marshall y la mínima con el material en estado suelto.

- DENSIDAD MÁXIMA

Tabla 31.

Resumen de obtención de la densidad máxima.

DESCRIPCIÓN		1	2	3
Peso de Molde + Muestra	g.	8993	9001	
Peso de Molde	g.	6338.3	6338.3	
Peso de Muestra	g.	2130.7	2140.7	
Volumen de Molde	cm ³	2130.6	2130.6	
Densidad	g./cm ³	1.246	1.250	
Densidad Máxima:		1.248	g./cm³	

Fuente: Elaboración propia.

- DENSIDAD MÍNIMA

Tabla 32.

Resumen de obtención de la densidad mínima.

DESCRIPCIÓN		1	2	3
Peso de Molde + Muestra	g.	8469	8479	
Peso de Molde	g.	6338.3	6338.3	
Peso de Muestra	g.	2130.7	2140.7	
Volumen de Molde	cm ³	2130.6	2130.6	
Densidad	g./cm ³	1.000	1.005	
Densidad Mínima:		1.002	g./cm³	

Fuente: Elaboración propia.

La densidad mínima obtenida mediante el molde de Proctor, determina la densidad en estado suelto sin compactación del material y la densidad máxima, mediante el método del pistón de Marshall determina el grado máximo de compactación que alcanza el espécimen de suelo.

4.1.3.1 Límites de Atterberg

A continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Estos resultados son muy importantes porque nos ayudarán a clasificar el suelo.

Tabla 33.

Resumen de obtención del límite líquido.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
DESCRIPCIÓN		B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	
Peso de suelo húmedo + capsula	g.	-	-	-	-	-	-
Peso de suelo seco + capsula	g.	-	-	-	-	-	-
Peso de suelo seco	g.	-	-	-	-	-	-
Peso de agua	g.	-	-	-	-	-	-
Contenido de humedad	%	-	-	-	-	-	-
Numero de Golpes, N		-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34.*Resumen de resultados de límites de consistencia.*

Límite líquido (LL)	%	NP
Límite plástico (LP)	%	NO PLÁSTICO
Índice de plasticidad	%	-
Línea A		-

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones: Según la Norma ASTM D4318 si las condiciones del material por sus características no permiten realizar un correcto procedimiento del ensayo, se considera que el material no presenta límite líquido y no es plástico, por lo tanto, no existe un índice de plasticidad.

4.1.3.2 Gravedad Específica

Se determinó gravedad específica del suelo mediante el método del Picnómetro y se obtuvo el Peso específico (Tx/ 20°C).

Tabla 35.*Resumen de resultados de límites de consistencia.*

GRAVEDAD ESPECÍFICA			
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	1	2
Temperatura de ensayo	°C	24.6	24.5
Volumen de picnómetro	ml	489.5	489.6
Método de remoción de aire		Ebullición	Ebullición
Masa del frasco volumétrico M_f	g	201.60	162.8
Masa del picnómetro + agua = M_a (a Tx)	g	699.44	660.4
Temperatura de calibración	°C	21	20
Masa del frasco + agua + peso del suelo = M_b	g	870.6	830.8
Masa del suelo seco (M_o)	g	301.5	301.2
K (corrección de temperatura)		0.9988	0.9988
Peso específico (Tx/Tx °C)		2.31	2.30

Fuente: Elaboración propia

La gravedad específica del suelo, se obtuvo dividiendo el peso unitario del material por el peso unitario del agua destilada a 20°C.

4.1.3.3 Análisis granulométrico por sedimentación

Se realizó el análisis granulométrico por sedimentación basado en la ley de Stokes, para el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 74 μm (N° 200).

Tabla 36.

Resumen de resultados de análisis granulométrico por sedimentación.

Tiempo (min)	Temperatura °C	Corrección por temperatura	Viscosidad	Lectura real del Hidrómetro Ra	Lectura Corregida del Hidrómetro Rc	Pi (%)	Hidrómetro corregido por menisco R	L (cm)	L/t (cm/min)	K	Diámetro (mm)	Gradación Global
0.0						100.00					0.0750	20.00
1.0	20.00	0.00	0.01005	45.00	39.00	66.10	45.50	8.90	8.90	0.0084	0.0252	13.22
2.0	20.10	0.02	0.01003	40.00	34.02	57.66	40.50	9.70	4.85	0.0084	0.0186	11.53
4.0	20.10	0.02	0.01003	33.00	27.02	45.19	33.50	10.90	2.73	0.0084	0.0139	9.16
8.0	20.10	0.02	0.01003	26.00	20.02	33.93	26.50	12.20	1.53	0.0084	0.0104	6.79
16.0	20.10	0.02	0.01003	19.00	13.02	22.07	19.50	13.20	0.83	0.0084	0.0077	4.41
30.0	20.30	0.06	0.00998	15.00	9.06	15.35	15.50	13.80	0.46	0.0084	0.0057	3.07
60.0	20.50	0.10	0.00993	11.50	5.60	9.49	12.00	14.30	0.24	0.0083	0.0041	1.90
120.0	21.30	0.26	0.00974	9.00	3.26	5.52	9.50	14.80	0.12	0.0082	0.0029	1.10
240.0	22.30	0.49	0.00951	8.00	2.49	4.22	8.50	15.00	0.06	0.0080	0.0020	0.84
1440.0	20.30	0.06	0.00998	7.00	1.06	1.80	7.50	15.20	0.01	0.0084	0.0009	0.36
2880.0	20.30	0.06	0.00998	7.00	1.06	1.80	7.50	15.20	0.01	0.0084	0.0006	0.36

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se revela la gradación de las partículas finas, de acuerdo al diámetro en milímetros que fueron observadas durante intervalos de tiempo en minutos, a temperaturas controladas.

4.1.3.4 Densidad Natural

A continuación, se muestran los resultados del ensayo del peso unitario o peso volumétrico del suelo, que se determinó mediante el método de la parafina.

Tabla 37.

Resumen del análisis para determinar la densidad natural.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		1
1	Peso de muestra natural	(g)	269.50
2	Peso de muestra + parafina	(g)	278.10
3	Peso de parafina	(g)	8.60
4	Densidad de parafina	(g/cm ³)	0.88
5	Volumen de parafina	(cm ³)	9.83
6	Peso de picnómetro + agua	(g)	1454.70
7	Peso de picnómetro + agua + muestra + parafina	(g)	1526.80
8	Volumen de muestra + parafina	(cm ³)	206.00
9	Volumen de muestra	(cm ³)	196.17
10	Densidad natural	(g/cm ³)	1.37
11	Contenido de humedad	%	0.02
12	Densidad Seca	(g/cm ³)	1.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38.

Resumen del análisis para determinar la humedad natural.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		
1	Peso de muestra húmeda + tara	(g)	491.40
2	Peso de muestra seca + tara	(g)	483.50
3	Contenido de humedad	%	1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.

Resumen de los resultados para determinar la densidad natural.

DENSIDAD NATURAL	g/cm ³	1.37
HUMEDAD		1.6%
DENSIDAD NATURAL SECA	g/cm ³	1.35

Fuente: Elaboración propia

En la tabla resumen, tenemos la densidad natural del espécimen inalterado que representa el peso por volumen del suelo y el contenido de humedad de la muestra en estado natural.

4.1.4 Propiedades mecánicas del suelo del talud

4.1.4.1 Corte Directo

En las siguientes tablas se resumen los ensayos de corte directo, determinando los parámetros de resistencia, como el ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (C) del suelo.

Tabla 40.

Resumen esfuerzos para empleados en el ensayo de corte directo.

ESFUERZO NORMAL		ESFUERZO DE CORTE	
CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm ²)	ESFUERZO (kgf/cm ²)	CARGA (kgf)
36.0	1.00	0.88	31.71
72.0	2.00	1.49	53.64
108.0	3.00	1.94	69.95

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40, se mencionan los esfuerzos normales (verticales) y cortantes (horizontales) a los cuales fue sometida la muestra inalterada, en el equipo de corte directo.

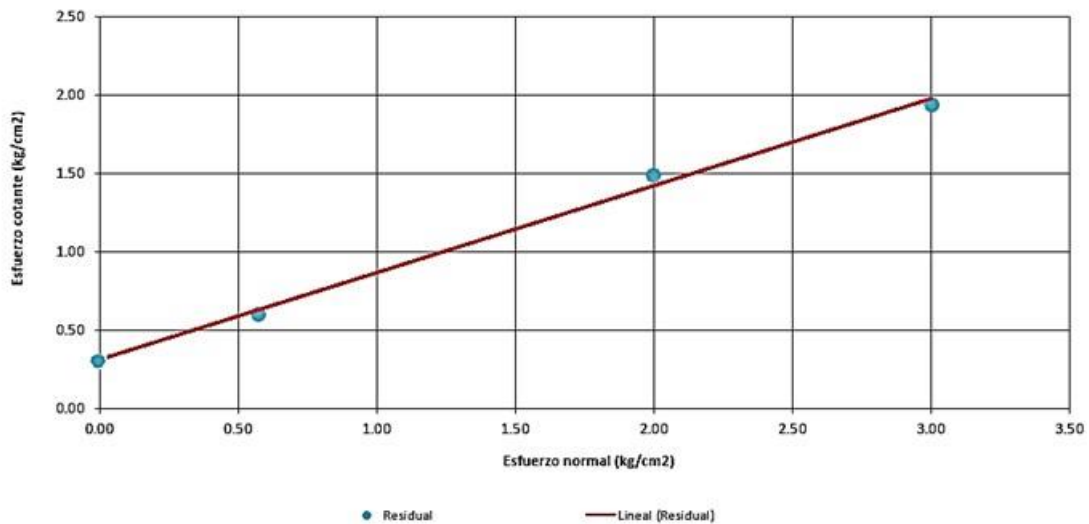


Gráfico 1. Gráfico de Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal en ensayo de corte directo.

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1, se representa la relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal, los cuales sometieron al espécimen ensayado generando deformaciones, mediante el software del equipo

de corte directo emplea el criterio de Mohr-Coulomb, para obtener los parámetros de resistencia de cohesión y ángulo de fricción interna.

Tabla 41.

Resumen resultados obtenidos en el ensayo de corte directo.

RESULTADOS		
Cohesión:	0.38	Kg/cm ²
Angulo de Fricción:	28.00	°
Humedad:		%
Densidad:		g/m ³

Fuente: Elaboración propia

Mediante el ensayo de corte directo se obtiene el ángulo de fricción interno y la cohesión en estado no Confinado.

4.1.4.2 Compresión Triaxial UU (No consolidado-No drenado)

Este método cubre la determinación de la resistencia y relaciones esfuerzo- deformación de un espécimen cilíndrico, tanto de especímenes intactos como remoldados de suelo cohesivo. Los especímenes son sujetos a una presión de fluido confinante en una cámara triaxial.

Determinando los parámetros de resistencia, como el ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (C) del suelo.

Tabla 42.

Resumen presiones laterales aplicadas en el ensayo de compresión triaxial.

	s3 KPa	F Newton	e	A cm ²	s1-s3 kPa	(s1-s3) Memb. kPa	(s1-s3) kPa	s1 kPa
1.Presion Lateral kPa	150	1999	0.0403	3611	553.4	0.4	553	703
2.Presion Lateral kPa	200	2493	0.0373	3817	653.2	0.4	652.8	852.8
3.Presion Lateral kPa								

Fuente: Elaboración propia

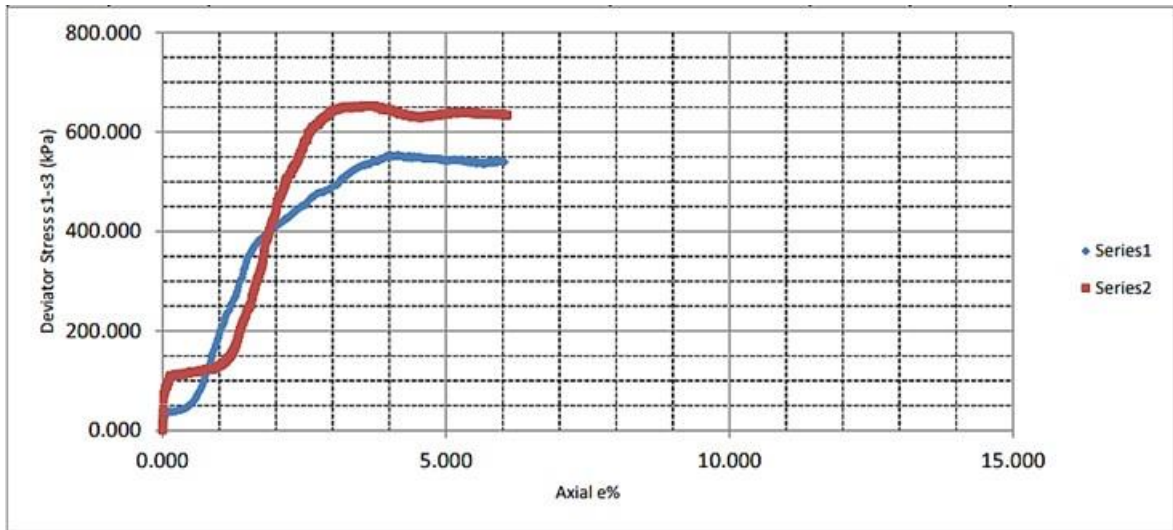


Gráfico 2. Gráfico de Esfuerzos laterales vs Deformación axial en ensayo de compresión triaxial.
Fuente: Elaboración propia

Mediante el Grafico 2, se observan las curvas de deformación, en él se observan los máximos esfuerzos que provocaron la falla de cada uno de los especímenes y la resistencia residual post falla de los mismos, de esta forma se identifican la primera etapa donde se producen los esfuerzos de confinamiento y la segunda etapa donde se produce el esfuerzo desviador, los cuales a su vez permiten determinar los círculos de Mohr.

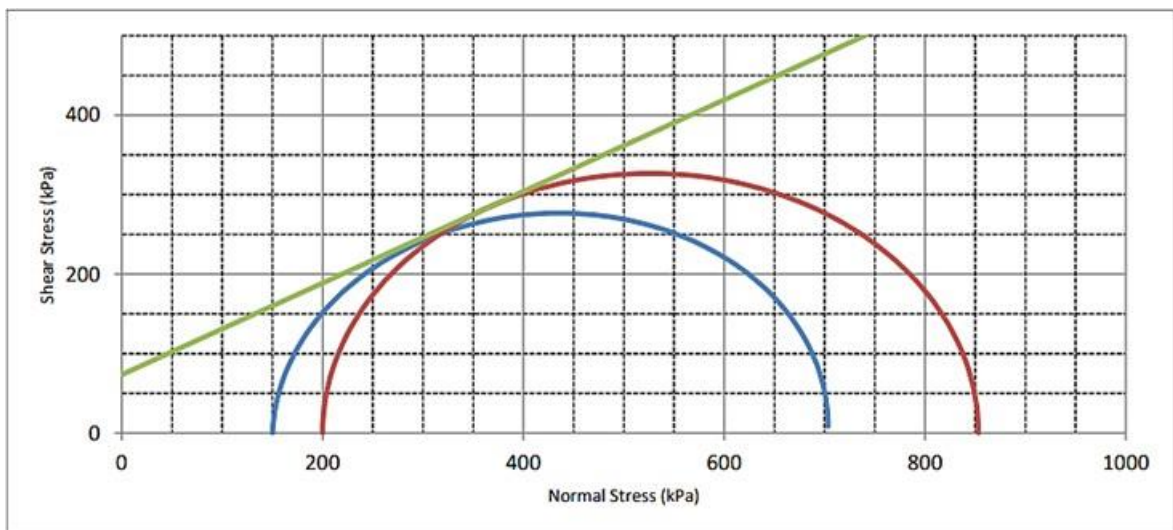


Gráfico 3. Gráfico de Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal en ensayo compresión triaxial.
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente en el grafico 3, se generan los círculos de Mohr de acuerdo a los esfuerzos confinantes y desviadores que fueron aplicados a las muestras, seguidamente el equipo procede a trazar la envolvente de falla la cual limita los círculos de Mohr tangencialmente. La envolvente de

falla determina el valor de la cohesión en el origen de las ordenadas y de igual manera el ángulo de fricción interna que genera la envolvente con la horizontal.

Tabla 43.

Resumen resultados obtenidos luego de aplicar las cargas en el ensayo de compresión triaxial.

Esfuerzo total		$\sigma_3 =$	150	200	-
C kPa	73.42	$\sigma_1 - \sigma_3 =$	553	652.8	-
Φ	29.96	$\sigma_1 =$	703	852.8	-
Velocidad de ensayo (mm/min)	0.5	$\varepsilon (\%) =$	4.03	3.73	-

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de resistencia obtenidos mediante el ensayo de compresión triaxial no drenado no consolidado son los siguientes:

- Cohesión: 73.42 KN/m²
- Angulo de Fricción interna: 29.96

Tabla 44.

Parámetros obtenidos en el ensayo de compresión triaxial.

Parámetros de resistencia	Unidades	Corte directo	Compresión Triaxial UU
Cohesión	KN/m ²	37.265	73.42
Ángulo de fricción interna	°	28	29.96

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión triaxial se realiza la comparativa de los parámetros de resistencia de cada uno de ellos.

4.1.5 Análisis de estabilidad del talud global

Para determinar la condición de estabilidad que presenta el talud, se procedió a realizar un análisis de estabilidad global, para lo cual se utilizó el software SLIDE V6.0.

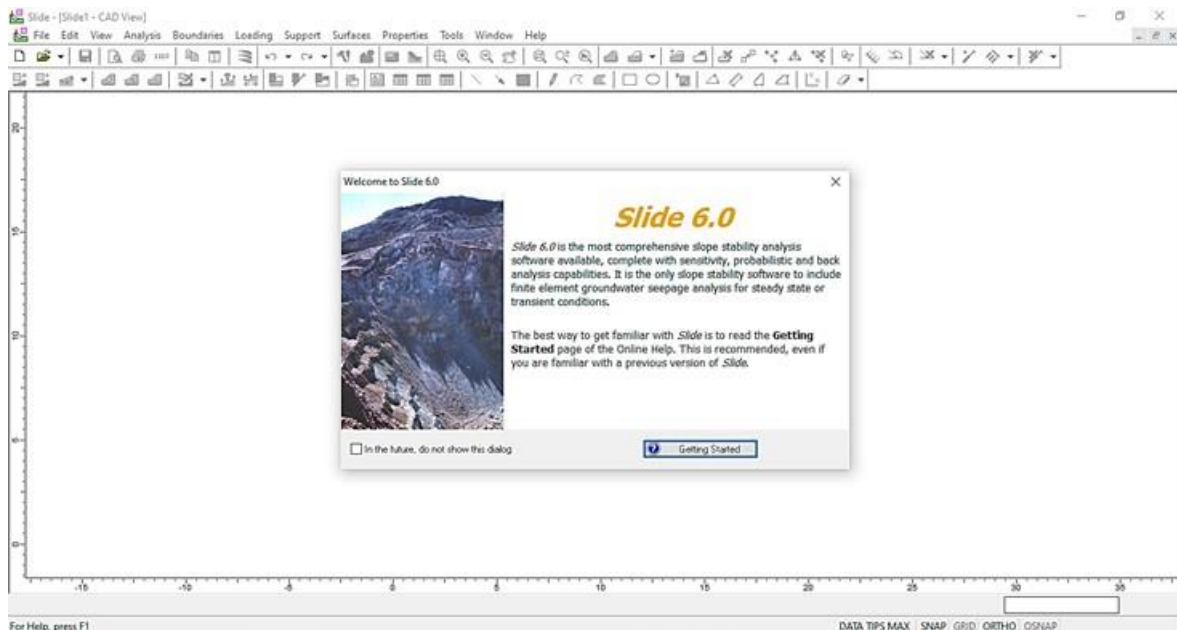


Figura 49. Interfaz del software Slide.
Fuente: SLIDE V6.0

El software SLIDE V6.0, está orientado al análisis de las fallas circulares y planares, tanto globales como locales, esto utilizando el concepto de equilibrio límite.

Previo al modelamiento de la sección del talud, es necesario obtener las coordenadas en el orden de izquierda a derecha en X, Y de la sección para el modelamiento en el software SLIDE V6.

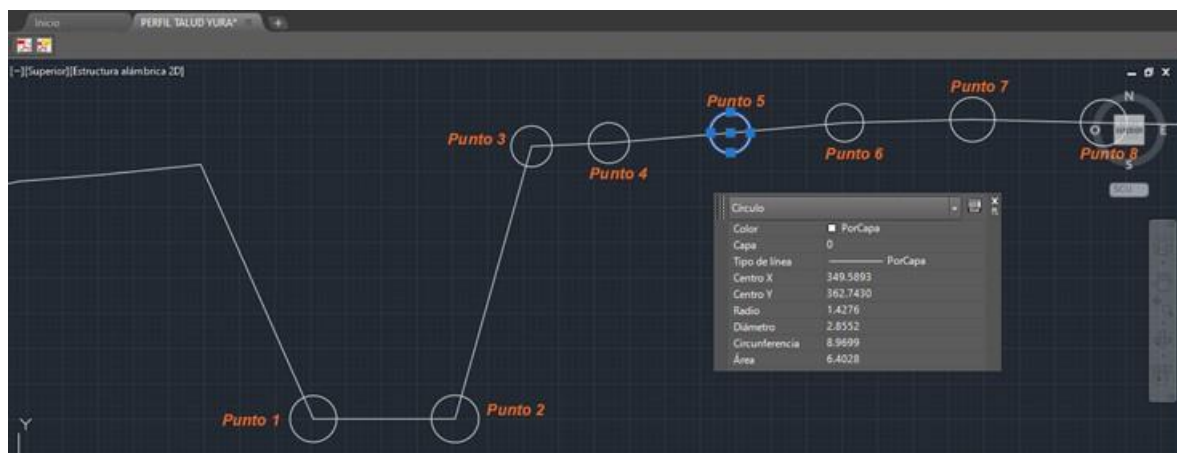


Figura 50. Obtención de coordenadas de la sección que se analizará.
Fuente: SLIDE V6.0

Tabla 45.

Coordenadas en X, Y de izquierda a derecha de la sección a analizar.

PUNTO	COORDENADA EN X	COORDENADA EN Y
1	320.1895	342.5357
2	330.1895	342.5357
3	335.5833	361.7946
4	341.0433	362.0317
5	349.5893	362.743
6	357.6606	363.4543
7	366.6813	363.6913
8	375.9395	363.4543

Fuente: Elaboración propia.

Para el modelamiento se empleará la herramienta Add External Boundary (agregar límite externo), la cual nos permite ingresar las coordenadas de una tabla externa.

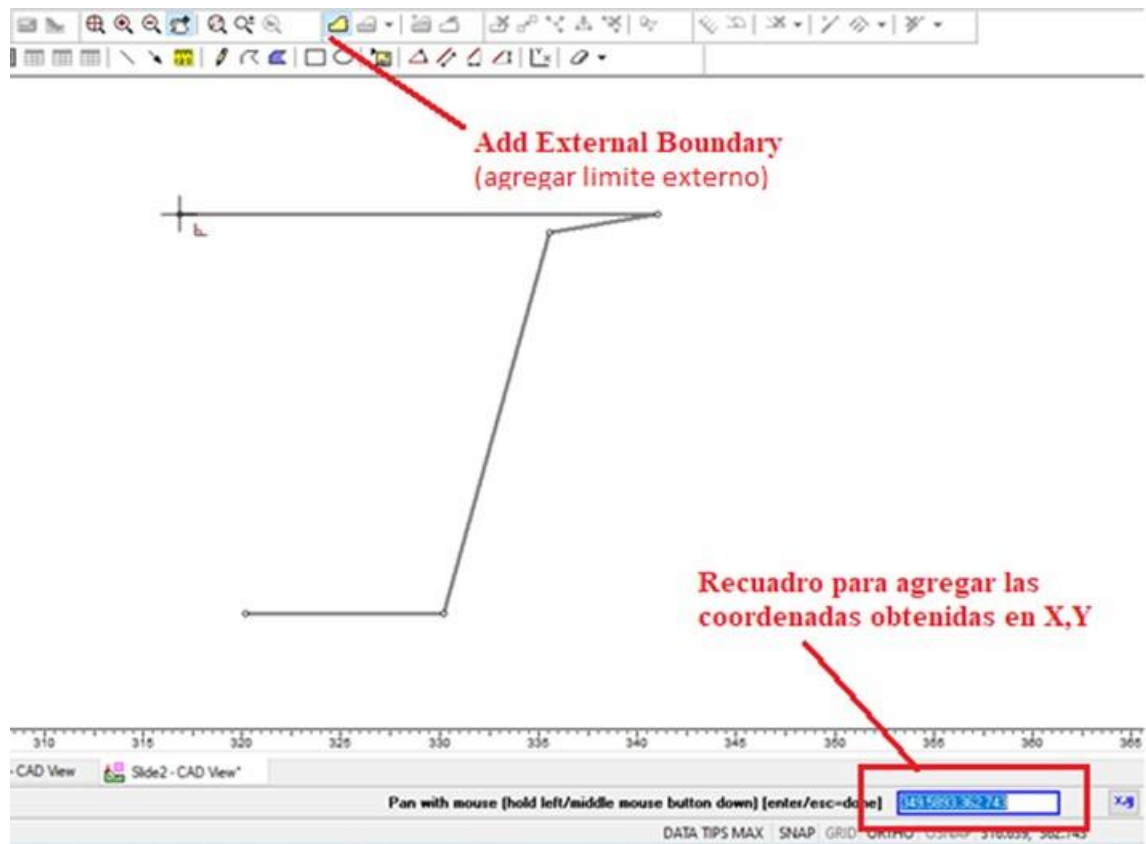


Figura 51. Aplicación de la herramienta Add External Boundary.

Fuente: SLIDE V6.0.

Posteriormente al cerrar el polígono con las coordenadas en X, Y, automáticamente el software asignará propiedades por defecto, como el nombre del material, densidad natural, cohesión y ángulo de fricción interno, las cuales se tienen que reasignar de acuerdo a los parámetros de resistencia obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio.

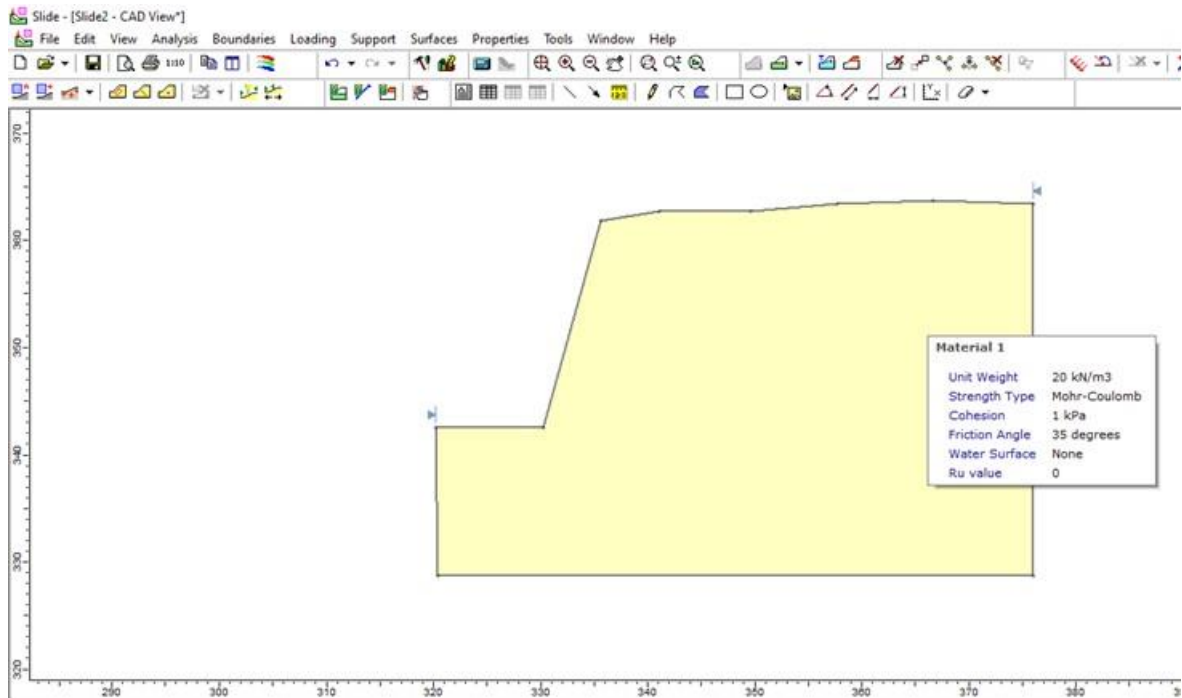


Figura 52. Propiedades asignadas por el software SLIDE por defecto.
Fuente: SLIDE V6.0

Posteriormente asignamos los datos obtenidos en laboratorio como la densidad natural, la cohesión y el ángulo de fricción interna, por la composición y características del material ignimbrita se optó por el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

Para el correcto análisis de estabilidad, se utilizaron los parámetros físicos y de resistencia obtenidos en el ensayo de Corte Directo, Compresión Triaxial No Drenado- No Consolidado y Densidad Natural.

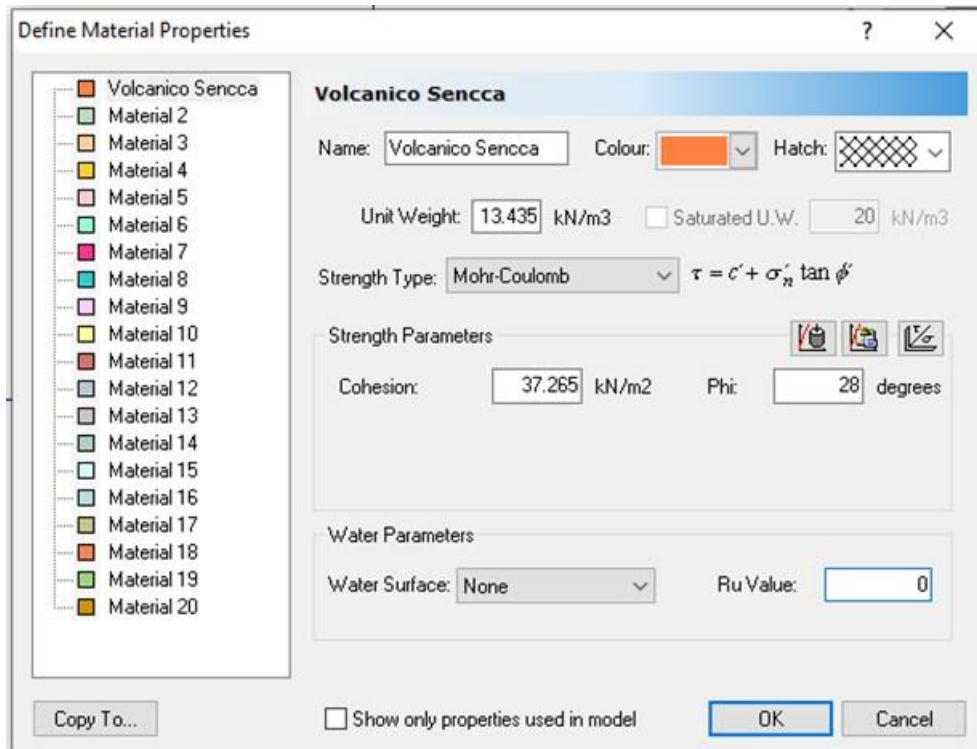


Figura 53. Asignación de parámetros obtenidos en el ensayo de Corte Directo.
Fuente: SLIDE V6.0

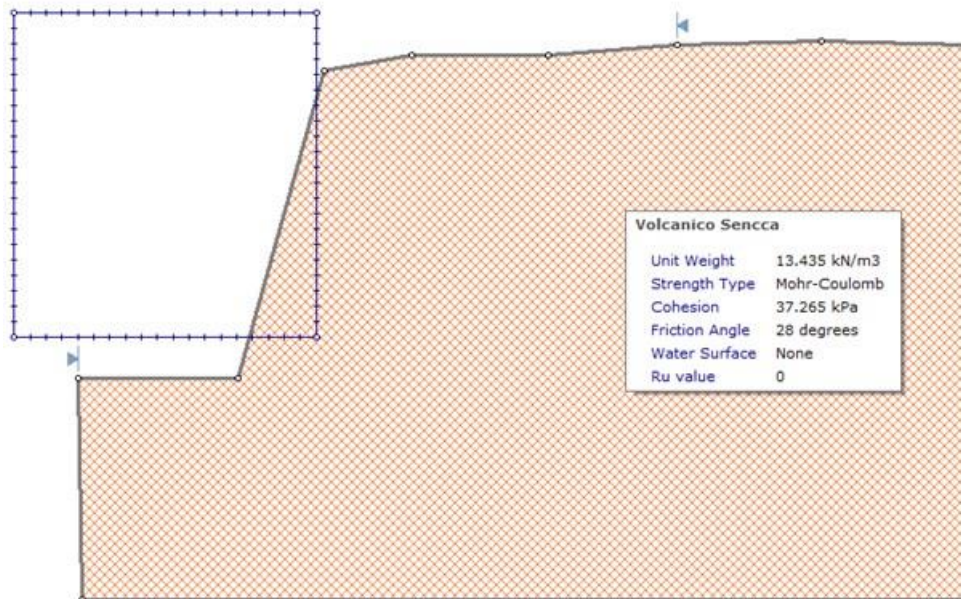


Figura 54. Sección con las propiedades nuevas asignadas de acuerdo al material.
Fuente: SLIDE V6.0

Para realizar la simulación, el software permite asignar distintos tipos de materiales según los estratos de los que este compuesto el talud, sin embargo, en este caso en particular, el talud está conformado únicamente por la ignimbrita de la formación VOLCÁNICO SENCCA, de tal forma

que solo se considerara un material. Para el cual el software requiere la densidad natural, la cohesión y el ángulo de fricción.

Sin embargo, también se pueden considerar otros parámetros como el estado de saturación de la sección y si hay influencia freática, que en este caso en particular no consideraremos ya que la sección elegida para el análisis no cuenta con esas condiciones.

Para las primeras simulaciones se empleará los parámetros obtenidos en el ensayo de Corte Directo y Densidad Natural.

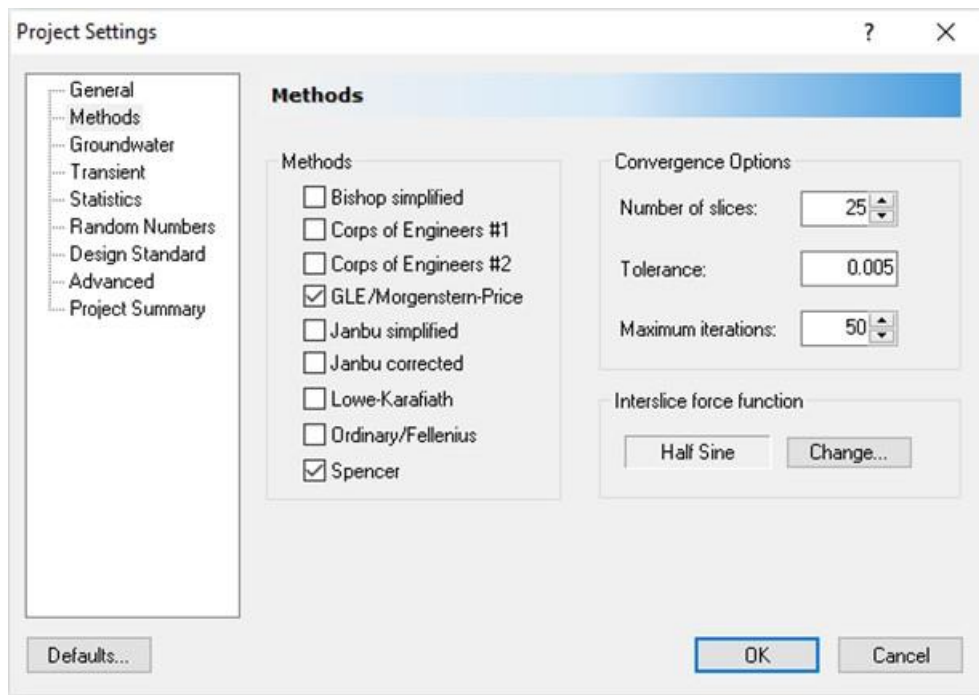


Figura 55. Selección de los métodos de equilibrio límite por los que se realizara el análisis.
Fuente: SLIDE V6.0

Posteriormente creamos y ubicamos una cuadrícula de centros de deslizamiento

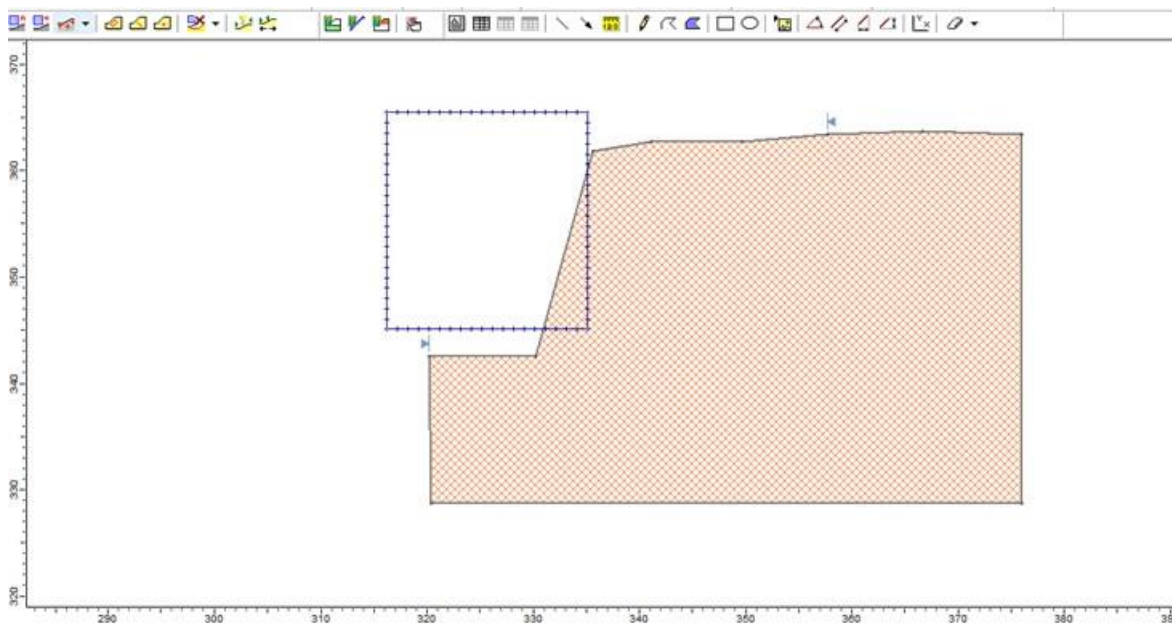


Figura 56. Creación y ubicación de la cuadrícula de centros de deslizamiento.
Fuente: SLIDE V6.0

4.1.5.1 Análisis Estático

- SIMULACIONES REALIZADAS CON LA COHESIÓN Y ANGULO DE FRICCIÓN OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

Tabla 46.

Densidad Natural obtenida en laboratorio

DENSIDAD NATURAL	g / cm ³	1.37	kN/m ³	13.435
HUMEDAD		1.6%		
DENSIDAD NATURAL SECA	g / cm ³	1.35	kN/m ³	13.238

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47.

Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio

COHESIÓN	0.38	Kg / cm ²	kN/m ²	37.265
ANGULO DE FRICCIÓN	28	°	°	28

Fuente: Elaboración propia.

a) Método GLE/Morgenstern-Price

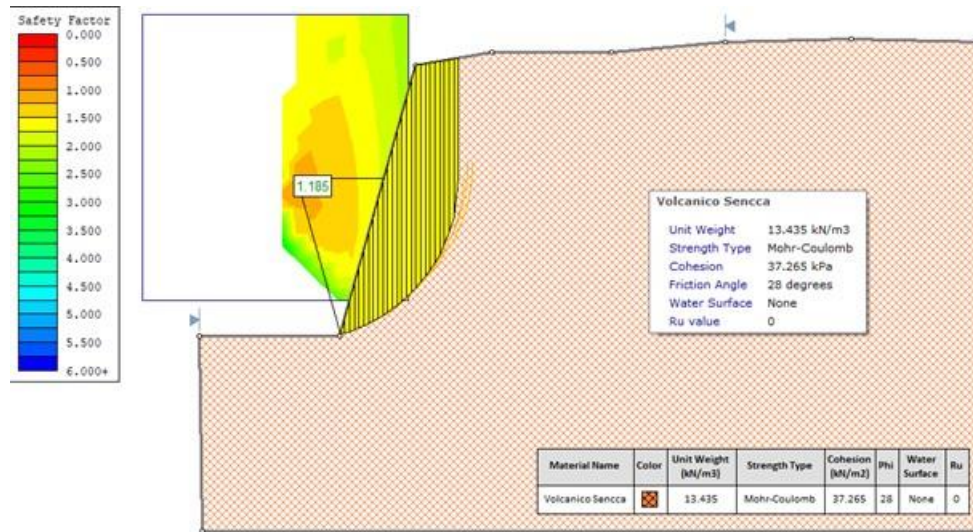


Figura 57. Simulación mediante el método Morgenstern- Price (CORTE DIRECTO)
Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.185

- FS: 1.185280.
- Centro: 327.104, 353.817.
- Radio: 11.571.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.229, 342.675.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 338.675, 353.817.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.229 342.675.
- Intersección de pendiente derecha: 338.675 362.332.
- Momento resistente = 11327.6 kN-m.
- Momento impulsor= 9556.91 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 619.951 kN.
- Fuerza horizontal impulsora= 523.042 kN.

Tabla 48.

Datos obtenidos de la simulación Morgenstern- Price con parámetros de CORTE DIRECTO.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.33786	2.51018	V. Sencca	37.265	28	30.9939	36.7364	-0.994153	0	-0.994153
2	0.33786	7.50477	V. Sencca	37.265	28	36.9961	43.8507	12.386	0	12.386
3	0.33786	12.447	V. Sencca	37.265	28	42.7544	50.6759	25.2221	0	25.2221
4	0.33786	17.3351	V. Sencca	37.265	28	48.2108	57.1433	37.3857	0	37.3857
5	0.33786	22.1672	V. Sencca	37.265	28	53.3149	63.1931	48.7637	0	48.7637
6	0.33786	26.9409	V. Sencca	37.265	28	58.0258	68.7768	59.265	0	59.265
7	0.33786	31.6536	V. Sencca	37.265	28	62.3148	73.8605	68.8262	0	68.8262
8	0.33786	36.3023	V. Sencca	37.265	28	66.1664	78.4257	77.412	0	77.412
9	0.33786	40.8834	V. Sencca	37.265	28	69.5774	82.4687	85.0158	0	85.0158
10	0.33786	45.3927	V. Sencca	37.265	28	72.5563	85.9995	91.6562	0	91.6562
11	0.33786	49.8255	V. Sencca	37.265	28	75.1204	89.0387	97.3723	0	97.3723
12	0.33786	54.1759	V. Sencca	37.265	28	77.2932	91.6141	102.216	0	102.216
13	0.33786	58.4371	V. Sencca	37.265	28	79.1005	93.7562	106.244	0	106.244
14	0.33786	62.6008	V. Sencca	37.265	28	80.5663	95.4936	109.512	0	109.512
15	0.33786	66.6568	V. Sencca	37.265	28	81.7087	96.8477	112.059	0	112.059
16	0.33786	70.5326	V. Sencca	37.265	28	82.4852	97.7681	113.79	0	113.79
17	0.33786	70.9995	V. Sencca	37.265	28	80.2707	95.1433	108.853	0	108.853
18	0.33786	69.4314	V. Sencca	37.265	28	76.3842	90.5367	100.19	0	100.19
19	0.33786	67.6773	V. Sencca	37.265	28	72.3345	85.7366	91.1618	0	91.1618
20	0.33786	65.697	V. Sencca	37.265	28	68.0167	80.6188	81.5365	0	81.5365
21	0.33786	63.4311	V. Sencca	37.265	28	63.264	74.9855	70.9419	0	70.9419
22	0.33786	60.7832	V. Sencca	37.265	28	57.7949	68.5031	58.7504	0	58.7504
23	0.33786	57.5762	V. Sencca	37.265	28	51.0754	60.5387	43.7715	0	43.7715
24	0.33786	53.3937	V. Sencca	37.265	28	41.8247	49.574	23.1498	0	23.1498
25	0.33786	4.8171	V. Sencca	37.265	28	19.9544	23.6515	-25.6033	0	-25.6033

Fuente: SLIDE V6.0

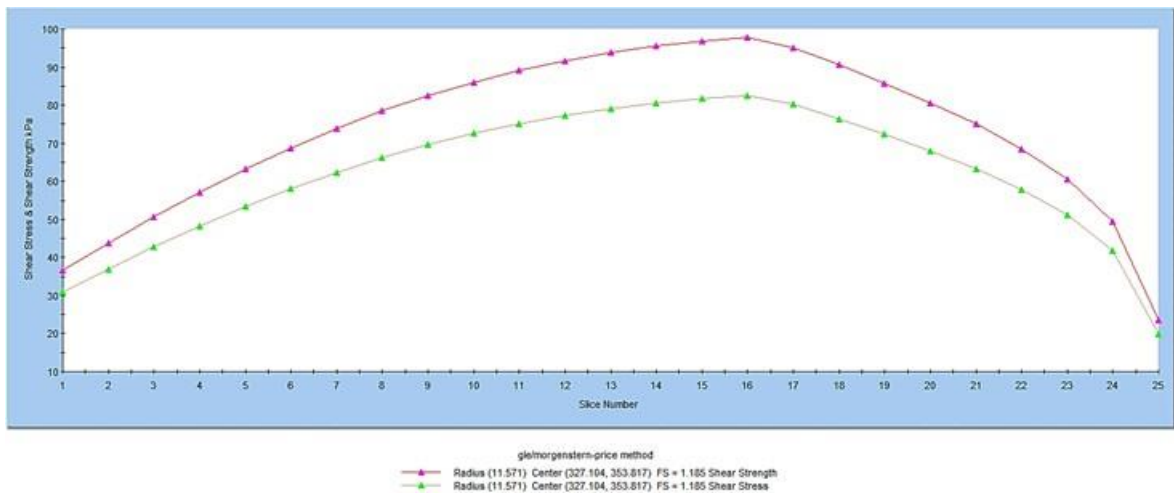


Gráfico 4. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela. (Morgenstern- Price / Corte Directo)

Fuente: SLIDE V6.0

b) Método Spencer

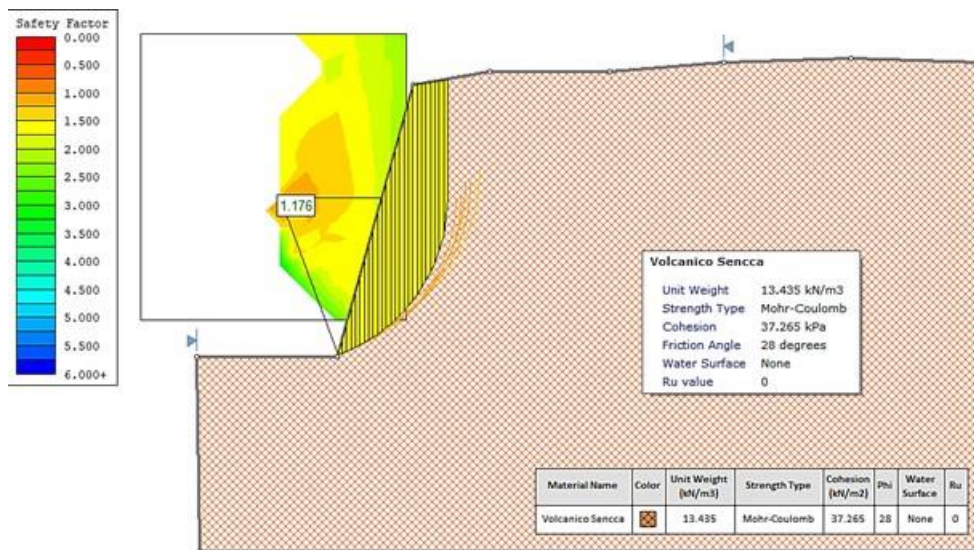


Figura 58. Simulación mediante el método Spencer (CORTE DIRECTO).

Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.176

- FS: 1.175680.
- Centro: 326.109, 353.817.
- Radio: 11.932.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.211, 342.611.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 338.042, 353.817.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.211 342.611.
- Intersección de pendiente derecha: 338.042 362.222.
- Momento resistente = 10581,7 kN-m.
- Momento impulsor=9000,48 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 530.306 kN.
- Fuerza horizontal impulsora=451.062 kN.

Tabla 49.

Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros de CORTE DIRECTO.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.313234	2.10153	V. Sencca	37.265	28	32.1678	37.8191	1.04202	0	1.04202
2	0.313234	6.283	V. Sencca	37.265	28	36.8741	43.3521	11.4482	0	11.4482
3	0.313234	10.4205	V. Sencca	37.265	28	41.3368	48.5989	21.3159	0	21.3159
4	0.313234	14.5124	V. Sencca	37.265	28	45.5558	53.5591	30.6448	0	30.6448
5	0.313234	18.5569	V. Sencca	37.265	28	49.5297	58.2311	39.4314	0	39.4314
6	0.313234	22.5516	V. Sencca	37.265	28	53.2558	62.6118	47.6704	0	47.6704
7	0.313234	26.4942	V. Sencca	37.265	28	56.7299	66.6962	55.3521	0	55.3521
8	0.313234	30.3819	V. Sencca	37.265	28	59.9462	70.4776	62.4638	0	62.4638
9	0.313234	34.2114	V. Sencca	37.265	28	62.8975	73.9473	68.9893	0	68.9893
10	0.313234	37.9788	V. Sencca	37.265	28	65.574	77.094	74.9074	0	74.9074
11	0.313234	41.6798	V. Sencca	37.265	28	67.9637	79.9036	80.1914	0	80.1914
12	0.313234	45.309	V. Sencca	37.265	28	70.0517	82.3584	84.8083	0	84.8083
13	0.313234	48.8603	V. Sencca	37.265	28	71.8192	84.4364	88.7165	0	88.7165
14	0.313234	52.3261	V. Sencca	37.265	28	73.243	86.1103	91.8645	0	91.8645
15	0.313234	55.6971	V. Sencca	37.265	28	74.2935	87.3454	94.1875	0	94.1875
16	0.313234	58.9619	V. Sencca	37.265	28	74.9336	88.0979	95.6028	0	95.6028
17	0.313234	62.1059	V. Sencca	37.265	28	75.1147	88.3109	96.0032	0	96.0032
18	0.313234	63.4998	V. Sencca	37.265	28	73.4823	86.3917	92.3938	0	92.3938
19	0.313234	61.9122	V. Sencca	37.265	28	69.2156	81.3754	82.9597	0	82.9597
20	0.313234	60.0711	V. Sencca	37.265	28	64.5639	75.9065	72.674	0	72.674
21	0.313234	57.9744	V. Sencca	37.265	28	59.464	69.9106	61.3975	0	61.3975
22	0.313234	55.5349	V. Sencca	37.265	28	53.7452	63.1871	61.3975	0	61.3975
23	0.313234	52.5925	V. Sencca	37.265	28	47.0893	69.9106	61.3975	0	61.3975
24	0.313234	48.7703	V. Sencca	37.265	28	38.7384	45.544	15.5704	0	15.5704
25	0.313234	40.9709	V. Sencca	37.265	28	22.4314	26.3721	-20.4865	0	-20.4865

Fuente: SLIDE V6.0

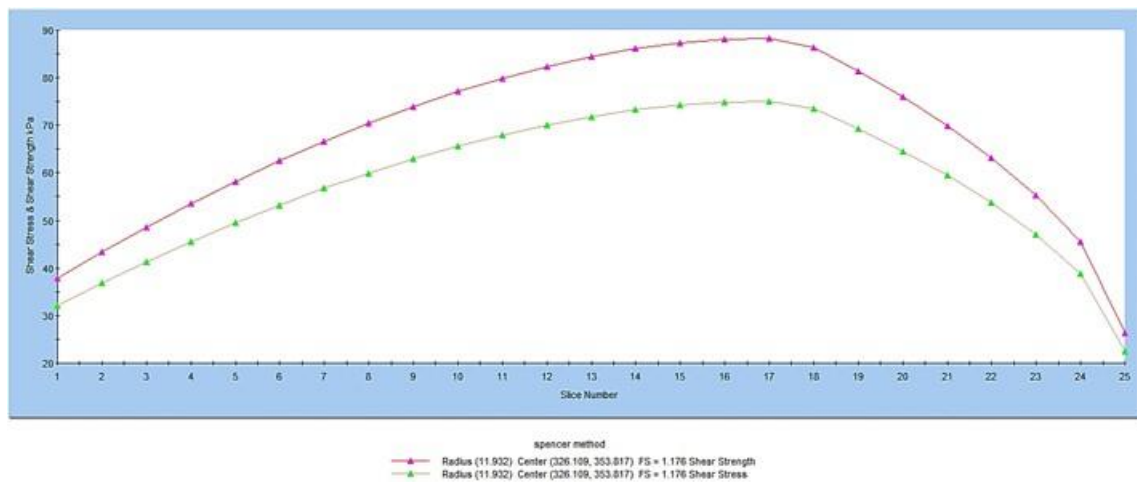


Gráfico 5. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela. (Spencer / Corte Directo)

Fuente: SLIDE V6.0

- SIMULACIONES REALIZADAS CON LA COHESIÓN Y ANGULO DE FRICCIÓN OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO- NO CONSOLIDADO.

Tabla 50.

Densidad Natural obtenida en laboratorio

DENSIDAD NATURAL	g / cm ³	1.37	kN/m ³	13.435
HUMEDAD		1.6%		
DENSIDAD NATURAL SECA	g / cm ³	1.35	kN/m ³	13.238

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51.

Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio

COHESIÓN	0.749	Kg / cm ²	kN/m ²	73.42
ANGULO DE FRICCIÓN	29.96	°	°	29.96

Fuente: Elaboración propia.

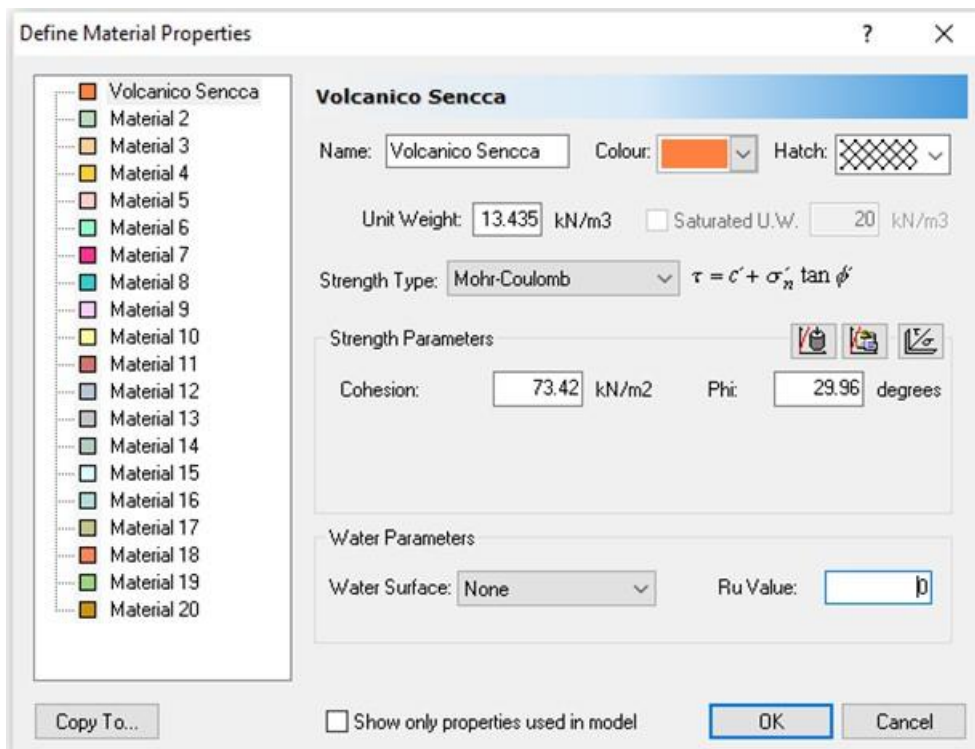


Figura 59. Asignación de parámetros obtenidos en los ensayos de Compresión Triaxial UU.

Fuente: SLIDE V6.0

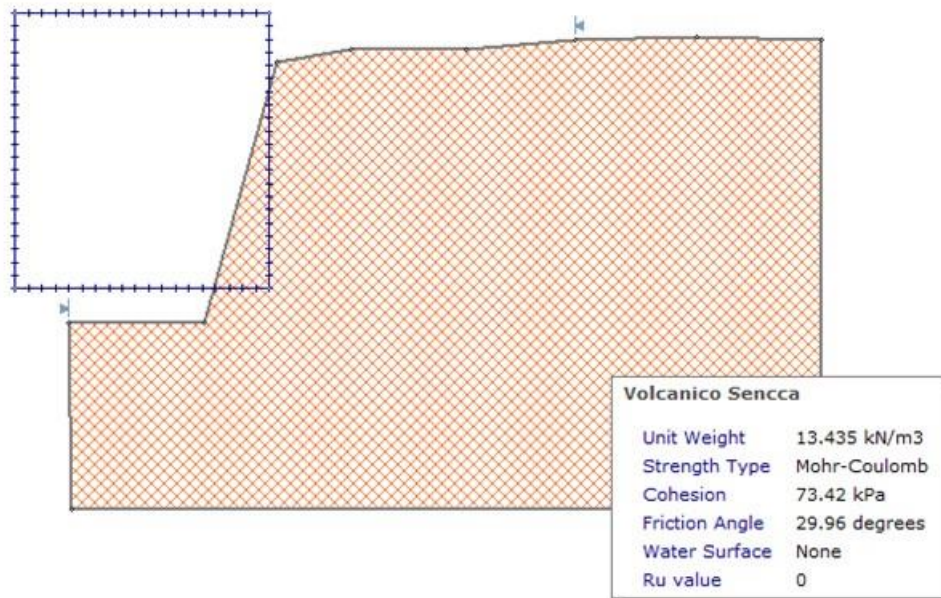


Figura 60. Sección con las propiedades nuevas asignadas de acuerdo al material.
Fuente: SLIDE V6.0

c) Método GLE/Morgenstern-Price

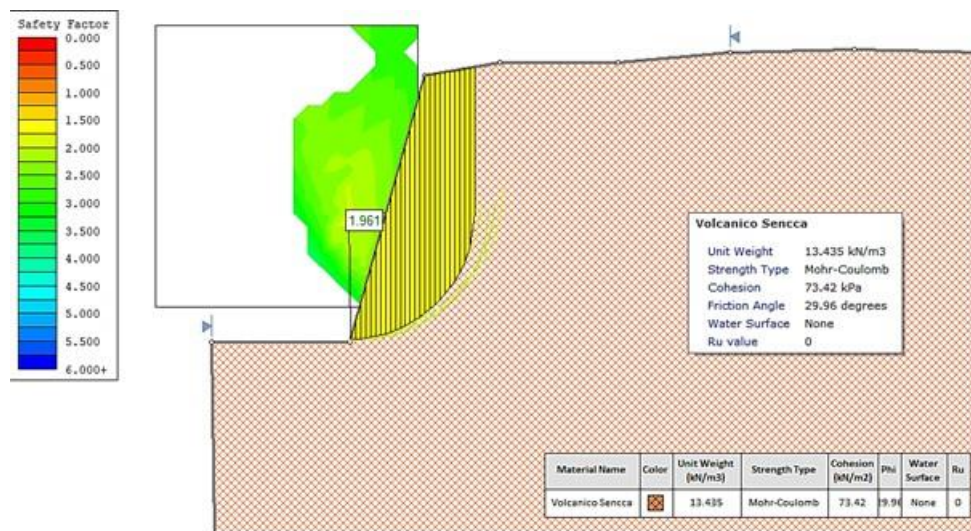


Figura 61. Simulación mediante el método GLE/Morgenstern-Price (TRIAXIAL).
Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.961

- FS: 1.961190.
- Centro: 330.087, 351.875.
- Radio: 9.102.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.256, 342.775.

- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 339.189, 351.875.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.256 342.775.
- Intersección de pendiente derecha: 339.189 362.421.
- Momento resistente = 15036.1 kN-m.
- Momento impulsor= 7666.84 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 1152.62 kN.
- Fuerza horizontal impulsora= 587.712 Kn.

Tabla 52.

Datos obtenidos de la simulación GLE/Morgenstern-Price con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.357318	3.02956	V. Sencca	73.42	29.96	39.8134	78.0816	8.08707	0	8.08707
2	0.357318	9.05482	V. Sencca	73.42	29.96	44.9033	88.0639	25.4049	0	25.4049
3	0.357318	15.0121	V. Sencca	73.42	29.96	49.8338	97.7336	42.1802	0	42.1802
4	0.357318	20.9005	V. Sencca	73.42	29.96	54.5354	106.954	58.1768	0	58.1768
5	0.357318	26.719	V. Sencca	73.42	29.96	58.9458	115.604	73.1828	0	73.1828
6	0.357318	32.466	V. Sencca	73.42	29.96	63.0148	123.584	87.0268	0	87.0268
7	0.357318	38.1396	V. Sencca	73.42	29.96	66.7064	130.824	99.5868	0	99.5868
8	0.357318	43.7375	V. Sencca	73.42	29.96	70.001	137.285	110.797	0	110.797
9	0.357318	49.2565	V. Sencca	73.42	29.96	72.8954	142.962	120.644	0	120.644
10	0.357318	54.6933	V. Sencca	73.42	29.96	75.4012	147.876	129.17	0	129.17
11	0.357318	60.0435	V. Sencca	73.42	29.96	77.5423	152.075	136.455	0	136.455
12	0.357318	65.3018	V. Sencca	73.42	29.96	79.351	155.622	142.609	0	142.609
13	0.357318	70.4619	V. Sencca	73.42	29.96	80.8646	158.591	147.758	0	147.758
14	0.357318	75.516	V. Sencca	73.42	29.96	82.1203	161.054	152.031	0	152.031
15	0.357318	80.4297	V. Sencca	73.42	29.96	83.1357	163.045	155.485	0	155.485
16	0.357318	81.8154	V. Sencca	73.42	29.96	81.8672	160.557	151.17	0	151.17
17	0.357318	80.6557	V. Sencca	73.42	29.96	79.0739	155.079	141.666	0	141.666
18	0.357318	79.3322	V. Sencca	73.42	29.96	76.2373	149.516	132.015	0	132.015
19	0.357318	77.8172	V. Sencca	73.42	29.96	73.3069	143.769	122.044	0	122.044
20	0.357318	76.0719	V. Sencca	73.42	29.96	70.1965	137.669	111.462	0	111.462
21	0.357318	74.0384	V. Sencca	73.42	29.96	66.7612	130.931	99.7734	0	99.7734
22	0.357318	71.6231	V. Sencca	73.42	29.96	62.7408	123.047	86.0945	0	86.0945
23	0.357318	68.6538	V. Sencca	73.42	29.96	57.6071	112.978	68.6278	0	68.6278
24	0.357318	64.7269	V. Sencca	73.42	29.96	49.9846	98.0293	42.6935	0	42.6935
25	0.357318	56.5391	V. Sencca	73.42	29.96	27.9463	54.808	-32.2891	0	-32.2891

Fuente: SLIDE V6.0

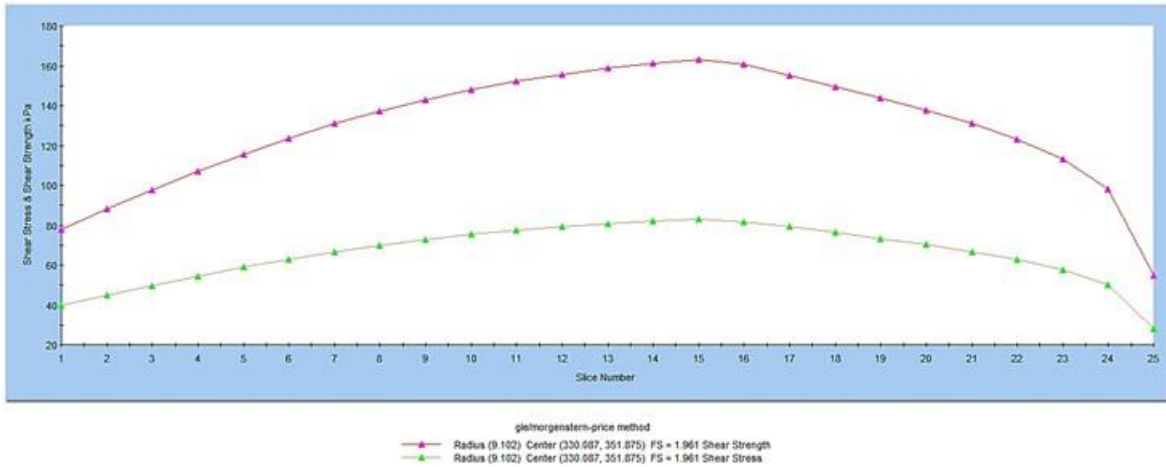


Gráfico 6. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela. (GLE/Morgenstern-Price / Compresión Triaxial UU)

Fuente: SLIDE V6.0

a) Método Spencer

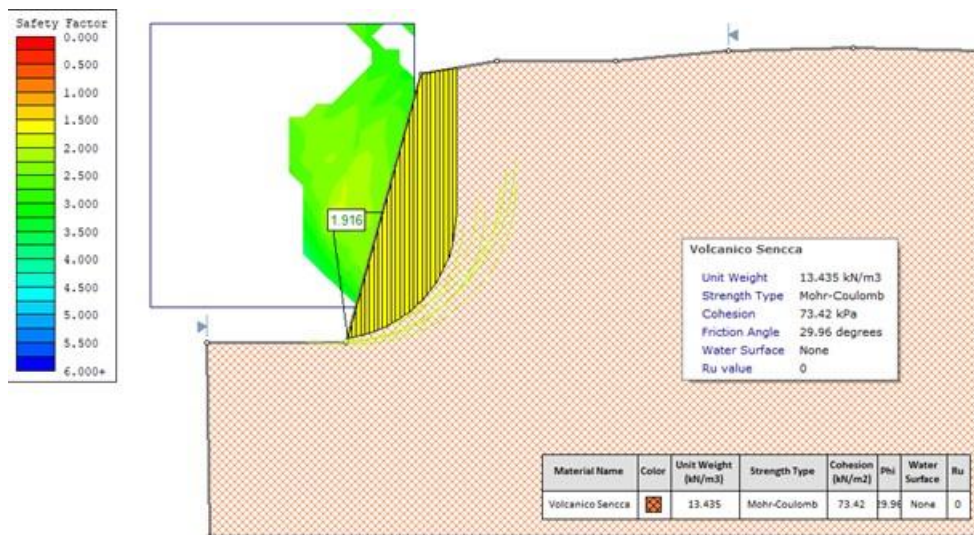


Figura 62. Simulación mediante el método Spencer (TRIAXIAL).

Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.916

- FS: 1.915840.
- Centro: 329.093, 351.875.
- Radio: 9.079.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.285, 342.875.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 338.171, 351.875.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.285 342.875.
- Intersección de pendiente derecha: 338.171 362.244.

- Momento resistente = 12865.1 kN-m.
- Momento impulsor= 6715.1 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 934.96 kN.
- Fuerza horizontal impulsora= 488.016 kN.

Tabla 53.

Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.315473	2.28659	V. Sencca	73.42	29.96	40.0975	76.8204	5.8992	0	5.8992
2	0.315473	6.83552	V. Sencca	73.42	29.96	43.8332	83.9774	18.3154	0	18.3154
3	0.315473	11.3355	V. Sencca	73.42	29.96	47.4068	90.8238	30.193	0	30.193
4	0.315473	15.7854	V. Sencca	73.42	29.96	50.8187	97.3605	41.533	0	41.533
5	0.315473	20.184	V. Sencca	73.42	29.96	54.0682	103.586	52.3333	0	52.3333
6	0.315473	24.5297	V. Sencca	73.42	29.96	57.1533	109.497	62.5874	0	62.5874
7	0.315473	28.8204	V. Sencca	73.42	29.96	60.0709	115.086	72.2846	0	72.2846
8	0.315473	33.0541	V. Sencca	73.42	29.96	62.8164	120.346	81.4097	0	81.4097
9	0.315473	37.228	V. Sencca	73.42	29.96	65.3837	125.265	89.9427	0	89.9427
10	0.315473	41.339	V. Sencca	73.42	29.96	67.7651	129.827	97.8574	0	97.8574
11	0.315473	45.3833	V. Sencca	73.42	29.96	69.9502	134.013	105.12	0	105.12
12	0.315473	49.3564	V. Sencca	73.42	29.96	71.9265	137.8	111.689	0	111.689
13	0.315473	53.253	V. Sencca	73.42	29.96	73.6781	141.156	117.511	0	117.511
14	0.315473	57.0663	V. Sencca	73.42	29.96	75.1849	144.042	122.519	0	122.519
15	0.315473	60.7885	V. Sencca	73.42	29.96	76.4212	146.411	126.628	0	126.628
16	0.315473	64.4092	V. Sencca	73.42	29.96	77.3537	148.197	129.727	0	129.727
17	0.315473	67.8213	V. Sencca	73.42	29.96	77.874	149.194	131.456	0	131.456
18	0.315473	68.0944	V. Sencca	73.42	29.96	75.9795	145.565	125.16	0	125.16
19	0.315473	66.7736	V. Sencca	73.42	29.96	72.8154	139.503	114.643	0	114.643
20	0.315473	65.2666	V. Sencca	73.42	29.96	69.2988	132.765	102.955	0	102.955
21	0.315473	63.5257	V. Sencca	73.42	29.96	65.3101	125.124	89.6979	0	89.6979
22	0.315473	61.4734	V. Sencca	73.42	29.96	60.6474	116.191	74.2008	0	74.2008
23	0.315473	58.9677	V. Sencca	73.42	29.96	54.9199	105.218	55.1642	0	55.1642
24	0.315473	55.6748	V. Sencca	73.42	29.96	47.1516	90.3349	29.3447	0	29.3447
25	0.315473	48.8599	V. Sencca	73.42	29.96	29.0084	55.5754	-30.9577	0	-30.9577

Fuente: SLIDE V6.0

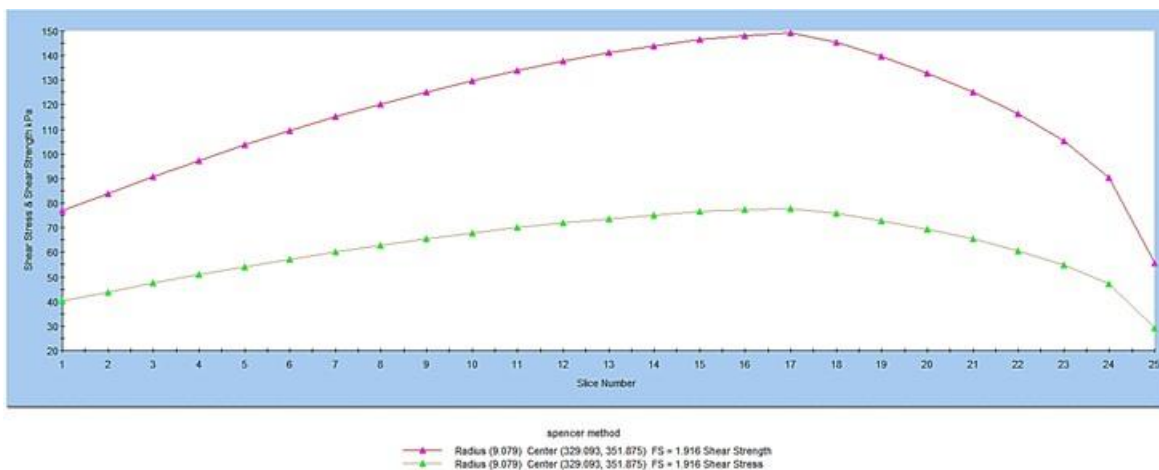


Gráfico 7. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.
 (Spencer / Compresión Triaxial UU)
Fuente: SLIDE V6.0

4.1.5.2 Análisis Pseudoestático

- SIMULACIONES REALIZADAS CON LA COHESIÓN Y ANGULO DE FRICCIÓN OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

Tabla 54.

Densidad Natural obtenida en laboratorio

DENSIDAD NATURAL	g / cm ³	1.37	kN/m ³	13.435
HUMEDAD		1.6%		
DENSIDAD NATURAL	g / cm ³	1.35	kN/m ³	13.238
SECA				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55.

Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio

COHESIÓN	0.38	Kg / cm ²	kN/m ²	37.265
ANGULO DE FRICCIÓN	28	°	°	28

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis pseudoestático se consideran las componentes sísmicas según la zona 3:

Componente Horizontal: 0.35.

Componente Vertical: 0.23.

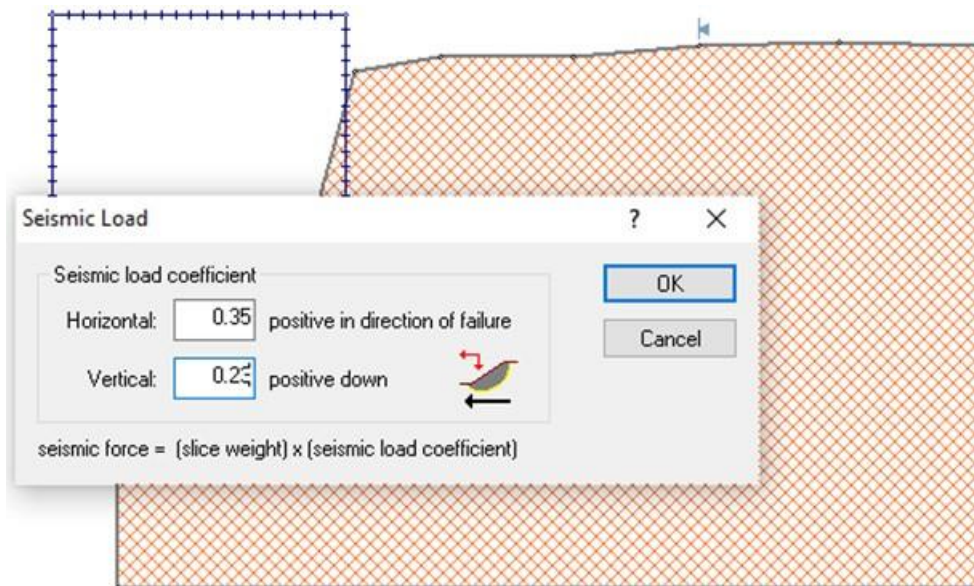


Figura 63. Introducción de coeficientes de carga sísmica para análisis pseudoestático.

Fuente: SLIDE V6.0

a) Método GLE/Morgenstern-Price análisis pseudoestático

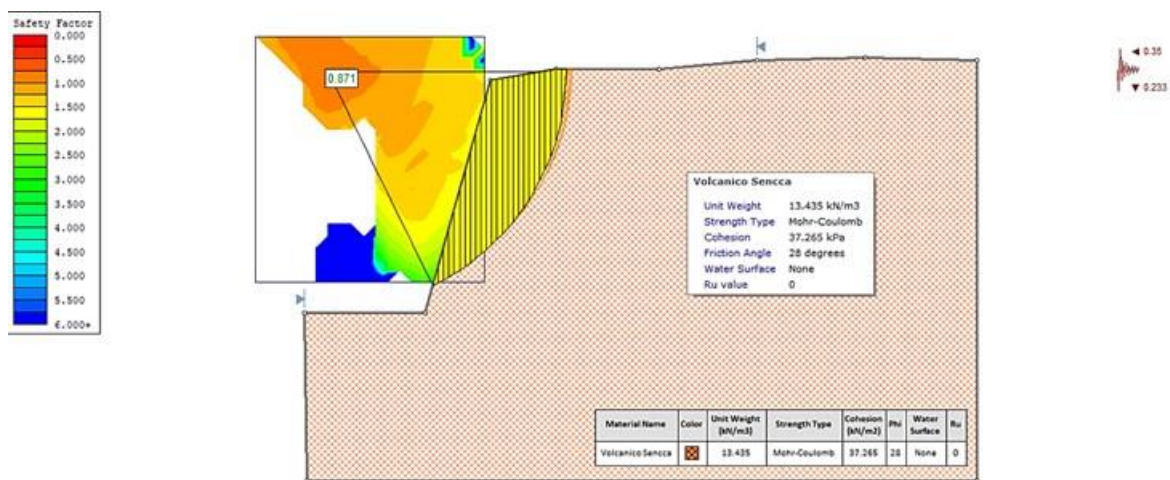


Figura 64. Simulación pseudoestática mediante el método Morgenstern- Price (CORTE DIRECTO)

Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 0.871

- FS: 0.871479.
- Centro: 322.131, 362.554.
- Radio: 19.765.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.825, 344.804.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 341.896, 362.554.

- Intersección de pendiente izquierda: 330.825 344.804.
- Intersección de pendiente derecha: 341.896 362.743.
- Momento resistente = 22906.3 kN-m.
- Momento impulsor= 26284.4 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 719.329 kN.
- Fuerza horizontal impulsora= 825.412 Kn.

Tabla 56.

Datos obtenidos de la simulación GLE/Morgenstern-Price con parámetros obtenidos por CORTE DIRECTO.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.442853	4.03808	V. Sencca	37.265	28	38.133	33.2321	-7.58474	0	-7.58474
2	0.442853	12.0719	V. Sencca	37.265	28	48.2515	42.0502	8.99968	0	8.99968
3	0.442853	20.0192	V. Sencca	37.265	28	57.7983	50.37	24.6469	0	24.6469
4	0.442853	27.8763	V. Sencca	37.265	28	66.7438	58.1658	39.3087	0	39.3087
5	0.442853	35.6389	V. Sencca	37.265	28	75.0676	65.4198	52.9514	0	52.9514
6	0.442853	43.3022	V. Sencca	37.265	28	82.7585	72.1223	65.5571	0	65.5571
7	0.442853	50.8607	V. Sencca	37.265	28	89.8152	78.2721	77.1231	0	77.1231
8	0.442853	58.3083	V. Sencca	37.265	28	96.245	83.8755	87.6616	0	87.6616
9	0.442853	65.6376	V. Sencca	37.265	28	102.062	88.9452	97.1963	0	97.1963
10	0.442853	72.8405	V. Sencca	37.265	28	107.287	93.4987	105.76	0	105.76
11	0.442853	79.6166	V. Sencca	37.265	28	111.643	97.2944	112.899	0	112.899
12	0.442853	80.0701	V. Sencca	37.265	28	109.273	95.2292	109.015	0	109.015
13	0.442853	77.8781	V. Sencca	37.265	28	104.31	90.9036	100.88	0	100.88
14	0.442853	75.5088	V. Sencca	37.265	28	99.3036	86.541	92.6748	0	92.6748
15	0.442853	72.9423	V. Sencca	37.265	28	94.2294	82.1189	84.3579	0	84.3579
16	0.442853	70.1537	V. Sencca	37.265	28	89.0468	77.6024	75.8637	0	75.8637
17	0.442853	67.1116	V. Sencca	37.265	28	83.7006	72.9433	67.1011	0	67.1011
18	0.442853	63.7749	V. Sencca	37.265	28	78.1165	68.0769	57.9488	0	57.9488
19	0.442853	60.0881	V. Sencca	37.265	28	72.1975	62.9186	48.2474	0	48.2474
20	0.442853	55.9734	V. Sencca	37.265	28	65.816	57.3573	37.788	0	37.788
21	0.442853	51.3147	V. Sencca	37.265	28	58.7991	51.2422	26.2874	0	26.2874
22	0.442853	45.9243	V. Sencca	37.265	28	50.8978	44.3564	13.3369	0	13.3369
23	0.442853	39.4566	V. Sencca	37.265	28	41.7062	36.3461	-1.72816	0	-1.72816
24	0.442853	30.9018	V. Sencca	37.265	28	30.2812	26.3894	-20.454	0	-20.454
25	0.442853	13.4989	V. Sencca	37.265	28	10.3686	9.036	-53.0912	0	-53.0912

Fuente: SLIDE V6.0

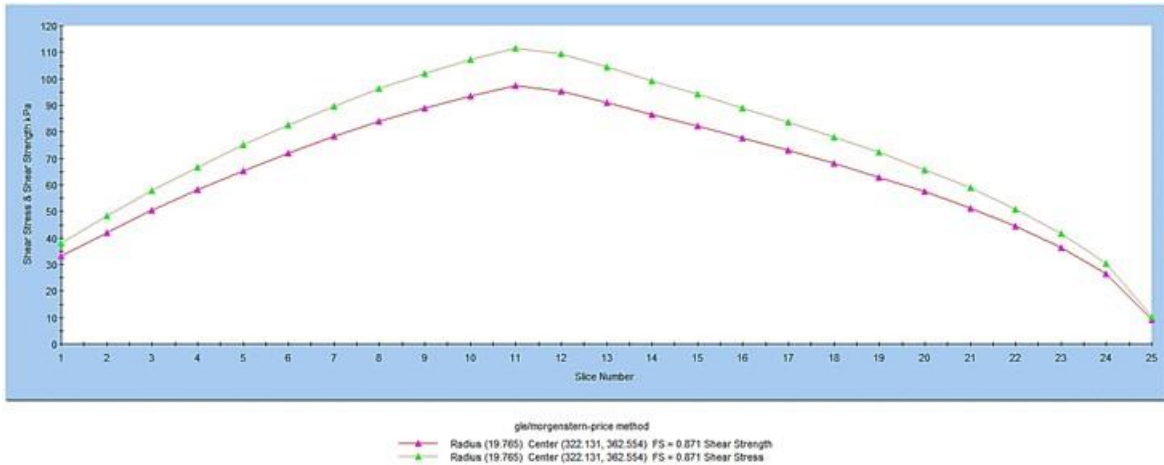


Gráfico 8. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela. (GLE/Morgenstern-Price / Corte Directo)

Fuente: SLIDE V6.0

b) Método Spencer análisis pseudoestático

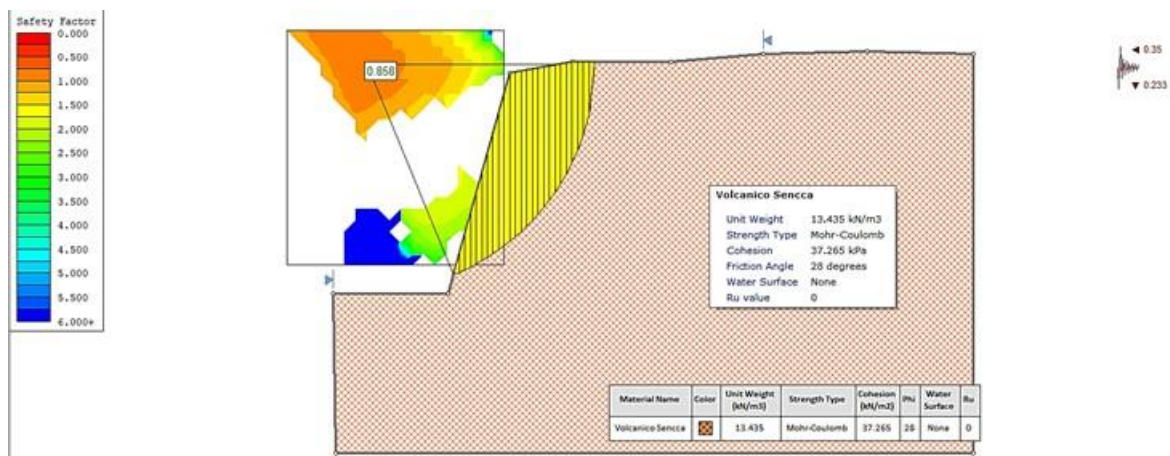


Figura 65. Simulación pseudoestática mediante el método Spencer (CORTE DIRECTO).

Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 0.858

- FS: 0.858219.
- Centro: 323.126, 362.554.
- Radio: 19.831.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.658, 344.209.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 342.957, 362.554.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.658 344.209.
- Intersección de pendiente derecha: 342.957 362.743.
- Momento resistente = 26381 kN-m.

- Momento impulsor=30739.2 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 880.909 kN.
- Fuerza horizontal impulsora=1026.44 Kn.

Tabla 57.

Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros obtenidos por CORTE DIRECTO.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.49195	5.1115	V. Sencca	37.265	28	38.7228	33.2326	-7.58381	0	-7.58381
2	0.49195	15.2817	V. Sencca	37.265	28	50.592	43.419	11.5741	0	11.5741
3	0.49195	25.3445	V. Sencca	37.265	28	61.9919	53.2026	29.9742	0	29.9742
4	0.49195	35.2953	V. Sencca	37.265	28	72.914	62.5762	47.6034	0	47.6034
5	0.49195	45.1295	V. Sencca	37.265	28	83.3475	71.5304	64.4439	0	64.4439
6	0.49195	54.8413	V. Sencca	37.265	28	93.279	80.0538	80.474	0	80.474
7	0.49195	64.4246	V. Sencca	37.265	28	102.692	88.1322	95.6674	0	95.6674
8	0.49195	73.8721	V. Sencca	37.265	28	111.566	95.7484	109.991	0	109.991
9	0.49195	83.1753	V. Sencca	37.265	28	119.878	102.882	123.407	0	123.407
10	0.49195	92.3247	V. Sencca	37.265	28	127.598	109.507	135.867	0	135.867
11	0.49195	95.9106	V. Sencca	37.265	28	128.93	110.65	138.018	0	138.018
12	0.49195	93.6722	V. Sencca	37.265	28	123.911	106.343	129.917	0	129.917
13	0.49195	91.2388	V. Sencca	37.265	28	118.658	101.834	121.437	0	121.437
14	0.49195	88.5918	V. Sencca	37.265	28	113.148	97.1059	112.544	0	112.544
15	0.49195	85.7079	V. Sencca	37.265	28	107.355	92.1341	103.194	0	103.194
16	0.49195	82.558	V. Sencca	37.265	28	101.245	86.8904	93.3319	0	93.3319
17	0.49195	79.105	V. Sencca	37.265	28	94.7759	81.3385	82.8902	0	82.8902
18	0.49195	75.3005	V. Sencca	37.265	28	87.8931	75.4315	71.7807	0	71.7807
19	0.49195	71.0794	V. Sencca	37.265	28	80.524	69.1072	59.8865	0	59.8865
20	0.49195	66.3502	V. Sencca	37.265	28	72.5677	62.279	47.0445	0	47.0445
21	0.49195	60.9763	V. Sencca	37.265	28	63.8765	54.82	33.0162	0	33.0162
22	0.49195	54.5134	V. Sencca	37.265	28	54.0553	46.3913	17.164	0	17.164
23	0.49195	46.4416	V. Sencca	37.265	28	42.6543	36.6067	-1.23804	0	-1.23804
24	0.49195	36.1395	V. Sencca	37.265	28	29.0019	24.89	-23.2741	0	-23.2741
25	0.49195	15.7531	V. Sencca	37.265	28	5.29049	4.5404	-61.5461	0	-61.5461

Fuente: SLIDE V6.0

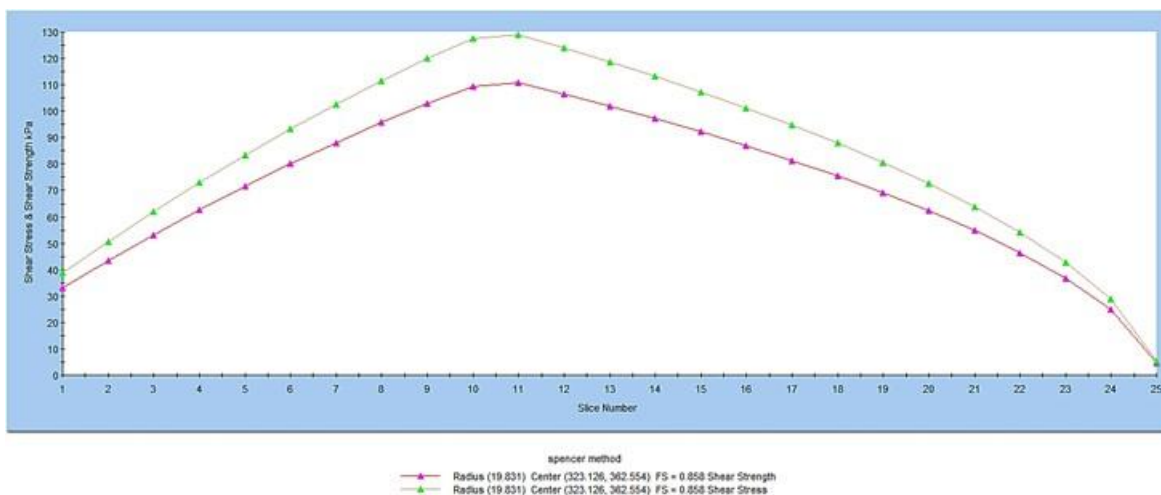


Gráfico 9. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela.
(Spencer / Corte Directo)

Fuente: SLIDE V6.0

- SIMULACIONES REALIZADAS CON LA COHESIÓN Y ANGULO DE FRICCIÓN OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO- NO CONSOLIDADO.

Tabla 58.

Densidad Natural obtenida en laboratorio

Densidad natural	g / cm ³	1.37	kN/m ³	13.435
Humedad		1.6%		
Densidad natural seca	g / cm ³	1.35	kN/m ³	13.238

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59.

Parámetros del suelo obtenidos en laboratorio

Cohesión	0.749	Kg / cm ²	kN/m ²	73.42
Angulo de fricción	29.96	°	°	29.96

Fuente: Elaboración propia.

a) Método GLE/Morgenstern-Price análisis pseudoestático

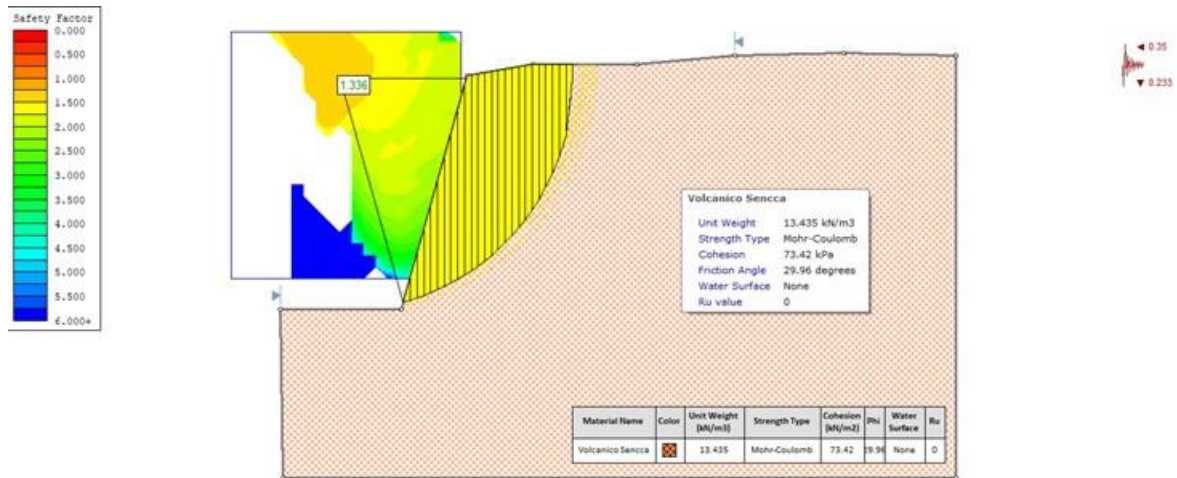


Figura 66. Simulación pseudoestática mediante el método GLE/Morgenstern-Price (COMPRESIÓN TRIAXIAL).

Fuente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.336

- FS: 1.336200.
- Centro: 325.115, 361.584.
- Radio: 19.192.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.353, 343.121.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 344.307, 361.584.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.353 343.121.
- Intersección de pendiente derecha: 344.307 362.743.
- Momento resistente = 48494.1 kN-m.
- Momento impulsor= 36292.5 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 1719.53 kN.
- Fuerza horizontal impulsora= 1286.88 Kn.

Tabla 60.

Datos obtenidos de la simulación GLE/Morgenstern-Price con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.55813	6.84341	V. Sencca	73.42	29.96	54.4219	72.7186	-1.21683	0	-1.21683
2	0.55813	20.46	V. Sencca	73.42	29.96	65.0787	86.9581	23.4865	0	23.4865
3	0.55813	33.9338	V. Sencca	73.42	29.96	75.3212	100.644	47.2298	0	47.2298
4	0.55813	47.2601	V. Sencca	73.42	29.96	85.1444	113.77	70.0011	0	70.0011
5	0.55813	60.4336	V. Sencca	73.42	29.96	94.5411	126.326	91.7835	0	91.7835
6	0.55813	73.4479	V. Sencca	73.42	29.96	103.501	138.298	112.554	0	112.554
7	0.55813	86.2958	V. Sencca	73.42	29.96	112.012	149.671	132.283	0	132.283
8	0.55813	98.969	V. Sencca	73.42	29.96	120.058	160.422	150.935	0	150.935
9	0.55813	111.458	V. Sencca	73.42	29.96	127.619	170.525	168.463	0	168.463
10	0.55813	120.935	V. Sencca	73.42	29.96	132.582	177.156	179.966	0	179.966
11	0.55813	119.778	V. Sencca	73.42	29.96	129.472	173.001	172.757	0	172.757
12	0.55813	117.421	V. Sencca	73.42	29.96	125.44	167.613	163.41	0	163.41
13	0.55813	114.82	V. Sencca	73.42	29.96	121.191	161.935	153.56	0	153.56
14	0.55813	111.953	V. Sencca	73.42	29.96	116.703	155.939	143.157	0	143.157
15	0.55813	108.792	V. Sencca	73.42	29.96	111.95	149.587	132.138	0	132.138
16	0.55813	105.302	V. Sencca	73.42	29.96	106.896	142.834	120.423	0	120.423
17	0.55813	101.439	V. Sencca	73.42	29.96	101.498	135.622	107.911	0	107.911
18	0.55813	97.145	V. Sencca	73.42	29.96	95.7009	127.876	94.4719	0	94.4719
19	0.55813	92.3426	V. Sencca	73.42	29.96	89.4263	119.491	79.9268	0	79.9268
20	0.55813	86.6617	V. Sencca	73.42	29.96	82.4177	110.126	63.6801	0	63.6801
21	0.55813	79.7422	V. Sencca	73.42	29.96	74.4291	99.4521	45.1616	0	45.1616
22	0.55813	71.7702	V. Sencca	73.42	29.96	65.4781	87.4918	24.2124	0	24.2124
23	0.55813	62.2698	V. Sencca	73.42	29.96	55.1052	73.6315	0.366995	0	0.366995
24	0.55813	50.1025	V. Sencca	73.42	29.96	42.2066	56.3964	-29.5334	0	-29.5334
25	0.55813	25.9207	V. Sencca	73.42	29.96	17.5048	23.3899	-86.7946	0	-86.7946

Fuente: SLIDE V6.0

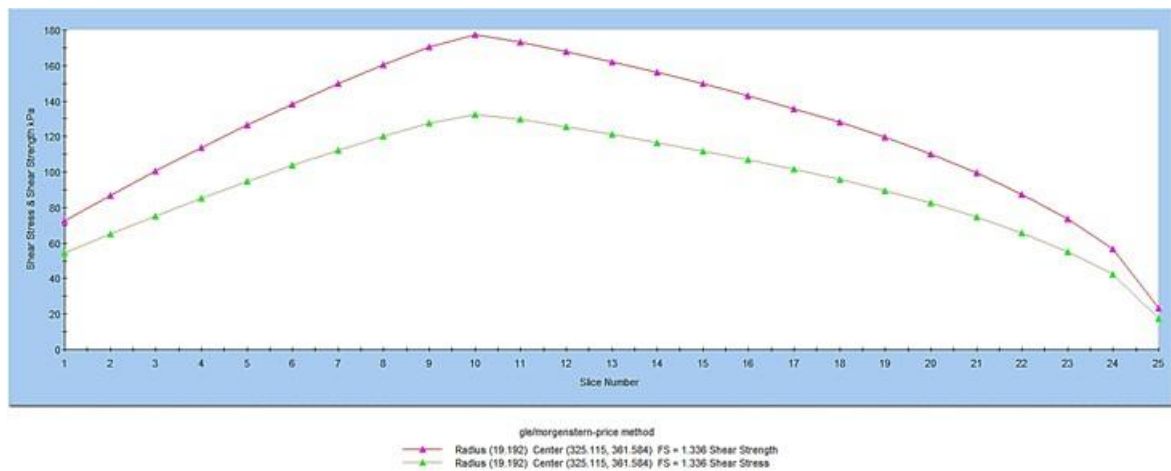


Gráfico 10. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela (GLE/Morgenstern-Price / Compresión Triaxial UU).

Fuente: SLIDE V6.0

b) Método Spencer análisis pseudoestático

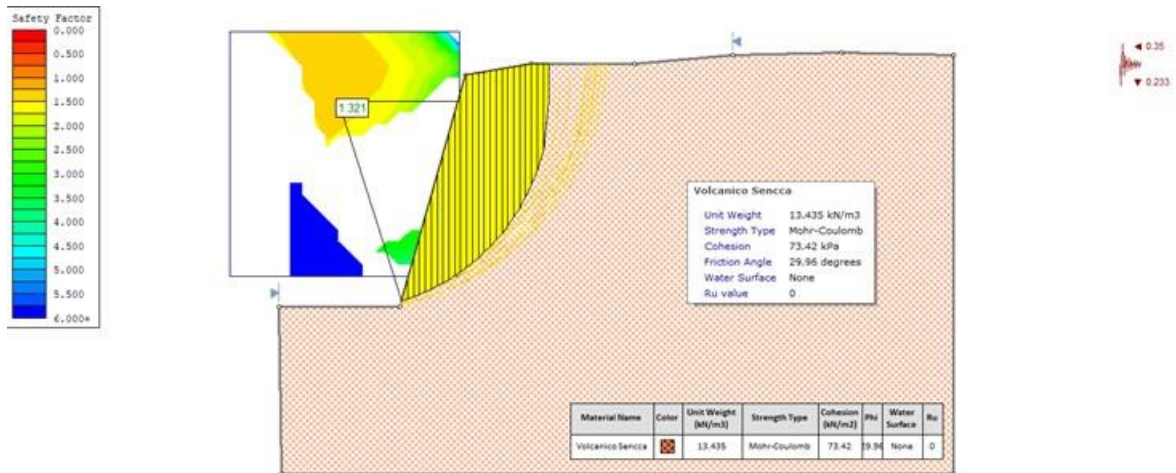


Figura 67. Simulación pseudoestática mediante el método Spencer (COMPRESIÓN TRIAXIAL).
F0075ente: SLIDE V6.0

OBTENIENDO UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.321

- FS: 1.321050.
- Centro: 325.115, 359.642.
- Radio: 17.386.
- Extremo de superficie de deslizamiento izquierdo: 330.336, 343.058.
- Extremo de superficie de deslizamiento derecho: 342.501, 359.642.
- Intersección de pendiente izquierda: 330.336 343.058.
- Intersección de pendiente derecha: 342.501 362.743.
- Momento resistente = 38032.2 kN-m.
- Momento impulsor= 28789.5 kN-m.
- Fuerza horizontal resistente = 1465.21 kN.
- Fuerza horizontal impulsora= 1109.13 Kn.

Tabla 61.

Datos obtenidos de la simulación Spencer con parámetros obtenidos por COMPRESIÓN TRIAXIAL.

Nro. de Rebanada	Ancho (m)	Peso (kN)	Material Base	Cohesión Base	Angulo de Fricción	Esfuerzo Cortante	Resistencia al Corte	Tensión normal básica	Presión de Poros	Esfuerzo Normal Efectivo
1	0.486596	5.15247	V. Sencca	73.42	29.96	51.7154	68.3186	-8.85012	0	-8.85012
2	0.486596	15.4046	V. Sencca	73.42	29.96	61.0522	80.653	12.548	0	12.548
3	0.486596	25.5493	V. Sencca	73.42	29.96	70.0786	92.5774	33.2553	0	33.2553
4	0.486596	35.5827	V. Sencca	73.42	29.96	78.7877	104.083	53.1946	0	53.1946
5	0.486596	45.5007	V. Sencca	73.42	29.96	87.17	115.156	72.4053	0	72.4053
6	0.486596	55.2983	V. Sencca	73.42	29.96	95.2143	125.783	90.8414	0	90.8414
7	0.486596	64.9698	V. Sencca	73.42	29.96	102.907	135.945	108.472	0	108.472
8	0.486596	74.5086	V. Sencca	73.42	29.96	110.231	145.621	125.258	0	125.258
9	0.486596	83.9073	V. Sencca	73.42	29.96	117.168	154.785	141.155	0	141.155
10	0.486596	93.1569	V. Sencca	73.42	29.96	123.692	163.404	156.108	0	156.108
11	0.486596	101.995	V. Sencca	73.42	29.96	129.554	171.148	169.542	0	169.542
12	0.486596	103.428	V. Sencca	73.42	29.96	128.686	170.001	167.554	0	167.554
13	0.486596	101.355	V. Sencca	73.42	29.96	124.673	164.699	158.355	0	158.355
14	0.486596	99.0783	V. Sencca	73.42	29.96	120.403	159.059	148.57	0	148.57
15	0.486596	96.576	V. Sencca	73.42	29.96	115.847	153.039	138.127	0	138.127
16	0.486596	93.8214	V. Sencca	73.42	29.96	110.962	146.587	126.933	0	126.933
17	0.486596	90.7803	V. Sencca	73.42	29.96	105.699	139.633	114.87	0	114.87
18	0.486596	87.4081	V. Sencca	73.42	29.96	99.9877	132.089	101.781	0	101.781
19	0.486596	83.6446	V. Sencca	73.42	29.96	93.7352	123.829	87.4517	0	87.4517
20	0.486596	79.4051	V. Sencca	73.42	29.96	86.8067	114.676	71.5727	0	71.5727
21	0.486596	74.5636	V. Sencca	73.42	29.96	78.9967	104.359	53.6737	0	53.6737
22	0.486596	68.9162	V. Sencca	73.42	29.96	69.9636	92.4254	32.9715	0	32.9715
23	0.486596	61.8144	V. Sencca	73.42	29.96	58.8941	77.8021	7.60224	0	7.60224
24	0.486596	52.3713	V. Sencca	73.42	29.96	44.2556	58.4639	-25.9466	0	-25.9466
25	0.486596	33.6245	V. Sencca	73.42	29.96	12.8733	17.0063	-97.8692	0	-97.8692

Fuente: SLIDE V6.0

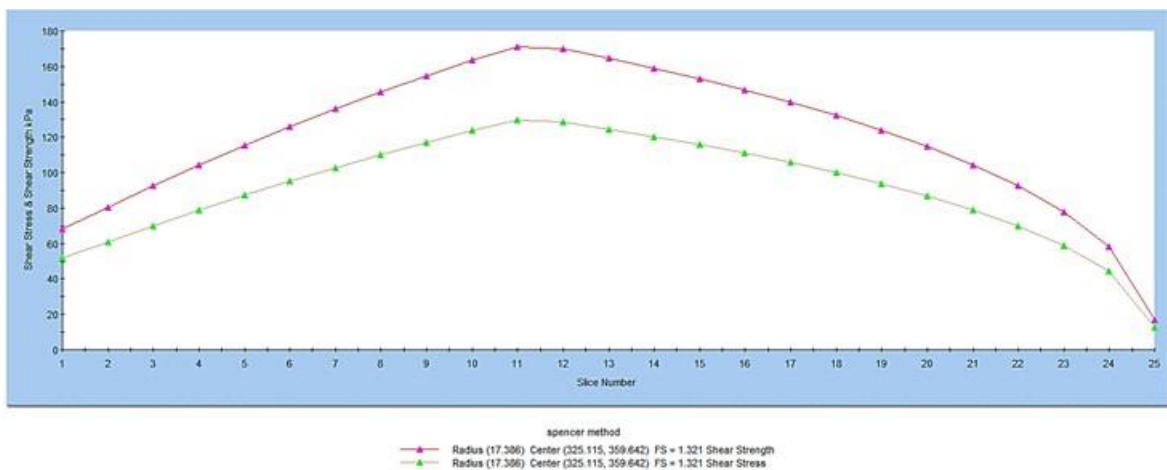


Gráfico 11. Gráfico de Esfuerzo de corte y Esfuerzo resistente al corte vs No de Dovela (Spencer Compresión Triaxial UU)

Fuente: SLIDE V6.0

Tabla 62.*Resumen de factores de seguridad en análisis estático y pseudoestático*

PARÁMETROS	MÉTODO DE SIMULACIÓN	FACTORES DE SEGURIDAD	
		Análisis Estático	Análisis Pseudoestático
CORTE DIRECTO	GLE/Morgenstern-Price	1.185	0.871
	Spencer	1.176	0.858
COMPRESIÓN	GLE/Morgenstern-Price	1.961	1.336
TRIAXIAL UU	Spencer	1.916	1.321

Fuente: Elaboración Propia

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El talud ubicado entre las progresivas 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 perteneciente al tramo 5 de la carretera interoceánica, en función de los estudios pertinentes ya expuestos, presenta una geometría con una inclinación considerable de 74 ° y una altura vertical de pie a cabeza de talud de 19.2589 m., dadas estas condiciones geométricas, y por la clasificación en el sistema SUCS de la ignimbrita, se determina que es una arena-limosa, puesto que dicho material no es referente de una alta cohesión. Debido a las condiciones expuestas anteriormente, se realizaron ensayos para determinar los parámetros de resistencia del suelo. Los cuales determinaron una cohesión de 0.7486 kg/cm² y un ángulo de fricción interna de 29.96°. En concordancia con, Hernández Guevara, 2004, en su estudio: “Características geomecánicas y vulcanológicas de las tefras tierra blanca joven, caldera de Ilopango, El Salvador”; donde se encontró taludes con inclinaciones superiores a 85.00° y una distancia horizontal de pie a cabeza de 60 m., los cuales están compuestos por ignimbritas; cuyos ensayos realizados para determinar los parámetros de resistencia, se obtuvo, una cohesión de 1.001 kg/cm² y un ángulo de fricción interna de 28.24°. En tal sentido, se demuestra, la influencia de las características físico mecánicas que aportan los materiales compuestos por ignimbritas en su estado inalterado, a la estabilidad de taludes (Hernández, 2004).

En cuanto a los ensayos empleados para determinar los parámetros de resistencia de suelo del talud, se evidenció que, el ensayo de corte directo tiene desventajas frente al ensayo compresión triaxial. En concordancia con, Mendoza Loayza (2016), en la tesis: “Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina antapaccay”, donde indica que las muestras para el ensayo de corte directo son pequeñas y poco representativas, el área de la muestra no es constante durante la aplicación de la fuerza lateral. Por este motivo, los valores de esfuerzos obtenidos no serían los verdaderos y el mecanismo de falla es progresivo, por lo que las zonas extremas de la muestra trabajan a un esfuerzo distinto al centro de espécimen. Sin embargo, Mendoza Loayza (2016),

considera en sus análisis de estabilidad de talud, los parámetros obtenidos mediante el ensayo de corte directo argumentando su practicidad, rapidez para la obtención de resultados y el costo hacen que este método sea el más empleado en el rubro, para hallar los parámetros que determinen la estabilidad de un talud, Esto difiere totalmente de los datos obtenidos en esta investigación, puesto que, los valores de cohesión que se determinaron mediante el ensayo de corte directo fueron 0.38 kg/cm², en contraste con los valores de cohesión obtenidos en el ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado que fueron de 0.7486 kg/cm², evidenciando una diferencia sustancial de un 49.24 % con respecto a la cohesión obtenida en el ensayo de corte directo. Determinando un margen error significativo al momento de calcular el factor de seguridad del talud (Hernández, 2004).

Las partículas encontradas en el estrato constituido por Volcánico Sencca están principalmente conformadas por vidrio volcánico, poseen formas muy particulares llamadas trizas o esquirlas vítreas (glass shard), cuyas formas son angulares, alargadas, muy irregulares y arqueadas, las formas geométricas provienen únicamente de los cristales que son escasos. Estas partículas cuando se entremezclan con fragmentos de variados tamaños pómez vesicular, cenizas tamaño arena, limo y arcilla y hasta partículas coloidales de sílice, todas se entrelazan y se amarran entre sí manteniéndose unidas, constituyendo lo que se denomina microfábrica. Debido a esto la densidad natural de la muestra inalterada obtenida del talud, fue de 1.37 gr/cm³ en contraste con la densidad máxima obtenida en el laboratorio mediante la técnica del pistón de Marshall, fue de 1.248 gr/cm³, esto debido a la alteración de los factores naturales de la ignimbrita en concordancia con los factores de la investigación de Hernández Guevara (2004), en su estudio: “Características geomecánicas y vulcanológicas de las tefras tierra blanca joven, caldera de Ilopango, El Salvador”, en la que se indica que en la microfábrica, están relacionadas la distribución granulométrica, la forma de los granos, orientación, presencia de cemento o no y su empaquetadura. La empaquetadura de casi todos los suelos compuestos por ignimbritas no es compacta, característica que se refleja en la porosidad alta y densidad del suelo relativamente baja lo cual genera que sean fácilmente erosionables. La microfábrica está relacionada con una aparente cohesión que presentan los materiales piroclásticos y eso se refirieron Guzmán y Melara (1996), quienes la relacionaron con la considerable verticalidad que presentan los taludes conformados por ignimbritas. Esto nos conlleva a la conclusión de que los materiales volcánicos conformados en condiciones de temperaturas extremas, adquieren características físico mecánicas especiales, las cuales pierden al ser alteradas (Hernández, 2004).

CONCLUSIONES

- 1) En cuanto al modelamiento y simulación mediante el software SLIDE V. 6.0, para verificar la estabilidad del talud y si el ángulo de reposo sea el adecuado, se realizaron estudios previos imprescindibles, siendo estos, la realización del perfil topográfico del talud, y ensayos de laboratorio determinando:

Tabla 63.

Parámetros empleados en la simulación de estabilidad final

PARÁMETROS	RESULTADOS
DENSIDAD NATURAL	1.37 g/cm ³
COHESIÓN	0.749 kg/cm ²
ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	29.96°

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente al modelamiento, se emplearon los métodos Morgenstern - Price y Spencer, los cuales se caracterizan por su precisión y su rigurosidad, obteniendo los siguientes factores de seguridad:

Tabla 64.

Factores de Seguridad Finales Admitidos del Estudio

PARÁMETROS	MÉTODO DE SIMULACIÓN	FACTORES DE SEGURIDAD	
		Análisis Estático	Análisis Pseudoestático
COMPRESIÓN	GLE/Morgenstern-Price	1.961	1.336
TRIAxIAL UU	Spencer	1.916	1.321

Fuente: Elaboración Propia

Los cuales superan el factor de seguridad mínimo de 1.5, establecido para solicitaciones estáticas y de 1.25 para solicitaciones pseudoestáticas en la norma peruana CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes.

Por lo tanto, se concluye que el talud compuesto por puzolana ubicado entre las progresivas del km 57+110 al km 57+200 de la vía PE – 34 que une las regiones de Arequipa y Puno, tiene una condición **ESTABLE** y el ángulo de reposo está dentro de los límites establecidos mediante el

método de equilibrio límite. **Por lo tanto, es FALSA la hipótesis general, al margen de la geometría del mismo, en cuanto a su altura de 19.2589 y ángulo de inclinación de 74°.**

- 2) En cuanto a la evaluación de la condición actual de estabilidad del talud ubicado entre la 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 perteneciente al tramo 5 de la carretera interoceánica que une las regiones de Arequipa y Puno compuesto de puzolana, en relación con los parámetros de ángulo de fricción interna y cohesión obtenidos en los ensayos de Compresión Triaxial UU (No consolidado- No drenado), son semejantes para mantener el ángulo de reposo actual del talud. Sin embargo, al realizar el ensayo de Corte Directo, determinamos variaciones significativas en el parámetro de cohesión, hasta de un 49.24 %. **Por lo tanto, se concluye que la hipótesis específica 1 es VERDADERA**, debido a que los resultados obtenidos en el ensayo de compresión triaxial por sus características de confinamiento del espécimen, brindan resultados más rigurosos de los parámetros de resistencia como la cohesión y el ángulo de fricción interna, los cuales, reflejaron que el ángulo de reposo en el cual se encuentra el talud en estado natural es semejante a los parámetros obtenidos en laboratorio para mantener una condición **ESTABLE**.
- 3) En cuanto a la influencia del material puzolánico de la formación volcánico sencca en la estabilidad del talud, para mantener el ángulo de reposo natural del mismo ubicado entre la 57+110 a la 57+200 de la vía PE – 34 perteneciente al tramo 5 de la carretera interoceánica que une las regiones de Arequipa y Puno, mediante estudios mineralógicos y petrográficos realizados microscópicamente, se determinó la existencia de una microfábrica, que se generó de manera natural en el momento en que se depositaron los flujos piroclásticos, esta microfábrica es conformada por vidrio volcánico, cuyas formas son angulares, alargadas, muy irregulares y arqueadas. Estas partículas cuando se entremezclan con fragmentos de variados tamaños pómez vesicular, cenizas tamaño arena, limo y arcilla y hasta partículas coloidales de sílice, todas se entrelazan y se amarran entre sí manteniéndose unidas. **Por lo tanto, se concluye que la hipótesis específica 2 es VERDADERA**. Puesto que, las características físico mecánicas del material puzolánico, en su estado natural, influye en la estabilidad del talud y el ángulo de reposo en el que se encuentra el mismo, por la vitrificación que caracteriza al material puzolánico en su estado inalterado.
- 4) Con relación a la hipótesis específica 3, en la cual se afirma que estabilidad del talud compuesto por puzolana cumple con el factor de seguridad determinado por el método de equilibrio límite, supera el factor mínimo estipulado en la norma peruana CE.020, para solicitaciones estáticas de 1.5 y pseudoestáticas de 1.25, **se concluye que la hipótesis específica 3 es VERDADERA**.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que, todos los equipos que se empleen, para el modelamiento de la sección del talud como para los ensayos de laboratorio se encuentren calibrados, con el fin de que los resultados sean más confiables, logrando así resultados con precisión, todo esto con la finalidad de poder determinar de forma confiable la condición de estabilidad del talud y si es necesario plantear soluciones integrales en temas de estabilidad.

Se recomienda que, para determinar los parámetros de resistencia del suelo, que se emplean para el análisis de estabilidad de taludes, se opte por el ensayo de compresión triaxial en sus diferentes tipos como son consolidado y drenado, consolidado no drenado y no drenado no consolidado. Puesto que el ensayo comúnmente empleado para determinar los parámetros de resistencia es el de corte directo el cual demostró resultados hasta en un 49.24 % debajo de los determinados mediante el ensayo de compresión triaxial, debido a que el espécimen es más representativo y se simulan condiciones confinadas. Por lo tanto, según los datos recolectados del ensayo de corte directo, el talud se encontraría en un estado inestable y se necesitaría poner en marcha un método de estabilización de taludes, implicando una inversión económica innecesaria.

Se recomienda que, si se desea usar el software SLIDE v 6.0 para realizar un análisis de estabilidad de taludes, se deba tener conocimiento básico de mecánica de suelos, cómo los parámetros de resistencia del suelo como el ángulo de fricción, grado de cohesión y peso específico, así mismo para interpretar los factores de seguridad determinados por el SLIDE v 6.0 sean los que en realidad se presenta en campo.

Se recomienda que, para estudios posteriores, se tomen en cuenta las propiedades físico mecánicas de los suelos en estado natural (inalterados), puesto que podrían determinar un diseño o estudio más eficiente tanto económica como cronológicamente, debido a que estas propiedades se pierden una vez el suelo se ve alterado y ya no se pueden volver a adquirir de manera artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKÇELIK, R. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis. Research Report ARR, 1981. 123 pp.
- ALVARADO, A, y CORNEJO, A. Estabilización de taludes en la Costa verde - Callao Tramo Av. Santa Rosa - Jr Viru. (1.3 km). Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad San Martín de Porres, 2014. 175 pp. [fecha de consulta 03 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/1047?locale-attribute=es>.
- ALVA, J. Análisis de estabilidad de taludes. Ciencia y Tecnología-Facultad de Ingeniería Civil. 1994. 62 pp. Disponible en: https://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo02_a.pdf
- ASTM D 422-63. Método de prueba estándar para el análisis del tamaño de partículas de suelo. 2011
- ASTM D – 422. Método de prueba estándar para las características de dispersión de suelos arcillosos con un hidrómetro doble", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011.
- ASTM D – 854. Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante picnómetro de agua ", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011.
- ASTM D 2216. "Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa", astm.org.
- ASTM International, n.d. Web. suelos", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011. 2002.
- ASTM D – 2850. "Método de prueba estándar para la prueba de compresión triaxial no consolidada-no drenada en suelos cohesivos", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011.
- ASTM D 2487 -83 Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos) ", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011.
- ASTM D 4318. Métodos de prueba estándar para Límite Líquido, Límite Plástico y Plasticidad Índice de Suelos, astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011.
- ASTM D 4253. (2011). Métodos de prueba estándar para densidad de índice máxima y peso unitario de suelos usando una mesa vibratoria", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio.
- ASTM D 3080-98. "Método de prueba de Corte Directo de Suelos en Condiciones Drenada Consolidada", astm.org. ASTM International, n.d. Web. 05 de julio 2011.
- BRAJA DAS, M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: 4ta Ed. Cengage Learning Editores. 2013
- CASTILLO, A. Análisis del efecto de la cohesión aparente en el cálculo de estabilidad de taludes. Tesis (Título de Ingeniero Civil). San Pedro: Universidad de Costa Rica, 2010. 162 pp. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2385653>
- CASTRO et all. Método de la estabilidad después del sismo. 1985
- CCANTO, G. Metodología de la investigación científica en ingeniería civil - ingeniería de transportes. s.l.: 3ra. Ed. 2010

- CE.020. Estabilización de suelos y taludes. Lima. s.n. 2019
- CORNFORTH, D. Landslides in practice. Investigation, Analysis and Remedial/Preventive Options in Soil. 14-15: J. Wiley, Hoboken, N.J. 2005
- CRESPO, C. Mecánica de suelos y cimentaciones. México: LIMUSA. ISBN: 968-18-6489-1.
- DUNCAN J. & WRIGHT, S. Soil strength and slope stability. John Wiley & Sons Inc. 2005. 312 pp.
- FELLENIUS, Bengt Full-Scale Testing and Foundation Design: Honoring Bengt H. Fellenius. s.l.: Full-Scale Testing and Foundation Design: Honoring Bengt H. Fellenius. 2012. 239-256.
- HERNANDEZ, R; FERNANDEZ, C; BAPTISTA, M. Metodología de la investigación. 6ta. Ed. México: McGraw-hill / Interamericana Editores, S.A. 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- HERNÁNDEZ, E. Características geomecánicas y vulcanológicas de las tefras tierra blanca joven, caldera de Ilopango, El salvador''. San Salvador, El Salvador: Universidad Politécnica de El Salvador. 2004. 137 pp.
- HOUSTON et all. Análisis Sísmico. 1987
- INSTITUTO Geológico y Minero de España. Manual de taludes. Madrid: Ed. EPTISA. 1986
- LUQUE, X, MOLINA, M. Utilización de Elementos Finitos y Análisis Numérico para la Obtención de los Factores de Seguridad en el Talud de Siguan (Entre Km. 920 – Km. 921), Distrito de Majes-Caylloma y Distrito San Juan de Siguan-Arequipa, Arequipa. Tesis (Título de Ingeniería Civil). Arequipa: Universidad Católica de Santa María. 2018. 262 pp. [fecha de consulta 01 de septiembre de 2021] Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8412>
- MARTÍNEZ. Métodos de análisis de límite de equilibrio. 2010.
- MENDOZA, J. Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016. 78 pp. Disponible en_ <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7614>
- MINISTERIO de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.030. Diseño sismorresistente 2018
- MTC. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de ensayos de materiales. Lima, 2016.
- NEWMARK. Método del desplazamiento o de las deformaciones. 1965
- NORMA E.050, Suelos y Cimentaciones. Norma Técnica Peruana. Lima. 2015
- NTP 339.127, Norma Técnica Peruana. Contenido de humedad. Lima. 2006
- NTP 339.128, Norma Técnica Peruana. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico. Lima: Indecopi. 2006
- NTP 339.129, Norma Técnica Peruana. Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos. Lima: Indecopi. 2006
- PREVOST, J. A simple plasticity theory for frictional cohesionless soils. International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 1985. 4(1). 9-17. ISSN 0261-7277

- ROMERO, D. y GALVIZ, W. Viabilidad de la implementación de fajas para la estabilización de taludes en Colombia periodo I. año 2015. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogota: Universidad Católica de Colombia, 2015. 74 pp. [fecha de consulta 03 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/2555>
- SKEMPTON. First-time slides in over-consolidated clays. *Geotechnique*. 1970, Vol 20. 3. 320-324,
- SPENCER, E. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*, 1967. 11-26: s.n.
- SUÁREZ, J. Análisis Geotécnico. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2000. Vol. 1. ISBN: 958-33- 2734-4.
- SUÁREZ, J. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander. 2006.
- SUÁREZ, J. Técnicas de remediación. Tomo II. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander. 2000
- STEAD, D., Y OTROS. Mechanism of failure of complex landslides: A Numerical Modelling Perspective. s.l.: Cardiff: International symposium on landslides. 2000
- VARGAS V, LUIS. (1970). “Geología del cuadrángulo de Arequipa” Boletín N° 24. Lima Perú: Servicio de Geología y Minería // Ministerio de energía y minas del Perú. 79 pp.

ANEXOS

ANEXO 1: REGISTRO TOPOGRÁFICO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.

ANEXO 2: SECCIÓN TOPOGRÁFICA DEL TALUD

ANEXO 3: SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL TALUD

ANEXO 4: REGISTRO TOPOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

ANEXO 5: CERTIFICADOS REALIZADOS EN LABORATORIO

ANEXO 1:
REGISTRO TOPOGRÁFICO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y
RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.



Figura 68. Levantamiento topográfico.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 69. Recolección de muestras representativas.
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2:
SECCIÓN TOPOGRÁFICA DEL TALUD

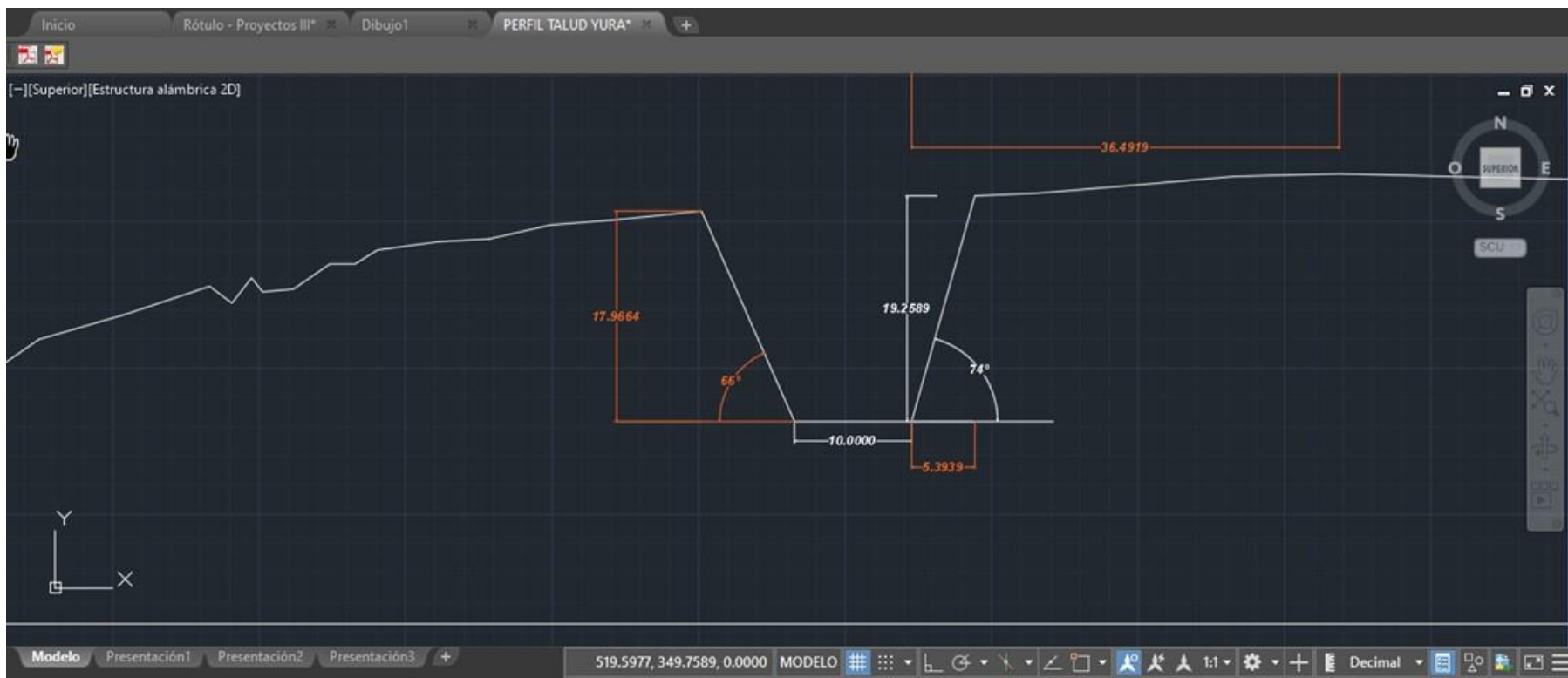


Figura 70. Perfil topográfico acotado del talud.
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 3:
SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL TALUD

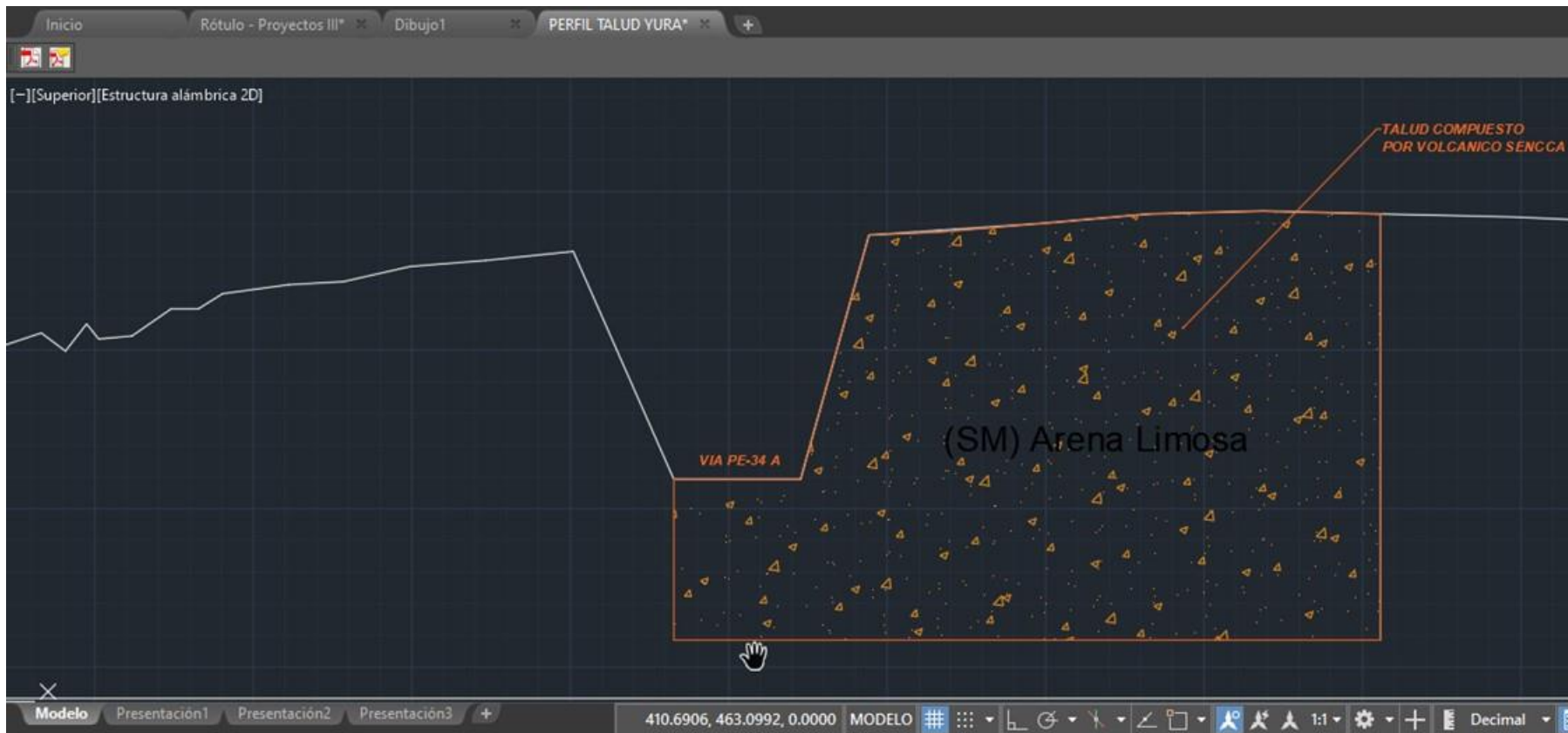


Figura 71. Perfil estratigráfico de la sección analizada.
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4:
REGISTRO TOPOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO



Figura 72. Recepción de muestras representativas en laboratorio.
Fuente: Elaboración Propia

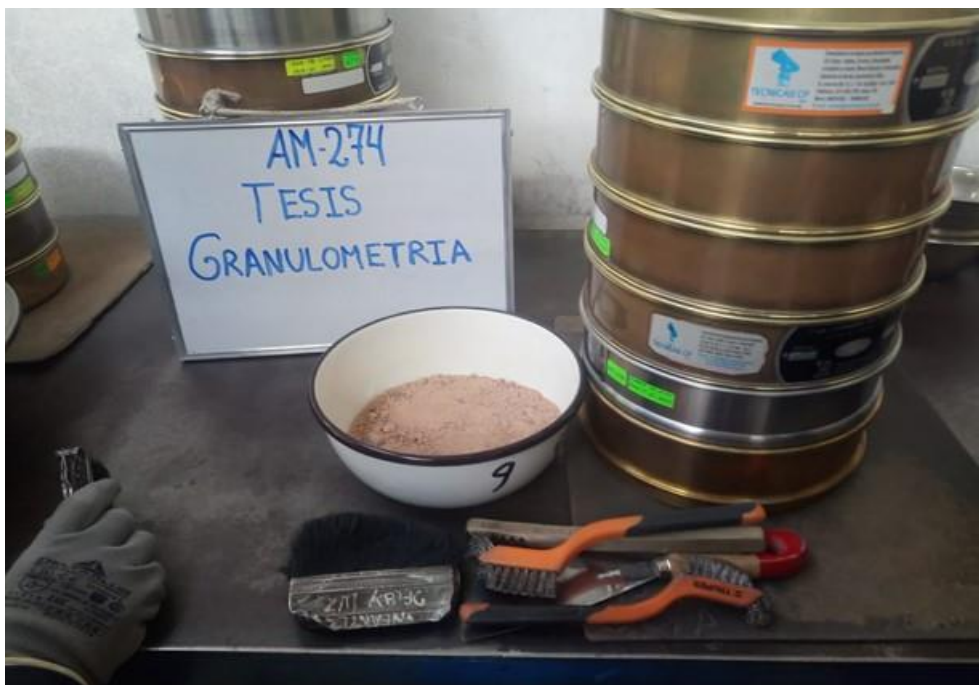


Figura 73. Herramientas y utensilios empleados en el tamizado.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 74. Tamizado manual para determinar la granulometría.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 75. Equipos para determinar la densidad máxima y mínima.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 76. Equipos para determinar los límites de consistencia del suelo.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 77. Equipos para determinar el límite líquido del suelo.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 78. Método del picnómetro para determinar la gravedad específica.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 79. Utensilios para determinar la gravedad específica del suelo.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 80. Utensilios y materiales para determinar la granulometría por sedimentación.
Fuente: Elaboración Propia

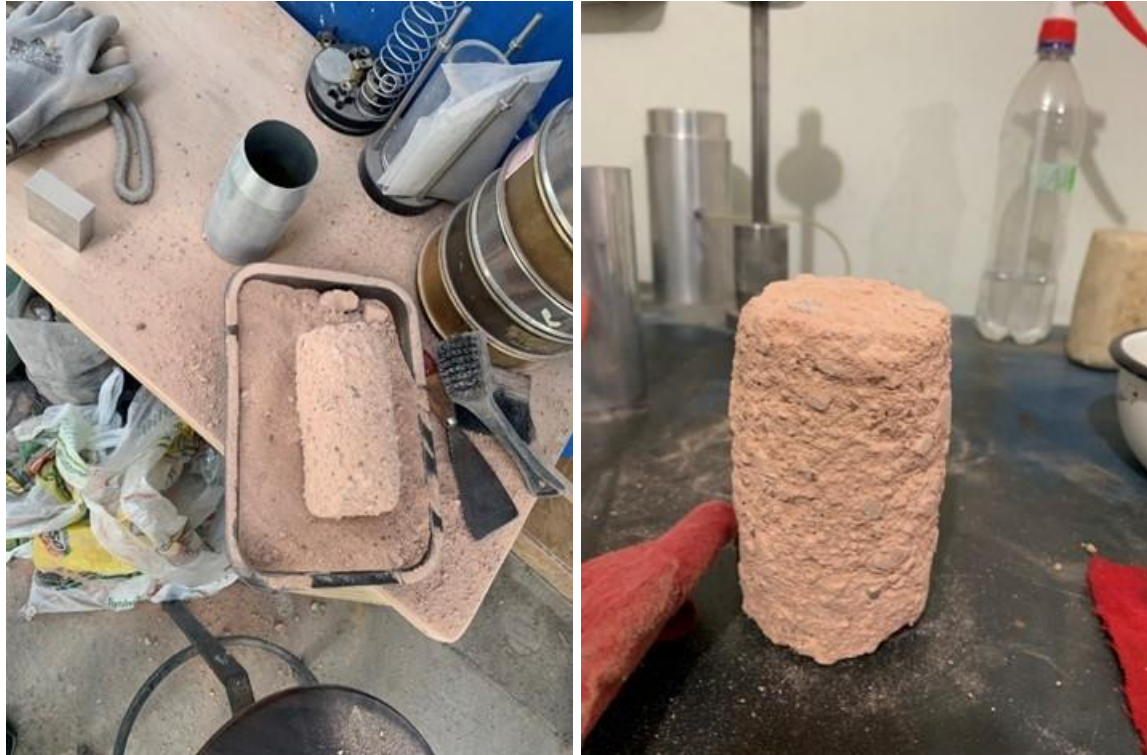


Figura 81. Tallado de especímenes cilíndricos para el ensayo de compresión triaxial.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 82. Colocación de piedras porosas e impermeabilización del espécimen.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 83. Introducción de la muestra impermeable en la cámara triaxial.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 84. Fijado de la cámara triaxial en equipo de compresión.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 85. Aplicación de cargas laterales y axiales reguladas.
Fuente: Elaboración Propia

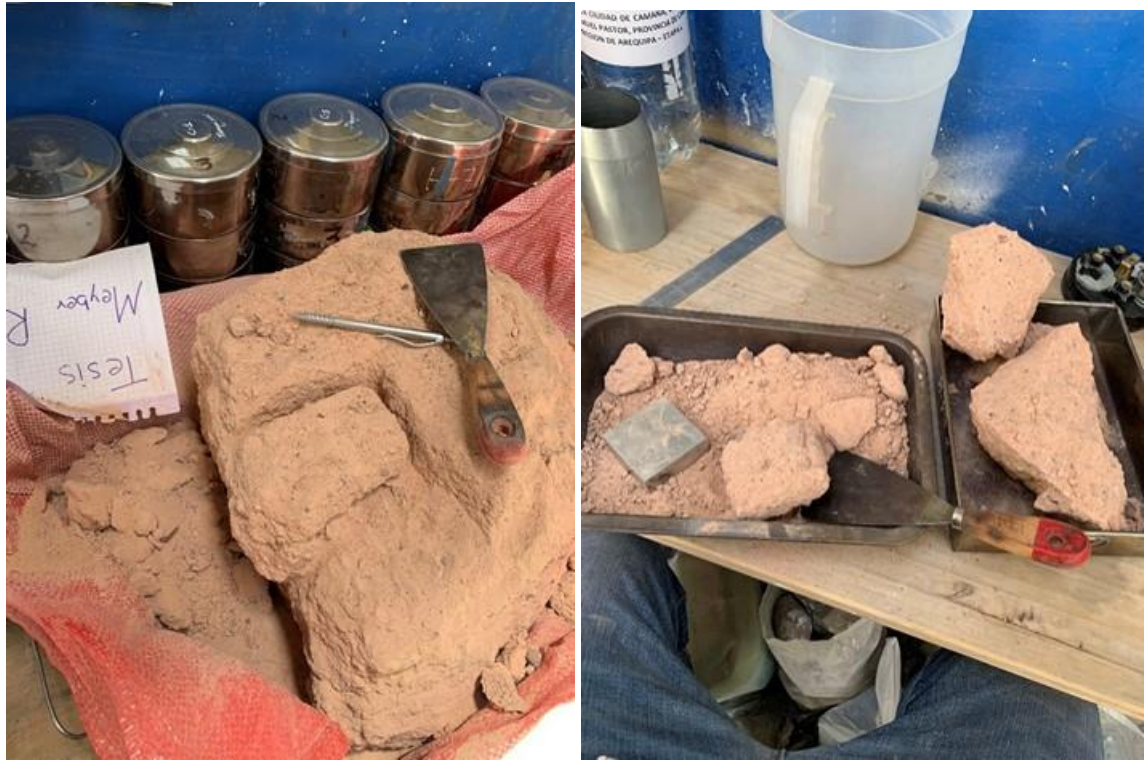


Figura 86. Tallado de especímenes cúbicos para ensayo de crote directo.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 87. Tallado de especímenes con herramientas manuales.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 88. Colocado de especímenes cúbicos en equipo de corte directo.
Fuente: Elaboración Propia

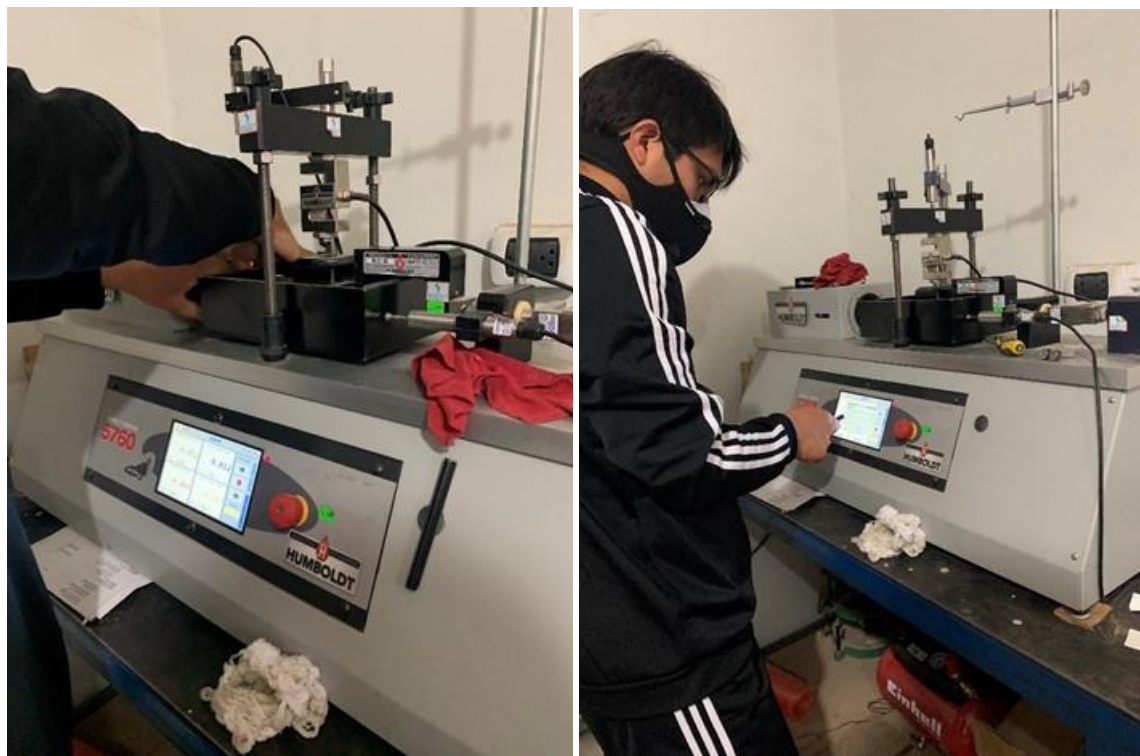


Figura 89. Aplicación de cargas axiales y posteriormente laterales.
Fuente: Elaboración Propia

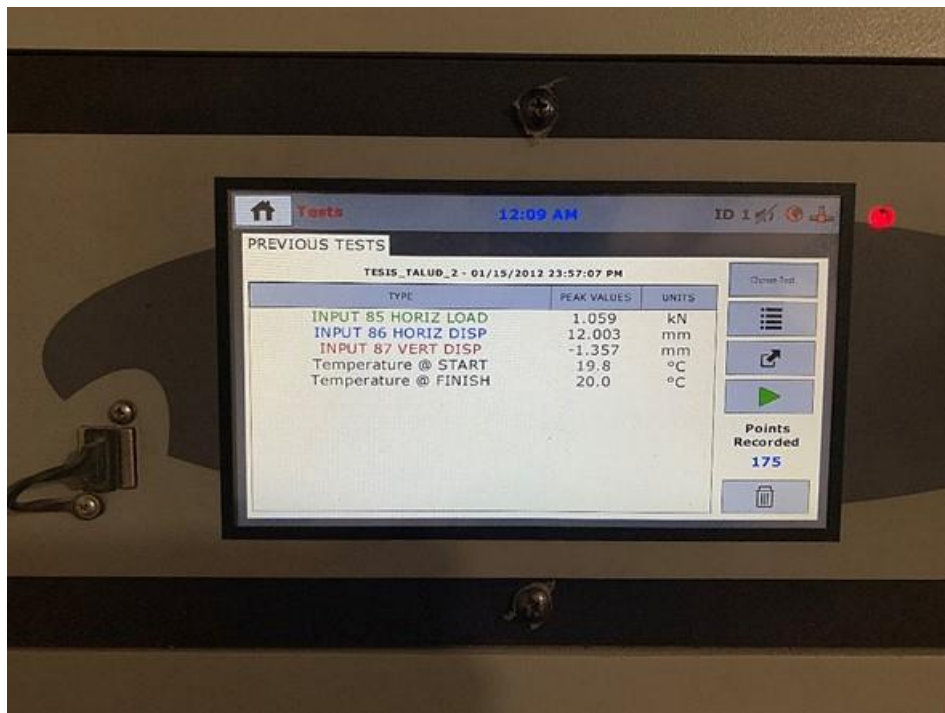


Figura 90. Registro de cargas y temperatura en la realización del ensayo.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 91. Preparación de muestras y utensilios empleados para determinar la densidad natural.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 92. Vertido y sumergido de muestras inalteradas.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 93. Sellado de envase con tapa cónica con abertura superficial.
Fuente: Elaboración Propia




Figura 94. Pesaje y enraizado de envase conteniendo la muestra.
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5:

CERTIFICADOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

- Certificado de Granulometría por Tamizado



ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

INFORME DE ENSAYO
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

CODIGO DE INFORME
AM 274.1

Página : 1 de 1
F. Emisión : 2021/10/26

ASTM D422 - 63(2002) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA(*) : MAURICIO ROMERO

DIRECCIÓN(*): AREQUIPA - AREQUIPA

Procedencia(*): MATERIAL DE TALUD

Profundidad(*): -

Datos adicionales(*): -

F. RECEPCIÓN: 2021/10/19

F. EJECUCIÓN: 2021/10/22

ENSAYADO EN: Laboratorio RCF S.R.L.

Tipo de Material: Suelo

Condición Inicial: Alterada

CÓDIGO - MUESTRA: AM 274 M1

Granulometría por Tamizado ASTM D422 - 63(2002) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Clasificación SUCS ASTM D 2487 - 00 Classification of Soils for Engineering Purposes (SUCS)

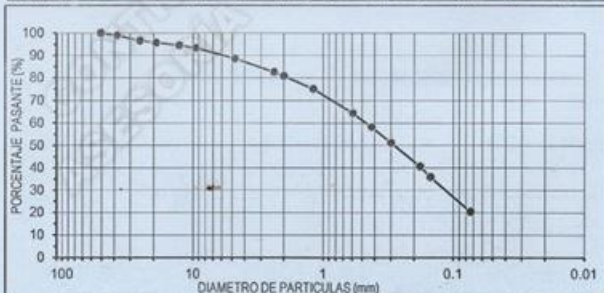
TAMIZ	Diámetro (mm)	Wret+T (g)	W RET. (g)	% Wret	% Total Retenido	% Total Pasante
5"	127.00					
4"	101.60					
3 1/2"	88.90					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80			0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	171.0	75.0	1.1	1.1	98.9
1"	25.40	254.0	158.0	2.3	3.3	96.7
3/4"	19.10	161.0	65.0	0.9	4.3	95.7
1/2"	12.70	182.0	86.0	1.2	5.5	94.5
3/8"	9.52	161.0	85.0	1.2	6.7	93.3
Nº4	4.760	429.0	333.0	4.8	11.5	88.5
Nº8	2.380	67.1	37.6	5.9	17.5	82.5
Nº10	2.000	40.7	11.2	1.8	19.2	80.8
Nº16	1.190	65.9	36.4	5.7	25.0	75.0
Nº30	0.590	96.7	67.2	10.6	35.6	64.4
Nº40	0.425	68.6	39.1	6.2	41.7	58.3
Nº60	0.300	73.8	44.3	7.0	48.7	51.3
Nº80	0.180	96.6	67.1	10.6	59.3	40.7
Nº100	0.150	59.5	30.0	4.7	64.0	36.0
Nº200	0.074	128.1	98.6	15.6	79.6	20.4
Fondo		158.8	129.3	20.4	100.0	0.0

FRACCIONES	
GRAVA	12%
ARENA	68%
FINOS	20%

COEFICIENTES	
Cu	-
Cc	-


CONSISTENCIA	
L LIQUIDO	-
L PLASTICO	-
I PLASTICIDAD	-

CLASIFICACION	
SUCS	-
AASHTO	-



(*) Información brindada por el solicitante.

OBSERVACIONES: -




ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876

Nº 047938

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

- Certificado de Densidades Máxima y Mínima



ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

INFORME DE ENSAYO

DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA

MTC E 203 - 2000

CÓDIGO DE INFORME

AM 274-2.1

Página: 1^o de 1

F. Emisión: 26/10/2021

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PÚZOLANA UBICADO ENTRE LASPROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

PROCEDENCIA(*): MATERIAL DE TALUD **PROF(*):** -

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO

DIRECCIÓN(*): AREQUIPA - AREQUIPA

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO

MUESTRA: Suelo

F. RECEPCIÓN: 19/10/2021

F. EJECUCIÓN: 22/10/2021

ENSAYADO EN: Laboratorio RCF S.R.L.

(*) Información brindada por el solicitante.

DENSIDAD MÁXIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3	4
Peso de Molde + Muestra g.	8993	9001		
Peso del Molde g.	6338.3	6338.3		
Peso de la Muestra g.	2654.7	2662.7		
Volumen del Molde cm ³	2130.6	2130.6		
Densidad g./cm ³	1.248	1.250		


Densidad Máxima: 1.248 g./cm³

DENSIDAD MÍNIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3	4
Peso de Molde + Muestra g.	8469	8479		
Peso del Molde g.	6338.3	6338.3		
Peso de la Muestra g.	2130.7	2140.7		
Volumen del Molde cm ³	2130.6	2130.6		
Densidad g./cm ³	1.000	1.005		

Densidad Mínima: 1.002 g./cm³

OBSERVACIONES: -




ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP: 55675

Nº 047939

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar N° 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

- Certificado de límites de Atterberg



ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

INFORME DE ENSAYO
LIMITES DE ATTERBERG

CODIGO DE INFORME
AM 274.3.1
Página: 1 de 1
F. Emisión: 2021/10/26

ASTM D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LASPROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO.

UBICACIÓN(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO

DIRECCIÓN(*): AREQUIPA - AREQUIPA

Procedencia (*): MATERIAL DE TALUD

Datos adicionales(*): -

Datos de muestreo(*): -

F. RECEPCIÓN: 2021/10/19

F. EJECUCIÓN: 2021/10/22

ENSAYADO EN: Laboratorio RCF S.R.L.

CÓDIGO - MUESTRA: AM 274 M1

CONDICIÓN INICIAL: Muestra Alterada


MUESTRA(*): Suelo

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

DESCRIPCION	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Peso del suelo húmedo + cápsula	g.	-	-	-	-
Peso del suelo seco + cápsula	g.	-	-	-	-
Peso de la cápsula	g.	-	-	-	-
Peso del suelo seco	g.	-	-	-	-
Peso del agua	g.	-	-	-	-
Contenido de humedad	%	-	-	-	-
Número de golpes, N		-	-	-	-

LIMITE PLASTICO

DESCRIPCION	g.
Peso de Muestra + Muestra	390
Peso de Muestra	5336
Peso de Muestra	2554
Peso de Muestra	2526




CUADRO DE RESULTADOS

Limite liquido (LL)	(%)	NP
Limite plástico (LP)	(%)	No Plástico
Indice de plasticidad (IP)	(%)	-
Línea A		-

NP: No pudo determinarse

(*) Información brindada por el Solicitante

Observaciones:




ROBERTO B. CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876

Nº 047940

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar N° 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

- Certificado de Gravedad Específica



RCF SRL
ASESORÍA Y CONSULTORÍA EN OBRAS CIVILES

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

INFORME DE ENSAYO
GRAVEDAD ESPECÍFICA

CÓDIGO DE INFORME:
AM 274.4.1

ASTM D854 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

Página: 1 de 1
F. Emisión: 2021/10/30

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPLEJTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO

DIRECCIÓN(*): AREQUIPA - AREQUIPA

CANTERA(*): MATERIAL DE TALUD

Datos Adicionales(*): -

Datos de Muestreo: Muestra proporcionada por el Cliente.

RECEPCIÓN: 2021/10/19

EJECUCIÓN: 2021/10/28

MUESTRA(*): Suelo

CODIGO - M: AM 274 M1


CONDICIÓN: Muestra Alterada

DESCRIPCIÓN	Unidades	GRAVEDAD ESPECÍFICA	
		1	2
Temperatura de ensayo	°C	24.6	24.5
Volumen del picnómetro a T1 (ml):	ml	458.5	498.6
Método de remoción de aire:		Ebullición	Ebullición
Masa del frasco volumétrico Mf:	g	201.60	162.8
Masa del picnómetro + agua = Ma(a Tx)	g	699.44	660.4
Temperatura de calibración	°C	21	20
Masa del frasco + agua + peso del suelo = Mb	g	870.6	830.8
Masa del suelo seco (Mo)	g	301.5	301.2
k(corrección de temperatura)		0.9988	0.9988
Peso específico (Tx/Tx * C)		2.31	2.30

Peso Especifico (Tx/ 20°C)	2.30
-----------------------------------	-------------

(*) Información brindada por el solicitante

Observaciones:




ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876

Nº 037586

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

• Certificado de Análisis Granulométrico por Sedimentación



ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
POR SEDIMENTACIÓN
NORMA ASTM D422

CODIGO DE INFORME
AM 274.5.1

Página: 1 de 1
F. Emisión: 30/10/2021

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO **F. SOLICITUD:** 19/10/2021

DIRECCIÓN(*): AREQUIPA - AREQUIPA **F. EJECUCIÓN:** 29/10/2021

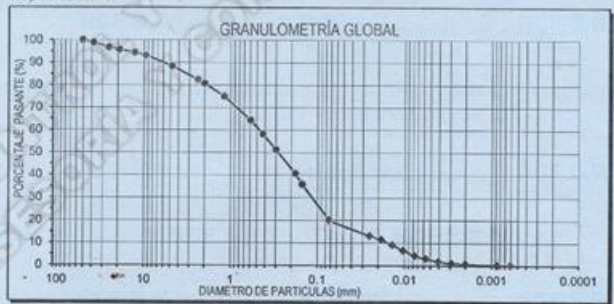
CANTERA(*): MATERIAL DE TALUD **MUESTRA(*):** SUELO

PROFUNDIDAD(*): - **ENSAYADO EN:** Laboratorio RCF S.R.L

Hidrómetro:	152H	Corrección por Defloculante:	6.00
Agente Dispersivo:	NaPO ₃	Corrección por peso específico(a):	1.10
Peso muestra seca(g):	65	Corrección por menisco:	0.50
P. Específico (Gs):	2.3		


Tiempo (min)	Temperatura °C	Corrección por temperatura	Viscosidad	Lectura Real del Hidrómetro Ra	Lectura Corregida del Hidrómetro Rc	Pl (%)	Hidrómetro corregido por menisco R	L (cm)	Lt (cm/min)	K	Diámetro (mm)	Gradación Global
0.0						100.00					0.0750	20.00
1.0	20.00	0.00	0.01005	45.00	39.00	66.10	45.50	8.90	8.90	0.0084	0.0252	13.22
2.0	20.10	0.02	0.01003	40.00	34.02	57.66	40.90	9.70	4.85	0.0084	0.0186	11.53
4.0	20.10	0.02	0.01003	33.00	27.02	45.79	33.50	10.90	2.73	0.0084	0.0139	9.16
6.0	20.10	0.02	0.01003	26.00	20.02	33.93	26.50	12.20	1.53	0.0084	0.0104	6.79
16.0	20.10	0.02	0.01003	19.00	13.02	22.07	19.50	13.20	0.83	0.0084	0.0077	4.41
30.0	20.30	0.06	0.00998	15.00	9.06	15.35	15.50	13.80	0.46	0.0084	0.0057	3.07
60.0	20.50	0.10	0.00993	11.50	5.60	9.49	12.00	14.30	0.24	0.0083	0.0041	1.90
120.0	21.30	0.26	0.00974	9.00	3.26	5.52	9.50	14.80	0.12	0.0082	0.0029	1.10
240.0	22.30	0.49	0.00951	8.00	2.49	4.22	8.50	15.00	0.06	0.0080	0.0020	0.54
1440.0	20.30	0.06	0.00998	7.00	1.06	1.80	7.50	15.20	0.01	0.0084	0.0009	0.36
2880.0	20.30	0.06	0.00998	7.00	1.06	1.80	7.50	15.20	0.01	0.0084	0.0006	0.36

(*) Información brindada por el solicitante



GRANULOMETRÍA GLOBAL

OBSERVACIONES: -




ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP: 50876

Nº 037587

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L. El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados. Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

- Certificado de Compresión Triaxial UU



ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORIA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

Rev.02/02-18

CÓDIGO DE INFORME
AM 274.6.1

F.Emisión: 2021/11/02
Total de Pgs: 02

INFORME DE ENSAYO
TRIAxIAL UU

ASTM D2850: Standard Test Method for Unconsolidated- Undrained Triaxial Compression Test

PROYECTO : ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LASPROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN: VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA : MAURICIO ROMERO **F. RECEPCIÓN:** 2021/10/19


DIRECCIÓN: AREQUIPA - AREQUIPA **F. EJECUCIÓN:** 2021/10/30

MUESTRA(*): MATERIAL INALTERADO / PUZOLANA **Tipo de Material:** Suelo

Profundidad: - **Condición Inicial:** Alterada

σ_3 (kPa)	150	200	-
$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	553	652.8	-
σ_1 (kPa)	703	852.8	-
e (%)	4.03	3.73	-
C kPa	73.42	0.75	-
ϕ^*	29.96	29.96	-

Respect to total stress		$\sigma_3 =$	150	200	-
C kPa	73.42	$\sigma_1 - \sigma_3 =$	553	652.8	-
ϕ^*	29.96	$\sigma_1 =$	703	852.8	-
Test Speed (mm/min)	0.5	e (%)=	4.03	3.73	-



	s_3 kPa	F Newton	e	A cm ²	$s_1 - s_3$ kPa	$(s_1 - s_3)_{\text{horiz}}$ kPa	$(s_1 - s_3)$ kPa	s_1 kPa
1.Lateral Pressure kPa	150	1999	0.0403	3611	553.4	0.4	553	703
2.Lateral Pressure kPa	200	2493	0.0373	3817	653.2	0.4	652.8	852.8
3.Lateral Pressure kPa								

Length Shrinkage e %	$s_3=150$				$s_3=200$			
	Area A/(1-DL/L) mm ²	F Newton	$s_1 - s_3$ kPa		Length Shrinkage e %	Area A/(1-DL/L) mm ²	F Newton	$s_1 - s_3$ kPa
0.0	3465.8	5.0	1.4		0.0	3674.4	0.0	0.0
0.1	3470.8	131.0	37.7		0.0	3676.0	293.0	79.7
0.3	3476.4	141.0	40.6		0.1	3679.1	392.0	106.5
0.4	3480.6	159.0	45.7		0.2	3681.6	404.0	109.7
0.5	3484.3	197.0	56.5		0.3	3684.3	413.0	112.1
0.6	3487.6	250.0	74.5		0.3	3687.1	416.0	112.8
0.7	3491.6	359.0	102.8		0.4	3690.0	420.0	113.8
0.8	3495.3	477.0	136.5		0.5	3693.3	433.0	117.2
1.0	3499.7	639.0	182.6		0.6	3696.9	437.0	118.2
1.0	3500.2	654.0	186.8		0.6	3697.9	438.0	118.4
1.1	3504.9	813.0	232.0		0.7	3701.8	449.0	121.3
1.1	3505.7	829.0	236.5		0.8	3702.3	450.0	121.5
1.3	3512.2	992.0	282.4		0.9	3706.6	457.0	123.3

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

Nº 037604

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 55374

INFORME DE ENSAYO
TRIAXIAL UU

CÓDIGO DE INFORME
AM 274.6.1

F. Emisión: 2021/11/02

Total de Pgs: 02

ASTM D2850: Standard Test Method for Unconsolidated- Undrained Triaxial Compression Test

PROYECTO : ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LASPROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN: VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA : MAURICIO ROMERO

F. RECEPCIÓN: 2021/10/19

DIRECCIÓN: AREQUIPA - AREQUIPA

F. EJECUCIÓN: 2021/10/30

MUESTRA(*): MATERIAL INALTERADO / PUZOLANA

Tipo de Material: Suelo

Profundidad: Condición Inicial: Alterada

1.5	3517.7	1187.0	337.4	1.0	3710.1	473.0	127.5
1.6	3522.0	1284.0	364.6	1.1	3713.5	495.0	133.3
1.8	3528.0	1368.0	387.8	1.2	3717.7	543.0	146.1
1.9	3533.6	1427.0	403.8	1.3	3721.5	613.0	164.7
2.1	3540.0	1485.0	419.5	1.4	3725.1	738.0	198.1
2.3	3545.9	1530.0	431.5	1.5	3730.0	899.0	241.0
2.4	3551.8	1590.0	447.7	1.6	3733.6	1006.0	269.4
2.4	3552.3	1595.0	448.9	1.6	3734.0	1022.0	273.7
2.6	3558.0	1648.0	463.5	1.7	3738.0	1165.0	311.7
2.7	3562.4	1691.0	474.7	1.8	3740.6	1277.0	341.4
2.9	3568.1	1719.0	481.8	1.8	3742.9	1430.0	382.1
3.1	3575.1	1766.0	494.0	1.9	3747.2	1580.0	421.7
3.2	3579.2	1815.0	507.1	2.0	3749.7	1679.0	447.8
3.4	3586.2	1873.0	522.3	2.1	3753.8	1799.0	479.2
3.5	3592.0	1912.0	532.3	2.2	3757.0	1906.0	507.3
3.6	3597.0	1924.0	534.9	2.3	3761.8	1994.0	530.1
3.7	3600.4	1948.0	541.1	2.4	3765.6	2088.0	554.5
3.8	3603.2	1963.0	544.8	2.5	3769.8	2197.0	582.8
3.9	3606.6	1977.0	548.2	2.6	3773.9	2288.0	606.3
4.0	3609.4	1988.0	550.8	2.8	3778.4	2321.0	614.3
4.1	3612.8	1990.0	550.8	2.9	3783.5	2384.0	630.1
4.1	3615.6	1998.0	552.6	3.0	3787.6	2428.0	641.0
4.2	3619.0	1993.0	550.7	3.1	3792.2	2451.0	646.3
4.3	3622.3	1985.0	548.0	3.2	3797.0	2467.0	649.7
4.4	3625.5	1988.0	548.3	3.3	3801.5	2469.0	649.5
4.5	3628.3	1992.0	549.0	3.4	3805.5	2477.0	650.9
4.6	3631.8	1990.0	547.9	3.6	3810.8	2483.0	651.6
4.7	3635.2	1987.0	546.6	3.7	3815.1	2487.0	651.9
4.7	3638.5	1991.0	547.2	3.8	3819.5	2478.0	648.8
4.8	3641.5	1989.0	546.2	3.9	3822.5	2462.0	644.1
4.9	3645.2	1988.0	545.4	4.0	3827.7	2464.0	643.7
5.0	3648.0	1981.0	543.0	4.1	3831.6	2454.0	640.5
5.1	3651.0	1983.0	543.1	4.2	3836.3	2441.0	636.3
5.2	3654.7	1989.0	544.2	4.3	3840.4	2431.0	633.0
5.3	3658.7	1991.0	544.2	4.4	3844.6	2429.0	631.8
5.4	3662.0	1978.0	540.1	4.5	3849.4	2422.0	629.2
5.4	3665.6	1975.0	538.8	4.6	3853.2	2434.0	631.7
5.5	3668.4	1983.0	540.6	4.8	3857.8	2439.0	632.2
5.6	3669.9	1979.0	539.2	4.9	3861.9	2445.0	633.1
5.6	3672.3	1974.0	537.5	5.0	3866.9	2461.0	636.4
5.7	3674.0	1972.0	536.7	5.1	3871.8	2470.0	638.0
5.7	3675.3	1977.0	537.9	5.2	3876.8	2474.0	638.2
5.8	3677.4	1982.0	539.0	5.4	3882.3	2480.0	638.8
5.8	3679.5	1987.0	540.0	5.5	3886.7	2483.0	638.9
5.9	3681.3	1988.0	540.0	5.6	3891.5	2473.0	635.5
5.9	3682.9	1989.0	540.1	5.7	3896.1	2481.0	636.8
5.9	3684.0	1991.0	540.4	5.8	3902.0	2481.0	635.8
6.0	3686.4	1996.0	541.5	5.9	3905.9	2484.0	636.0
6.0	3687.6	1994.0	540.7	6.1	3911.2	2480.0	634.1

	σ_3 kPa	F Newton	e	A cm ²	$\sigma_1 - \sigma_3$ kPa	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{mte}}$ kPa	$(\sigma_1 - \sigma_3)$ kPa	σ_1 kPa
1. Lateral Pressure kPa	150	1999	0.0403	3611	553.4	0.4	553	703
2. Lateral Pressure kPa	200	2493	0.0373	3817	653.2	0.4	652.8	852.8
3. Lateral Pressure kPa	-	-	-	-	-	-	-	-


ROBERTO CACERES FLORES
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 59876

Nº 037605

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
 El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
 Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
 Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

- Certificado de ensayo de Corte Directo



RCF SRL
ASESORÍA Y CONSULTORÍA EN OBRAS CIVILES

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE CORTE DIRECTO
Norma ASTM D-3080 / NPT 339.171

CODIGO DE INFORME

AM 274.7.1

Página: 1 de 1
F. Emisión: 6/11/2021

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACIÓN(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO

DIRECCIÓN(*): AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA(*): MATERIAL INALTERADO / PUZOLANA

Datos Adicionales(*) : -

SONDEO: -

F. RECEPCIÓN: 2/11/2021

F. EJECUCIÓN: 4/11/2021

ENSAYADO EN: Laboratorio RCF S.R.L.

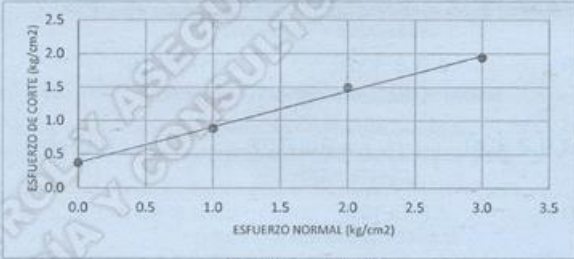
CÓDIGO - M: AM 274 M2

Muestra: Suelo

Condición Inicial: M. Alterada

Tipo de Dispositivo: Residual

ESFUERZO NORMAL		ESFUERZO CORTE	
CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm ²)	ESFUERZO (kgf/cm ²)	CARGA (kgf)
36.0	1.00	0.88	31.71
72.0	2.00	1.49	53.64
108.0	3.00	1.94	69.95




PENDIENTE 0.531161473

RESULTADOS		
Cohesión:	0.38	kg/cm ²
Ángulo de fricción:	28.0	°
Humedad(*):	-	%
Densidad(*):	-	g/m ³

(*) Información brindada por el Solicitante.

OBSERVACIONES: -




ROBERTO B. CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 59876

Nº 037851

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

- Certificado de Densidad Natural



RCF SRL
ASESORÍA Y CONSULTORÍA EN OBRAS CIVILES

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
ASESORÍA, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

CODIGO DE CERTIFICADO
AM 274.8

INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE DENSIDAD NATURAL
METODO DE LA PARAFINA

Emisión: 9/11/2021

PROYECTO(*): ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD COMPUESTO DE PUZOLANA UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 57+110 A LA 57+200 DE LA VIA PE-34 ENTRE LAS REGIONES DE AREQUIPA Y PUNO

UBICACION(*): VIA PE-34 AREQUIPA - PUNO

SOLICITA(*): MAURICIO ROMERO

DIRECCION(*): AREQUIPA - AREQUIPA

Procedencia (*): MATERIAL DE TALUD

Dato Adicional(*): -

Muestreo: Muestra proporcionada por el Cliente.

F.RECEPCION: 19/10/2021

F.EJECUCION: 9/11/2021

Tipo de Material: Suelo

Condición Inicial: Alterada

Ensayado en: Laboratorio RCF SRL

DENSIDAD NATURAL

ITEM	DESCRIPCION		1
1	Peso de muestra natural	(g)	269.50
2	Peso de muestra + parafina	(g)	278.10
3	Peso de parafina	(g)	8.60
4	Densidad de parafina	(g/cm ³)	0.88
5	Volumen de parafina	(cm ³)	9.83
6	Peso de picnometro + agua	(g)	1454.70
7	Peso de picn.+agua+muestra+paraf.	(g)	1526.80
8	Volumen de muestra+parafina	(cm ³)	206.00
9	Volumen de muestra	(cm ³)	196.17
10	Densidad natural	(g/cm ³)	1.37
11	Contenido de humedad	%	0.02
12	Densidad seca	(g/cm ³)	1.35

HUMEDAD NATURAL

ITEM	DESCRIPCION		
1	Peso de muestra húmeda + tara	(g)	491.40
2	Peso de muestra seca + tara	(g)	483.50
3	Contenido de humedad	%	1.63

RESUMEN :

DENSIDAD NATURAL	:	g/cm ³	1.37
HUMEDAD	:		1.6%
DENSIDAD NATURAL SECA	:	g/cm ³	1.35

OBSERVACIONES: -

Nº 037912

ROBERTO B. CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. 69876

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L. El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados. Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar Nº 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

ANEXO 6:

ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO

Estudio del espécimen, mediante el cual se pueden verificar la composición y la estructura del mismo en un nivel microscópico, complementando de esta forma los ensayos geotécnicos realizados en laboratorio.



Estudios microscópicos
SILLAR

Petrografía
De 01 muestra de roca

JENNY MIRANDA MONTEAGUDO
Ingeniera Geóloga Microscopista
CIP 106297

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. SIMBOLOGÍA	4
3. DIAGRAMA QAPF DE CLASIFICACION Y NOMENCLATURA DE ROCAS IGNEAS Y VOLCANICAS Según recomendación de la I.U.G.S (le Maitre, 1989)	5
4. MUESTRA: Sillar	6



1. INTRODUCCIÓN

A solicitud del Ingeniero Meyber Romero, se ha realizado el Estudio Petrográfico de 01 muestra de roca proveniente de la ciudad de Arequipa, y conocida como "sillar".

La muestra se recibió en forma de roca, encontrándose seca y en una cantidad apropiada para el estudio a realizar.

Para la clasificación petrográfica de las rocas se basó en la clasificación QAPF de Streckeisen, bajo los fundamentos de la IUGS (International Unión of Geological Sciences).

La descripción microscópica consiste en la determinación de:

- Minerales, asociaciones, tamaños de grano.
- Formas, texturas.
- Porcentajes de cada mineral.
- Reemplazamientos y alteraciones que la afectan.
- Clasificación de la roca.
- Fotomicrografías

Jenny Miranda Monteagudo
Ing. Geóloga Mineralogista

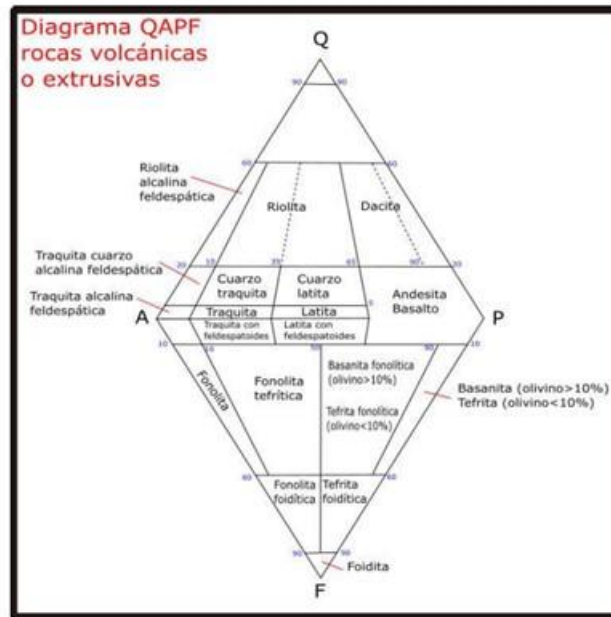


2. SIMBOLOGÍA

Nombre	Abreviatura	Fórmula
Biotita	bt	$K(Mg,Fe)_3Al,Fe(Si_3O$
Cuarzo	cz	Si_2O
Muscovita	mus	$KAl_2(AlSi_3)_{10}(OH)_2$
sanidina	san	$KAlSi_3O_8$
MINERALES OPACOS	OPs	
OXIDOS/HIDROXIDOS Fe	Ox/HxFe	
PLAGIOCLASAS	PGLs	
VIDRIO	VD	



3. DIAGRAMA QAPF DE CLASIFICACION Y NOMENCLATURA DE ROCAS IGNEAS Y VOLCANICAS Según recomendación de la I.U.G.S (le Maitre, 1989)



4. MUESTRA: Sillar

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Roca de color rosado, poco compacta, disgregable, con textura tobacea, engloba fragmentos líticos de colores oscuros y claros de diversa composición, con tamaños que van desde los centímetros hasta milímetros. La matriz de la roca, es disgregable y arcillosa.



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineralogía:

ESENCIALES %		ACCESORIOS %	
Vidrio volcánico	94	Sanidina	2
		Plagioclasas	2
		cuarzo	1
		Biotita	<1
		Muscovita	<1
		Óxidos/hidróxidos Fe	<1
		Minerales opacos	trazas

Textura

Roca: Piroclástica

Matriz: textura eutaxítica

Clasificación

Ignimbrita riolítica

Ing. Geóloga Mineralogista Jenny Miranda Monteagudo CIP 106297;
 Cel. 978718327; email Monteagudo2003@gmail.com



Roca piroclástica, constituida por vitroclastos, cristaloclastos y líticos; en una matriz con granulometría mayoritariamente de ceniza volcánica de fina a gruesa, está compuesta principalmente por vidrio volcánico, trizas vítreas, fiammes, cristales y vitroclastos, es matriz sostenida. los clastos líticos son escasos, porque solo se han observado en muestra de mano.

Las texturas y estructuras de la roca solo se han podido observar sin luz polarizada, ya que esta constituida casi en su totalidad por vidrio volcánico, el cual es negro al microscopio de luz polarizada.

Los detalles de los componentes son:

- **Vitroclastos**, son de tipo pómez, con tamaños hasta de 60mm, con numerosas vesículas redondeadas, y fiammes, algunos de estos fragmentos contienen material opaco microscópico en la matriz por lo que presentan un color negro y si este material ha sido oxidado presentan un color rojizo.
- **Fiammes**, consisten en vesículas alargadas por el aplastamiento, son numerosas, de diverso tamaño, menos de 1 mm; están presentes tanto en los vitroclastos como en la matriz.
- **Trizas vítreas**, estructuras en forma de Y, dejadas por el magma al enfriar, están presentes en la matriz, son numerosas con tamaños menores a 0.25 mm, también ocurren en algunos vitroclastos.
- **Sanidina**, ocurre como cristales euhedrales y subhedrales, con formas tabulares, cuadradas, también como cristales fragmentados, con tamaños hasta de 0.6 mm, presentan macla de Carlsbad y/o zonamiento; algunos individuos presentan los bordes corroídos por la matriz; están fracturados; pueden ocurrir aislados o agrupados, asociados a biotita.
- **Plagioclasas**, se presentan como cristales anhedrales, fragmentados y subredondeados, con la macla de la albita, corroídos por la matriz vítrea; pueden ocurrir aislados o en grupo.
- **Biotita**, cristales euhedrales, subhedrales, tabulares con tamaños menores a 1 mm, algunos cristales tienen los bordes corroídos por la matriz, pueden ocurrir asociados con los feldespatos.
- **Cuarzo**, como cristales anhedrales con tamaños menores a a 0.5 mm, presenta los bordes corroídos por la matriz, puede ocurrir como granos aislados o en agrupaciones con los feldespatos y la biotita.
- **Muscovita**, como escasos granos, anhedrales con tamaños menores a 0.4 mm, presenta fracturamiento y recristalización a granos más fino.
- **Minerales opacos**, de formas redondeadas, con bordes corroídos por la matriz son escasos.

FOTOMICROGRAFIAS

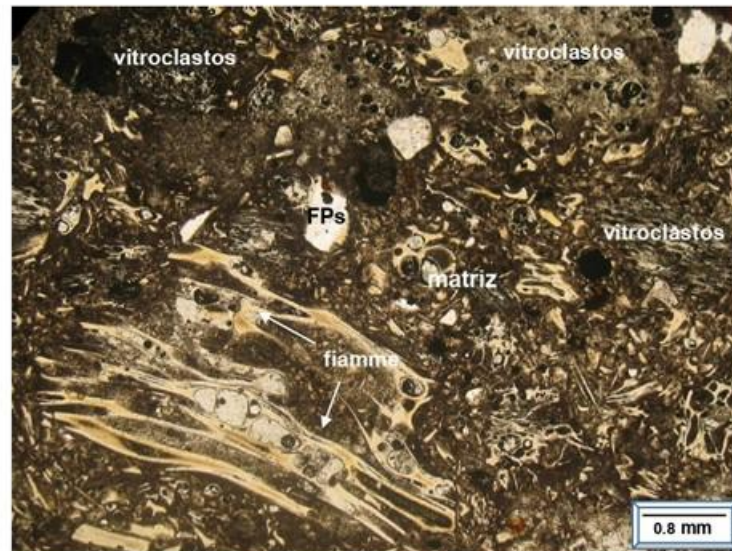


Foto N° 1.- Vista panorámica de la muestra, fiammes (fiammes), vitroclastos, cristales de feldspatos, la matriz contiene trizas vítreas, ceniza volcánica, fiammes.

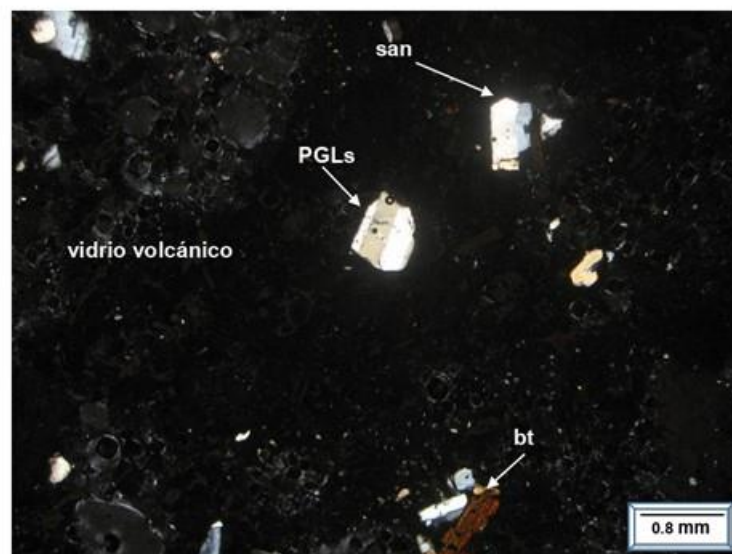


Foto N° 2 .- Microfoto con nicoles cruzados, el vidrio por su naturaleza amorfa se observa de color negro; solo resaltan los cristales de plagioclasas (PGLs), sanidina (san), biotita (bt).

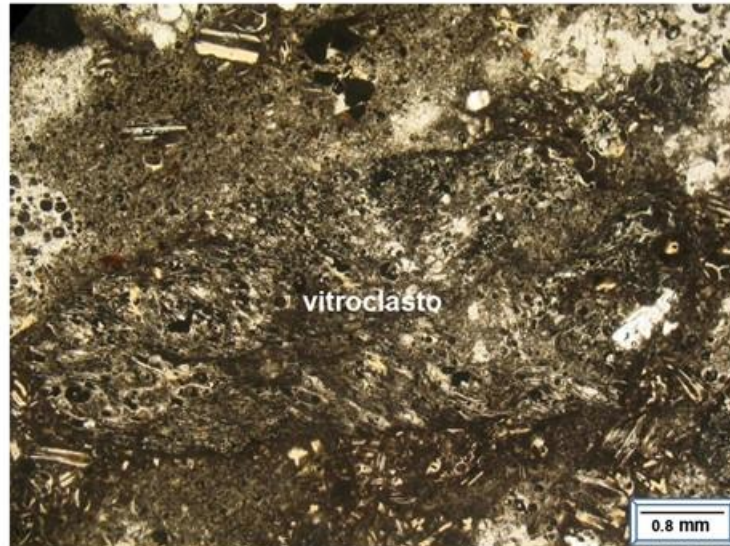


Foto N° 3.- vitroclasto de tamaño desarrollado, tiene la misma textura piroclástica vítrea que la roca.

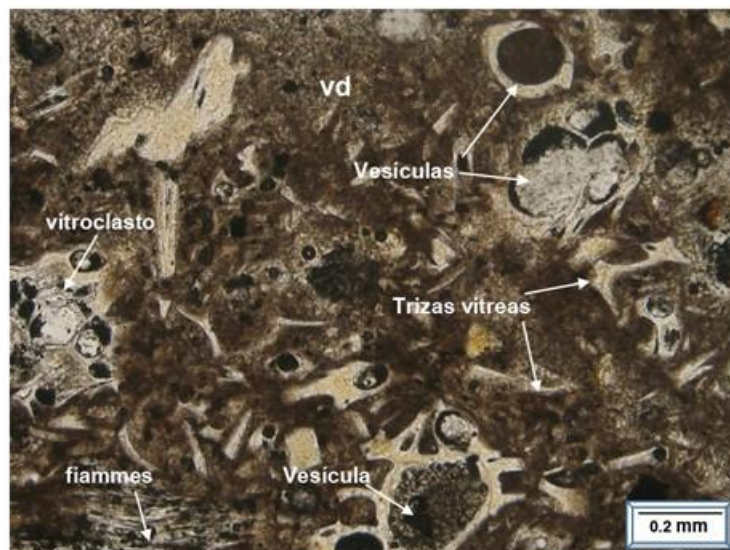


Foto N° 2.- Vista de la matriz en donde se observan las numerosas trizas vítreas, el resto es vidrio volcánico (vd), vesículas, y vitroclastos.

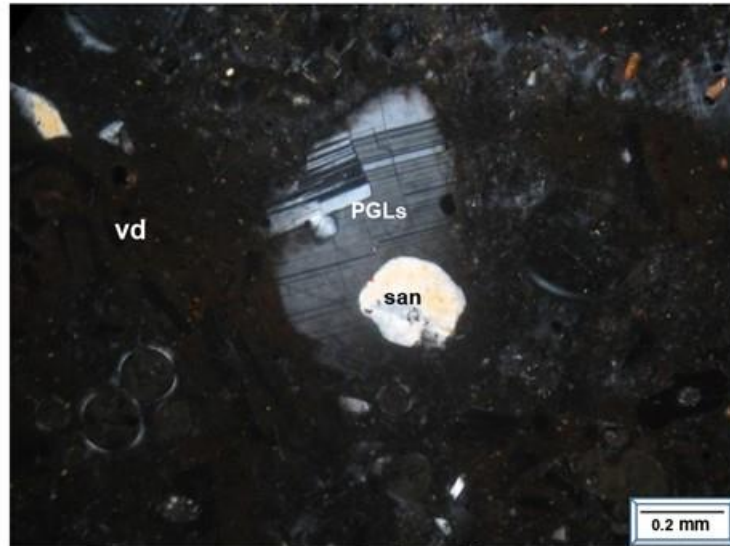


Foto N° 4.- fragmento de cristal de plagioclasas (PGLs), maclada y con los bordes corroídos por la matriz de vidrio volcánico (vd). El que está al lado es un cristal de sanidina (san).

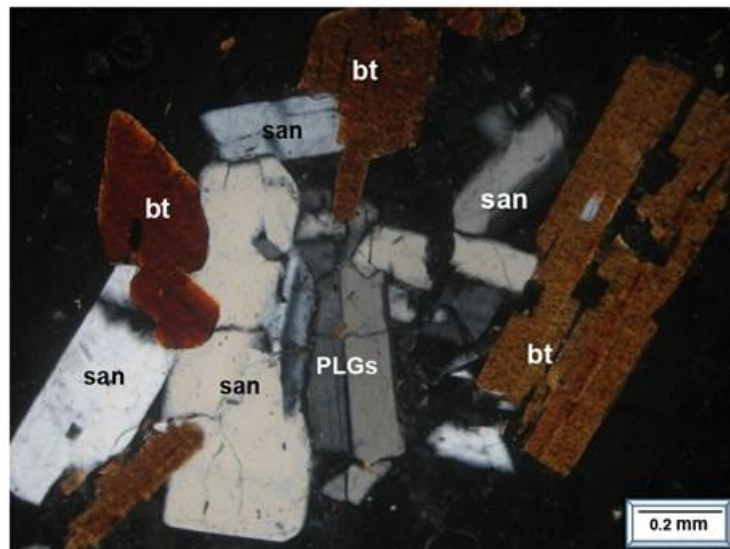


Foto N° 6.- Agrupamiento de cristales tabulares de sanidina (san), biotita (bt) tabular y plagioclasas (PGLs). Todos los cristales están fracturados.