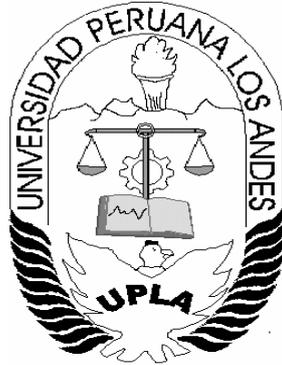


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS DEL SUELO EN LA
ESTABILIDAD DE TALUD EN EL KM
0+807 DEL SECTOR LA ESPERANZA
DEL DISTRITO DE POZUZO**

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. IRVIN HARVEY ORDAYA MELGAREJO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2017

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Casio Aurelio Torres López
Presidente

Jurado Revisor

Jurado Revisor

Jurado Revisor

Mg. Miguel Ángel, Carlos Canales
Secretario Docente

ASESOR: Ing. Dionicio Milla Simón

DEDICATORIA:

Dedico esta tesis a Dios y a mis abuelos que siempre iluminan mi camino.

A mi querida madre Vilma Yolanda Melgarejo Fabián y a mi hermano Pedro Luis Álvarez Melgarejo por su apoyo incondicional en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi asesor el Ing. Dionisio Milla Simón, por su asesoría en la presente tesis.

Agradecer infinitamente al Ingeniero Christian Obregón Mitma, Ingeniero Geólogo de la Universidad Mayor de San Marcos, por su asesoría constante brindada a mí persona en el uso adecuado del software Slide.

Así mismo agradecer a mis padrinos David Schaus Witting y Humbelina Varillas Horna, por su apoyo económico y moral para la realización de la presente tesis.

Agradecer a mi tío Cesar Melgarejo Fabián por el apoyo con el alquiler de los equipos topográficos.

INDICE

RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XX
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. TÍTULO DE LA TESIS	1
1.2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	1
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5.1. Justificación metodológica.....	4
1.5.2. Justificación social.....	4
1.6. LIMITACIONES.....	5
1.6.1. Económica.....	5
1.6.2. Tecnológica	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. EL SUELO	6
2.1.1. Agente generadores de suelos.....	6
2.1.2. Suelos residuales y transportados.....	8
2.1.3. Tipos de suelo	11
2.1.4. Suelos cohesivos y no cohesivos	12
2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	12

2.2.1.	Textura del suelo	13
2.2.2.	Estructura del suelo	13
2.2.3.	Densidad del suelo	15
2.2.4.	Porosidad del suelo	17
2.3.	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	17
2.3.1.	Plasticidad	20
2.3.2.	Clasificación del suelo	22
2.4.	RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE	24
2.4.1.	Ecuación de falla de Mohr-Coulomb.....	24
2.4.2.	Ensayo de corte directo	25
2.4.3.	Ensayo de compresión triaxial	26
2.4.4.	Ensayo Proctor estándar	27
2.5.	TALUDES	30
2.6.	TIPOS DE MOVIMIENTO DE TALUDES.....	31
2.6.1.	Deslizamientos	31
2.6.2.	Desprendimientos o caídas	35
2.6.3.	Vuelcos o desplomes.....	36
2.6.4.	Flujos	37
2.6.5.	Movimientos complejos	38
2.7.	FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES	38
2.8.	INCERTIDUMBRE EN GEOTÉCNIA.....	39
2.8.1.	Análisis de sensibilidad.....	40
2.9.	ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD	41
2.10.	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD	42
2.10.1.	Clasificación de los métodos de cálculo	42
2.10.2.	Métodos de equilibrio límite	44
2.10.3.	Métodos de las dovelas	46

2.10.4. Factor de seguridad.....	47
2.11. MÉTODOS DE CÁLCULO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN	48
2.11.1. Método de Morgenstern-Price	48
2.11.2. Método de Spencer	50
2.11.3. Bishop Simplificado	51
2.12. SISMOS EN TALUDES	53
2.12.1. Evaluación de Peligro Sísmico	54
2.12.2. Aceleración Pico (PGA)	57
2.13. SOFTWARE UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	58
2.13.1. Software SLIDE 6.0	58
2.13.2. Características Principales del Software SLIDE 6.0	59
2.14. MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN	63
2.15. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN.....	65
2.15.1. Modificación de la geometría.....	65
2.15.2. Medidas de drenajes	68
2.15.3. Elementos estructurales resistentes	70
2.15.4. Muros y elementos de contención	73
2.16. DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN	75
2.16.1. Dimensionamiento de muros de contención.....	76
2.16.2. Teoría de la presión de tierra de Rankine.....	76
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	80
3.1. VARIABLES	80
3.1.1. Variable independiente	80
3.1.2. Variable dependiente.....	80
3.1.3. Definición operacional de las variables.....	81
3.2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	81
3.2.1. Hipótesis general.....	81

3.2.2. Hipótesis específicos	81
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	82
3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	82
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	82
3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA	82
3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	83
3.8. INSTRUMENTOS	83
3.9. PROCEDIMIENTO.....	83
CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	84
4.1. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	84
4.1.1. Ensayo Proctor Estándar - ASTM D 698	84
4.1.2. Ensayo de Corte Directo - ASTM D 3080.....	86
4.1.3. Análisis Granulométrico por Tamizado – ASTM D 422.....	86
4.2. OBTENCIÓN DE MUESTRA DE SUELO	88
4.3. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	92
4.4. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO	95
4.4.1. Trabajo de campo.....	95
4.4.2. Trabajo de gabinete.....	98
4.5. SECCIONES DE CORTE A SER ANALIZADAS	100
4.6. PLAN DE ANÁLISIS PARA CADA SECCIÓN DEL TALUD.....	101
4.7. DATOS IMPORTANTES PARA EL ANÁLISIS DE CADA SECCIÓN. ...	103
4.7.1. Cálculo de la carga vehicular.....	103
4.7.2. Cálculo de carga de coeficiente sísmico horizontal	105
4.8. PRIMER ANÁLISIS CON LOS DATOS OBTENIDOS	106
4.9. ANÁLISIS, SECCIÓN A-A, ESCALA TALUD SUPERIOR	108
4.9.1. Condición Estática – Escenario Seco.....	109
4.9.2. Condición Estática – Escenario Saturado.....	113

4.9.3.	Condición Seudoestático – Escenario Seco	113
4.9.4.	Condición Seudoestático – Escenario Saturado.....	116
4.10.	ANÁLISIS, SECCIÓN A-A, ESCALA TALUD INFERIOR.....	117
4.10.1.	Condición Estática – Escenario Seco	117
4.10.2.	Condición Estática – Escenario Saturado.....	119
4.10.3.	Condición Seudoestático – Escenario Seco	120
4.10.4.	Condición Seudoestático – Escenario Saturado.....	120
4.11.	ANALISIS, SECCIÓN B-B, ESCALA TALUD SUPERIOR	122
4.11.1.	Condición Estática – Escenario Seco.....	123
4.11.2.	Condición Estática – Escenario Saturado.....	124
4.11.3.	Condición Seudoestático – Escenario Seco	124
4.11.4.	Condición Seudoestático – Escenario Saturada.....	125
4.12.	ANALISIS, SECCIÓN B-B, ESCALA TALUD INFERIOR.....	126
4.12.1.	Condición Estática – Escenario Seco.....	126
4.12.2.	Condición Estática – Escenario Saturado.....	126
4.12.3.	Condición Seudoestático – Escenario Seco	127
4.12.4.	Condición Seudoestático – Escenario Saturado.....	127
4.13.	ANALISIS, SECCIÓN C-C, ESCALA TALUD SUPERIOR.....	129
4.13.1.	Condición Estática – Escenario Seco.....	130
4.13.2.	Condición Estática – Escenario Saturado.....	131
4.13.3.	Condición Seudoestático – Escenario Seco.....	131
4.13.4.	Condición Seudoestático – Escenario Saturado.....	132
4.14.	ANALISIS, SECCIÓN C-C, ESCALA TALUD INFERIOR.....	133
4.14.1.	Condición Estática – Escenario Seco.....	133
4.14.2.	Condición Estática – Escenario Saturado.....	133
4.14.3.	Condición Seudoestático – Escenario Seco.....	134
4.14.4.	Condición Seudoestático – Escenario Saturado.....	134

4.15. ANALISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD	136
4.16. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUD, FACTOR TÉCNICO	136
4.16.1. Estabilidad de talud, muro en voladizo, sección A-A.	137
4.16.2. Estabilidad de talud, muro ciclópeo, sección A-A.	139
4.16.3. Estabilidad de talud, muro de gaviones, sección A-A.	140
4.17. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUD, FACTOR ECONÓMICO	141
4.17.1. Factor económico, muro en voladizo	141
4.17.2. Factor económico, muro ciclópeo	141
4.17.3. Factor económico, muro de gaviones	141
4.18. ESTABILIZACIÓN DE TALUD SUPERIOR	142
4.18.1. Estabilidad de talud, sección B-B	142
4.18.2. Estabilidad de talud, sección C-C	143
4.19. ESTABILIZACIÓN DE TALUD INFERIOR	143
4.19.1. Estabilidad de talud, sección A-A	144
4.19.2. Estabilidad de talud, sección B-B	144
4.19.3. Estabilidad de talud, sección C-C	145
CAPITULO V: RESULTADOS	146
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	148
CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES	150
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
ANEXOS	153

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Inestabilidad de talud en la parte superior del sector La Esperanza km 0+807 del distrito de Pozuzo.	2
Figura 2: Pérdida de plataforma en el Sector la Esperanza km 0+807 distrito de Pozuzo	2
Figura 3: Depósitos coluviales. Rio Blanco - Pozuzo (Fuente: foto propia, Ordaya I.).....	9
Figura 4: Terraza aluvial (Ayala , 2015)	10
Figura 5: Perfil tipo de depósito aluvial (Fuente: foto propia Ordaya I.).....	10
Figura 6: Integrantes de un agregado	14
Figura 7: Clasificación de macroestructuras.....	15
Figura 8: Relación peso - volumen.....	16
Figura 9: Curva de distribución granulométrica.....	19
Figura 10: Interpretación de la curva granulométrica.	20
Figura 11: Definición de los límites de Atterberg.....	21
Figura 12: Carta de plasticidad de Casagrande.	22
Figura 13: Ensayo de corte directo a) equipo de prueba; b) resultado de prueba	25
Figura 14: Equipo de ensayo triaxial	26
Figura 15: Envolvente de falla	27
Figura 16: Principios de compactación.....	28
Figura 17: Equipos de la prueba Proctor Estándar.....	29
Figura 18: Nomenclatura de taludes y laderas	30
Figura 19: Deslizamientos.....	31
Figura 20: Rotura típica en forma de cuchara	32
Figura 21: Rotura típica con forma cilíndrica.....	32
Figura 22: Diferentes superficies circulares de rotura	33
Figura 23: Partes de un deslizamiento	35
Figura 24: Desprendimiento o caídas.....	36
Figura 25: Vuelcos o desplomes	37
Figura 26: Flujos.....	37
Figura 27: Clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes	44

Figura 28: División de la masa deslizante en fajas verticales o dovelas	46
Figura 29: Distribución de fuerzas. Método Morgen-Price	49
Figura 30: Distribución de fuerzas. Método Spencer.....	51
Figura 31: Distribución de fuerzas, Método Bishop Simplificado.....	52
Figura 32: Llegada de las ondas sísmicas	53
Figura 33: Deslizamiento de tierra de Takarazuka en el Japón activado por un sismo.	54
Figura 34: Mapa de Zonificación Sísmica.	58
Figura 35: Carga distribuida. Modelo Slide.....	60
Figura 36: Opción de cuadrícula y radio utilizado para buscar la falla circular.	61
Figura 37: Opciones de entrada y salida utilizadas para buscar la falla circular	62
Figura 38: Muro de gaviones.....	64
Figura 39: Tendido del ángulo del talud	65
Figura 40: Modificación de la geometría	66
Figura 41: Contrapeso para estabilización de un deslizamiento activo	67
Figura 42: Construcción de terrazas, bermas y canaletas.....	68
Figura 43: Medidas de drenaje y protección en taludes	69
Figura 44: Refuerzo con anclajes.....	70
Figura 45: Estabilización de talud con micropilotes.....	71
Figura 46: Partes de un anclaje.....	72
Figura 47: Talud estabilizado mediante anclajes, Proyecto: C.H. Cerro del Águila – GyM y Astaldi	72
Figura 48: Muro de gaviones.....	74
Figura 49: Tipos de muros de retención y/o contención	74
Figura 50: Muro de tierra armada - Sistema Terramesh	75
Figura 51: Dimensiones aproximadas para revisiones iniciales de muro de contención, (a) muro por gravedad, (b) muro en voladizo.....	76
Figura 52: Cálculo de la presión lateral de tierra, muro en voladizo, teoría de Rankine.	77
Figura 53: Cálculo de la presión lateral de tierra, muro de gravedad, teoría de Rankine.	77
Figura 54: Toma de muestra corte de talud.....	88
Figura 55: Datos de muestra corte de talud	89

Figura 56: Excavación de calicata N° 1	89
Figura 57: Datos de Calicata N° 1	90
Figura 58: Muestras etiquetadas, listas para ser llevados a Lima.	91
Figura 59: Vista de muestra Calicata N°1, profundidad 1.10 m.	91
Figura 60: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).	92
Figura 61: Existencia de Canal de Concreto Armado.	93
Figura 62: Dimensionamiento del canal	93
Figura 63: Vista Panorámica de la dirección de Rio Huancabamba.	94
Figura 64: Vista Río Huancabamba al Pie de Talud.	95
Figura 65: Instrumentos topográficos	96
Figura 66: Macheteo de las zonas con cobertura vegetal	96
Figura 67: Macheteo en el pie de talud	97
Figura 68: Levantamiento topográfico	97
Figura 69: Levantamiento topográfico, Sector La Esperanza.	98
Figura 70: Trabajo gabinete, descarga de puntos	98
Figura 71: Trabajo de gabinete, Triangulación de puntos en el CivilCAD 3D. .	99
Figura 72: Levantamiento topográfico con secciones a ser analizadas.	100
Figura 73: Dimensiones de camión	104
Figura 74: Sección C-C, que aún no ha colapsado (más estable).	106
Figura 75: Análisis de sección C-C, talud superior, Estático - Seco.	106
Figura 76: Sección transversal del corte A-A.	108
Figura 77: Sección transversal corte A-A, importado del CivilCAD 3D.	109
Figura 78: Definición de propiedades de los materiales.	109
Figura 79: Configuración general del proyecto.	110
Figura 80: Opciones de superficie	110
Figura 81: Configuración métodos de cálculo de F.S.	111
Figura 82: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático – Seco.	112
Figura 83: Fuerzas actuantes, Spencer, cálculo método de las dovelas.	112
Figura 84: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado	113
Figura 85: Ingresando datos de carga sísmica horizontal	114
Figura 86: Símbolo del sismograma = condición pseudoestático.	115
Figura 87: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Seco. .	115
Figura 88: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Saturado	116

Figura 89: Ingresando carga vehicular	117
Figura 90: Carga vehicular distribuida - Slide.....	118
Figura 91: Análisis talud inferior (carga vehicular y grilla)	118
Figura 92: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático – Seco.....	119
Figura 93: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado	119
Figura 94: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Seco...	120
Figura 95: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Saturado	120
Figura 96: Resumen total de análisis del Factor de Seguridad, sección A-A.	121
Figura 97: Sección transversal del corte B-B	122
Figura 98: Sección transversal corte B-B, importado del CivilCAD 3D.....	123
Figura 99: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático - Seco.	123
Figura 100: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado. ..	124
Figura 101: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Seco.	124
Figura 102: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Saturado.....	125
Figura 103: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático - Seco.	126
Figura 104: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado.	126
Figura 105: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Seudoestático - Seco.	127
Figura 106: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Seudoestático - Saturado	127
Figura 107: Resumen total del análisis del Factor de Seguridad, sección B-B.	128
Figura 108: Sección del corte C-C.	129
Figura 109: Sección transversal C-C, importado del CivilCAD 3D.	130
Figura 110: Talud superior, superficie de falla crítica, Estático - Seco.	130
Figura 111: Talud superior, superficie de falla crítica, Estático - Saturado....	131
Figura 112: Talud superior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Seco.	131
Figura 113: Talud superior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Saturado	132
Figura 114: Talud inferior, superficie de falla crítica, Estático - Seco.	133
Figura 115: Talud inferior, superficie de falla crítica, Estático - Saturado.....	133
Figura 116: Talud inferior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Seco. .	134

Figura 117: Talud inferior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Saturado.	134
Figura 118: Resumen total del análisis del Factor de Seguridad, sección B-B.	135
Figura 119: Geometría de superficie de falla y F.S. crítico de la sección A-A.	137
Figura 120: Estabilidad de talud superior con muro en voladizo, Sección A-A.	138
Figura 121: Estabilidad de talud superior con muro ciclópeo, Sección A-A. .	139
Figura 122: Estabilidad de talud superior con muro de gaviones, Sección A-A.	140
Figura 123: Estabilidad de talud superior con muro de gaviones, Sección B-B.	142
Figura 124: Estabilidad de talud superior con muro de gaviones, Sección C-C.	143
Figura 125: Estabilidad de talud inferior con muros en voladizo, Sección A-A.	144
Figura 126: Estabilidad de talud inferior con muros en voladizo y gaviones, Sección B-B.....	145
Figura 127: Estabilidad de talud inferior con muros en voladizo y gaviones, Sección C-C.	145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tamaño de mallas y/o tamices	18
Tabla 2: Símbolos de grupos (SUCS).....	23
Tabla 3: Tipología de Suelos (SUCS).....	23
Tabla 4: Valores típicos de coeficiente de variación.	40
Tabla 5: Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	45
Tabla 6: Valores representativos en la selección de movimientos sísmicos de diseño	55
Tabla 7: Ensayos de Laboratorio - UNI.....	87
Tabla 8: Esquema de trabajo para el análisis de las secciones.....	102
Tabla 9: Resumen de análisis del F.S., escala talud superior, sección A-A. .	116
Tabla 10: Resumen de análisis del F.S., escala talud inferior, sección A-A. .	121
Tabla 11: Resumen de análisis del F.S., escala talud superior, sección B-B.	125
Tabla 12: Resumen de análisis del F.S., escala talud inferior, sección B-B. .	128
Tabla 13: Resumen de análisis del F.S., escala talud superior, sección C-C.	132
Tabla 14: Resumen de análisis del F.S., escala talud inferior, sección C-C..	135
Tabla 15: Factor de Seguridad más crítico, Sección A-A talud superior.....	137

RESUMEN

La presente tesis lleva por título “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN LA ESTABILIDAD DE TALUD EN EL KM 0+807 DEL SECTOR LA ESPERANZA DEL DISTRITO DE POZUZO”, y parte del problema general, ¿Cómo influye el análisis de las propiedades físicas del suelo en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017?; se formuló el objetivo general: “Determinar la influencia del análisis de las propiedades físicas del suelo en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017”; y cuya hipótesis general que debe contrastarse es, “El análisis de las propiedades físicas del suelo influye directa y significativamente en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017”.

El tipo de investigación es Aplicativa, el nivel es Explicativa, el diseño es experimental. La población fue el Sector La Esperanza y la muestra fue de tipo no probabilístico, ubicado en el km 0+807, de la cual se obtuvieron 2 muestras no probabilísticas de suelo, una del corte de talud y la otra de una calicata a cielo abierto de 2m de profundidad ubicada en la parte superior del talud, para luego realizar su respectivo análisis de laboratorio.

Se llegó a la conclusión, de que el ángulo de fricción es de 34.13° , la cohesión de 14.12 kN/m^2 , el peso específico seco de 17.56 kN/m^3 y peso específico saturado de 18.73 kN/m^3 , se tuvo como resultado, un ángulo de fricción de $\phi = 30.02^\circ$ y una cohesión de $C = 8.829 \text{ kN/m}^2$.

Palabras claves: Estabilidad de talud, condición pseudoestática, escenario saturado, factor de seguridad.

Bach. Irvin Harvey Ordaya Melgarejo

ABSTRACT

The present thesis is entitled "ANALYSIS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL IN THE STABILITY OF TALUD IN THE KM 0 + 807 OF THE SECTOR THE HOPE OF THE DISTRICT OF POZUZO", and part of the general problem, How does the analysis of the physical properties Of the soil in the slope stability at Km 0 + 807 of the La Esperanza district of Pozuzo - Oxapampa - Pasco - 2017; The general objective was: "To determine the influence of the analysis of the physical properties of the soil in the stability of slope in Km 0 + 807 of the sector La Esperanza of the District of Pozuzo - Oxapampa - Pasco - 2017"; And the general hypothesis to be contrasted is, "The analysis of the physical properties of the soil directly and significantly influences slope stability at Km 0 + 807 in the La Esperanza area of the Pozuzo District - Oxapampa - Pasco - 2017".

The type of research is Applied, the level is Explanatory, the design is experimental. The population was the La Esperanza Sector and the sample was of non-probabilistic type, located at km 0 + 807, from which 2 non-probabilistic soil samples were obtained, one from the slope cut and the other from an open pit calicata Of 2m deep located in the upper part of the slope, to then carry out its respective laboratory analysis. The final result was a friction angle of $\phi = 30.02^\circ$ and a cohesion of $C = 8.829 \text{ kN} / \text{m}^2$.

It was concluded that the friction angle is 34.13° , the cohesion of $14.12 \text{ kN} / \text{m}^2$, the dry specific weight of $17.56 \text{ kN} / \text{m}^3$ and saturated specific gravity of $18.73 \text{ kN} / \text{m}^3$, resulted in a Friction angle of $\phi = 30.02^\circ$ and a cohesion of $C = 8,829 \text{ kN} / \text{m}^2$.

Key words: Slope stability, pseudo-static condition, saturated scenario, safety factor.

Bach. Irvin Harvey Ordaya Melgarejo

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se basa en el talud ubicado en el km 0+807, sector La Esperanza del distrito de Pozuzo, dicho sector presenta inestabilidad de talud tanto en la parte superior e inferior, es por ello, que se desarrolló para poder realizar su estabilidad mediante muros de contención eligiendo que tipo de muro es más viable técnica y económicamente, la presente investigación realizó los análisis con el uso del software Slide que brinda facilidad en el manejo de datos y resultados, dándonos de manera inmediata el factor de seguridad mínimo y su geometría de superficie de falla crítica.

En el capítulo I, se habla sobre el problema de investigación que incluye: el título de la tesis, el planteamiento del problema, la formulación del problema general y específico, objetivo general y específicos, la justificación metodológica y social, limitaciones económicas y tecnológicas.

En el capítulo II, marco teórico incluye: el suelo, propiedades físicas del suelo, distribución granulométrica, resistencia del suelo al esfuerzo cortante, taludes, tipos de movimiento de taludes, factores condicionantes y desencadenantes, incertidumbre en geotecnia, análisis de estabilidad, métodos de análisis de la estabilidad, métodos de cálculo, sismo en taludes, software utilizado para el análisis de estabilidad, medidas de estabilización, métodos de estabilización, diseño de muro de contención.

En el capítulo III, Metodología de la investigación, incluye: variable independiente y dependiente, formulación de hipótesis general y específicos, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas de recolección de datos, instrumentos y procedimiento.

En el capítulo IV, desarrollo de la investigación, incluye: ensayos de laboratorio, obtención de muestra de suelo, aspectos hidrogeológicos, topografía del terreno, secciones de corte a ser analizadas, plan de análisis para cada sección de talud, datos importantes para el análisis de cada sección, primer análisis con los datos obtenidos, se realizó en análisis con el software Slide de

las tres secciones (A-A, B-B, C-C) tanto del talud superior como inferior en condiciones estáticas y Seudoestáticas, escenario seco y saturado, análisis del factor de seguridad, análisis de la estabilidad de talud parte técnica, análisis de la estabilidad de talud parte económico, estabilización del talud superior e inferior de la sección A-A, B-B, C-C.

En el capítulo V, menciona los resultados obtenidos de la presente investigación.

En el capítulo VI, se menciona la discusión de resultados sobre la presente investigación, seguida de las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. TÍTULO DE LA TESIS

Análisis de las propiedades físicas de los suelos en la estabilización de talud en el km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo.

1.2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Debido a las intensas lluvias que se presentan en la selva central entre los meses de noviembre y abril, estos vienen ocasionando derrumbes y/o deslizamientos de tierra a lo largo de las principales vías de comunicación, y no es excepción el Distrito de Pozuzo, Provincia de Oxapampa, Región Pasco, ya que existe deslizamientos de piedra y tierra en las principales vías de comunicación principalmente entre Oxapampa – Pozuzo y Codo del Pozuzo, ocasionando el cierre parcial o total de dicha vía, esto ocasiona una molestia no solo a las personas de la zona sino también a los turistas y transportistas ocasionando un retraso con respecto al desarrollo del distrito ya que su principal fuente de ingresos es la ganadería, siendo transportando a la ciudad de Lima para su comercialización.

En la actualidad, una de las principales vías de comunicación del distrito de Pozuzo viene siendo afectada por los deslizamientos, derrumbes y pérdida de plataforma, ésta se ubica en el km 0+807 del sector La Esperanza, se puede apreciar en la Figura 1 el deslizamiento de tierra y piedras en el talud superior de la vía, la cual ocasiona cierre parcial o total de la misma,

principalmente en las épocas de lluvias, así mismo debido a esta inestabilidad de talud viene siendo perjudicado las viviendas pertenecientes al sector La Esperanza las cuales se ubican en la parte superior (en la corona del talud).



Figura 1: Inestabilidad de talud en la parte superior del sector La Esperanza km 0+807 del distrito de Pozuzo.

Como se puede apreciar en la Figura 2, existe una inestabilidad de talud en la parte inferior de la vía del sector La Esperanza, la cual ha ocasionado la pérdida de plataforma perjudicando la transitabilidad peatonal y/o vehicular.



Figura 2: Pérdida de plataforma en el Sector la Esperanza km 0+807 distrito de Pozuzo

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema general

¿Cómo influye el análisis de las propiedades físicas del suelo en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo influyen la textura y estructura del suelo en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017?
- b) ¿Cómo influye la geometría de superficie de falla crítica y su factor de seguridad mínimo que pueda ocurrir en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017?
- c) ¿Cómo influye la parte técnica y económica en la elección del muro en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia del análisis de las propiedades físicas del suelo en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la influencia de la textura y estructura del suelo en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.
- b) Describir la influencia de la geometría de superficie de falla crítica y su factor de seguridad mínimo que pueda ocurrir en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.
- c) Determinar la influencia de la parte técnica y económica en la elección del muro en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.

1.5. JUSTIFICACIÓN

1.5.1. Justificación metodológica

- En la presente investigación se utilizarán metodologías de toma y procesamiento de datos con el uso de programas con una mejor síntesis en la información que pueden servir de base para otras investigaciones similares.

1.5.2. Justificación social

- La presente investigación servirá de base para resolver problemas en las carreteras de nuestro país en la zona selva, con esta investigación podremos resolver problemas de inestabilidad de taludes las cuales afectan a las carreteras y podremos evitar el gasto innecesario al gobierno en mantenimiento de las vías, ocasionados por los constantes derrumbes y deslizamiento que vienen afectando la comunicación y transitabilidad hacia las poblaciones de la zona.

- Permitirá el tránsito libre de vehículos y personas, en especial en épocas de invierno en la cual se ve más afectada dicho sector.

1.6. LIMITACIONES

1.6.1. Económica

Por limitaciones económicas del investigador, no se pudieron realizar varios ensayos de corte directo, motivo por el cual solo se realizó el ensayo en el punto crítico del talud.

Por limitaciones económicas no se pudieron realizar ensayos *in-situ*, de corte directo a gran escala, así mismo no se pudieron realizar sondeos mecánicos.

1.6.2. Tecnológica

A falta de equipos para realizar ensayos triaxiales, no se llevó a cabo dicho ensayo, ya que habiendo recurrido a los laboratorios de la UNI, en la fecha que se pidió realizar el ensayo triaxial, dicho equipo se encontraba descalibrado, impidiendo su uso al público en general.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. EL SUELO

El término “suelo” está definido de diferentes maneras de acuerdo a las líneas de carrera a las cuales se relacionan con ello, entre ellas están el agrónomo, el geólogo y el ingeniero civil.

(1) Tschebotarioff, G., (citado en Crespo, 2004, p. 18), menciona que el agrónomo define al suelo como la delgada parte superior del manto de rocas en que penetran las raíces de las plantas y de donde éstas toman agua y las demás sustancias necesarias para su existencia.

(1) Chiossi, N., (citado en Crespo, 2004, p. 18), menciona que el geólogo define al suelo como el material resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de agentes atmosféricos.

El ingeniero civil define al suelo “que es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas.” (1) (Crespo, 2004, p. 18)

2.1.1. Agente generadores de suelos

Los agentes que ocasionan la desintegración de la roca son: el aire, el agua y el cambio continuo de temperatura. Éstas se conocen como desintegración mecánica y descomposición química. (2) (Juárez & Rico, 2005)

- Desintegración mecánica: este término se refiere a que los agentes físicos como el agua, el aire, y la temperatura son las causantes de la desintegración de las rocas.

El agua afecta de diferentes maneras a la desintegración de la roca uno es por su movimiento que un importante elemento de erosión convirtiendo los fragmentos angulosos de las rocas convirtiéndolos en redondeados. Otro efecto del agua es cuando este ingresa por las grietas de las rocas y este al congelarse produce una fuerte expansión en la roca ocasionando su fracturación.

La temperatura afecta a la estructura de la roca cuanto esta varía considerablemente de bajas a altas ocasionando una fractura en la capa superficial y posteriormente su desprendimiento.

El viento contribuye a la desintegración de la roca cuanto las partículas desintegradas son transportadas.

“A pesar de que los agentes físicos son de mucha importancia en la formación de los suelos, ellos no son capaces de reducir los fragmentos rocosos a tamaños individuales menor de 0.01 mm. La desintegración a tamaños menores a 0.01mm sólo puede efectuarse por procesos químicos” (1) (Crespo, 2004, p. 20)

- Descomposición química: este término se refiere a los agente químicos que son capaces de desintegrar la roca a tamaños menores a 0.01 mm, los principales agente químicos son: la oxidación, la carbonatación y la hidratación. *La oxidación* es la reacción química que ocurre con el agua de lluvia que cae en las rocas, ya que el oxígeno del aire con la humedad reacciona químicamente produciéndose la oxidación.

La carbonatación es la reacción del ácido carbónico (CO₂) y agua (H₂O) que actúan sobre las rocas que contienen fierro, calcio, magnesio, sodio o potasio, dando lugar a la formación de arcillas.

La hidratación es la combinación de un cuerpo con agua para formar hidratos y así formar nuevos minerales.

- Biológica, “producida por la actividad bacteriana, induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto de origen físico – químico, actuando de elemento catalizador, etc.” (3) (González, Ortuño, Ferrer, & Oteo, 2002, p.18)

La acción de los agentes de intemperismo antes mencionados se conoce más comúnmente en el medio ingenieril como meteorización y alteración que dan origen a los suelos inorgánicos. La meteorización se refiere únicamente a los cambios superficiales que sufren las rocas debido a la acción de los agentes atmosféricos. (1) (Crespo, 2004, pág. 20)

2.1.2. Suelos residuales y transportados

Los suelos que son formados en su lugar de origen y no son transportados se les conocen como *suelos residuales* y sus partículas tienen formas planares con ángulos en sus extremos. En cambio a los suelos que han sido formados en un lugar y luego hayan sido transportados de su lugar de origen por medio de los agentes geológicos (glaciares, el viento, los ríos, los mares y la fuerza de la gravedad) a estos se les conoce como *suelos transportados*, y sus partículas son de forma ovalada y/o circular ocasionado por los desgastes e impactos entre sí. (2) (Juárez & Rico, 2005)

Los suelos que han sufrido transporte por medio de diversos agentes geológicos llegan a formar distintos tipos de depósitos:

coluviales, aluviales, lacustres, litorales, glaciares, climas áridos y desérticos, evaporíticos, climas tropicales y de origen volcánico. (3) (González et al., 2002).

Para la presente investigación tomaremos en cuenta los conceptos de depósitos coluviales y aluviales ya que son los tipos de depósitos más frecuentes en la zona de estudio.

(3) González, et al. (2002) define:

- *Depósitos coluviales*: “Son materiales transportados por gravedad, la acción del deshielo, principalmente por el agua. Su origen es local, producto de la alteración in situ de las rocas. Están asociados a masas inestables, son de fragmentos angulosos, englobados por matriz limo arcilloso” (p. 99). Figura 3 presenta depósitos coluviales en forma de abanico.



Figura 3: Depósitos coluviales. Rio Blanco - Pozuzo

(Fuente: foto propia, Ordaya I.)

- *Depósitos Aluviales*: “Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques de bordes

redondeados, se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación variando mucho su densidad” (p. 100).

En la Figura 4 se aprecia una terraza aluvial, en la Figura 5 se aprecia una columna con tipos de estos depósitos (estratos)



Figura 4: Terraza aluvial (Ayala , 2015)



*Figura 5: Perfil tipo de depósito aluvial
(Fuente: foto propia Ordaya I.)*

2.1.3. Tipos de suelo

A continuación se describen los suelos con el objetivo de que se constituya un lenguaje comprensible por los ingenieros de diferentes especialidades y países.

(3) González et al., (2002) menciona que se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría (Normas D.I.N, A.S.T.M, A.E.N.O.R, etc) (p.20):

- “**Gravas**, con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2mm; se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retienen el agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas” (3) (González et al., 2002, p. 20,22).

- “**Arenas**, con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables, a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad” (3) (González et al., 2002, p. 22).

- **Limos**, con partículas comprendidas entre 0.060 y 0.002 mm (...). Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve cómo el agua se exhuda con facilidad. (3) (González et al., 2002, p. 22).

- “**Arcillas**, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños (...) presentan capacidad de retención de agua muy grande y son considerados los materiales más problemáticos. (3) (González et al., 2002, p. 22).

2.1.4. Suelos cohesivos y no cohesivos

- *Suelos no cohesivos*: son las arenas y las gravas los cuales no presentan ninguna cementación. Lo importante que hay que resaltar en estos tipos de suelo es que tienen buena capacidad portante, elevada permeabilidad o buena capacidad de drenaje lo que permite que circule el agua con gran facilidad. (1), (4) (Crespo, 2004; Bañón & Beviá, 2000).
- *Suelos cohesivos*: son conocidos como las arcillas y los limos, por la propiedad de tener atracción intermolecular. Lo malo de este tipo de suelos es que tienen baja permeabilidad lo que dificulta el paso del agua a través de ella y alta compresibilidad lo que resulta ser más problemáticos ya que colapsan simplemente aumentando su grado de humedad. (1), (4) (Crespo, 2004; Bañón & Beviá, 2000).

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

En todas las obras de ingeniería civil, el suelo forma parte indispensable para su realización, es por ello que conocer sus propiedades físicas, es de suma importancia ya que forma parte indispensable para su análisis, estudio, diseño y ejecución.

(5) Hang (2014) menciona que las propiedades físicas del suelo son: Granulometría, Consistencia, Color, Densidad, Porosidad, Estructura.

Asi mismo (6) Rucks, García, Kaplán, Ponce de León y Hill (2004) menciona que las propiedades físicas del suelo son: la textura del suelo, porosidad del suelo, estructura del suelo, consistencia del suelo, aereación, el color de suelo, propiedades térmicas y clima del suelo.

Todas las propiedades físicas son de suma importancia a la hora de conocer sus comportamientos cuantitativamente por medio de ensayos de

laboratorio ya sea in situ o en laboratorio esto nos permitirá conocer como se está comportando el suelo y así poder proponer alternativas de solución.

En la presente investigación se resaltarán las propiedades físicas que son indispensables para poder realizar la estabilidad de talud en el km 0+807 del sector La Esperanza.

2.2.1. Textura del suelo¹

(6) Rucks, el at., (2004) menciona que “La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla” (p. 1).

“Es decir, la textura es la proporción en que se encuentran estos elementos que constituyen el suelo” (7) (Carrasco & Ortiz, 2008, p. 20)

La textura del suelo nos permite saber de qué tipos de suelo están formados los suelos a través de un análisis granulométrico y plasticidad, esto nos permitirá conocer el tipo de suelo en el cual realizaremos la investigación y/o estudio.

2.2.2. Estructura del suelo

Una definición de estructura del suelo de Greenland & Hayes (1978) leída en una publicación de (7) Carrasco & Ortiz (2008): “La asociación de partículas en agregados, que dan origen a poros que contienen aire y agua”.

(7) Narro, (1994, citado en Carrasco & Ortiz, 2008, p. 24) define estructura como “como la manera en que las partículas (arena, limo y arcilla) están unidas entre sí formando agregados”

Se la define como el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también

¹ Para mayor información revisar el apartado 2.3 Distribución Granulométrica

los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. (6) (Rucks et al., 2004, p. 13)

La estructura de un suelo esta formado como se mencionó por gravas, arena, limo y arcilla a estas se les conocer como particulas las cuales al mezclarse unas con otras llegan a formar un conjunto de particulas a las cuales se les conoce como agregados. Para tener una idea de su formación, ver la Figura 6.

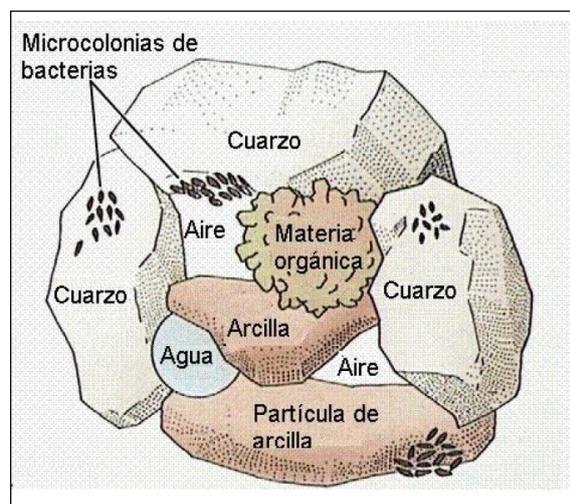


Figura 6: Integrantes de un agregado
(Fuente: Hang , 2014)

En una estructura del suelo según sea el nivel de observación, se puede diferenciar partículas ya sea arena, limo, arcilla o agregados, a estos se les conoce como macroestructuras, cuando las partículas como la arena, limo y arcilla se unen para formar agregados q no son visibles a simple vista se les conoce como microestructura. (6) (Rucks et al., 2004)

La macroestructura se clasifica según (6) Soil Survey Manual del U.S.D.A. (1951, citado en Rucks et al., 2004), ver Figura 7: en A) prismáticas, B) columnar, C) bloques angulares, D) bloques sub angulares, E) laminar y F) granular.

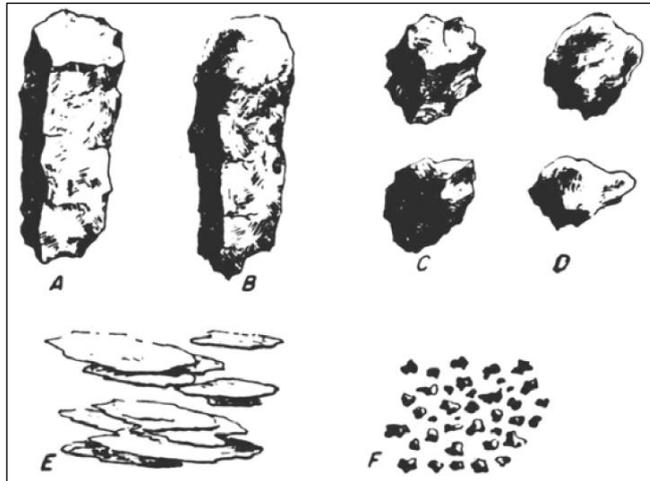


Figura 7: Clasificación de macroestructuras

(Fuente: Rucks et al., 2004)

Una estructura es resistente siempre y cuando no sea afectada por factores desencadenantes como el agua y/o la lluvia ya que esto permite que las microestructuras y macroestructuras se desintegren ocasionando su colapso. Esto es típico en los taludes naturales o artificiales de los cuales se hablará más adelante.

2.2.3. Densidad del suelo

Los suelos están formados por tres fases que son sólidos, líquidos y gas (aire) estos componentes se miden en función de su peso y volumen, ver Figura 8, mediante una serie de relaciones volumétricas, se puede obtener su relación de vacíos (e), su porosidad (n), su grado de saturación (S) y su densidad aparente (ρ), este último es de suma importancia para poder realizar los estudios y análisis del suelo.

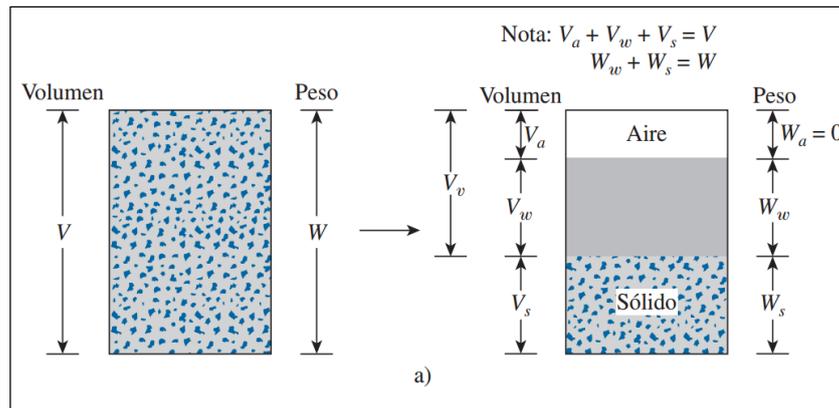


Figura 8: Relación peso - volumen

(Fuente: Das, 2012)

- **Densidad aparente (ρ)**, se define dividiendo su masa entre volumen. (gr/m^3)

$$\rho = \frac{W}{V}$$

- **Densidad seca (ρ_d)**, si el elemento del suelo se encuentra seco y conserva la misma relación de vacíos, entonces $S_r=0$ (S_r =grado de saturación), se obtiene la densidad seca (ρ_d). (8) (Berry & Reid, 1995).

$$\rho_d = \left[\frac{G_s}{1 + e} \right] \rho_w$$

- **Densidad saturada (ρ_s)**, si el elemento del suelo está saturado y conserva la misma relación de vacíos, entonces $S_r=1$ (por ejemplo, 100%) y se obtiene la densidad saturada (ρ_s). (8) (Berry & Reid, 1995).

$$\rho_s = \left[\frac{G_s + e}{1 + e} \right] \rho_w$$

- **Peso específico (γ)**, el peso específico puede utilizarse como una alternativa al uso de la densidad. Esto se define fundamentalmente como el peso por unidad de volumen y puede obtenerse multiplicando la densidad por la aceleración de la gravedad ($g=9.81 \text{ m/s}^2$); ($\gamma=kN/m^3$). (8) (Berry & Reid, 1995).

$$\gamma = \rho \cdot g$$

2.2.4. Porosidad del suelo

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos, los macroporos no retienen el agua este es el caso de las gravas y arenas, mientras que los microporos si retienen el agua este es el caso de los limos y arcillas, la formación de macroporos o microporos dependen de la textura del suelo y de su estructura. (6) (Rucks et al., 2004).

La porosidad (n), es la relación del volumen de vacíos entre el volumen de la muestra del suelo.

$$n = \frac{V_v}{V} ; n = \frac{e}{1 + e}$$

2.3. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Los suelos residuales y transportados dependiendo del lugar de estudio presentan diferentes tipos de suelo, ello se puede llegar a clasificar mediante un análisis granulométrico con mallas

Según (9) Das (2012), define el procedimiento del Análisis Granulométrico con mallas:

El análisis granulométrico con mallas se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco bien pulverizado y haciéndolo pasar a través de un apilo de mallas con aberturas cada vez más pequeñas que dispone

de una charola en su parte inferior. Se mide la cantidad de suelo retenido en cada malla y se determina el porcentaje acumulado de suelo que pasa a través de cada una. A este porcentaje se le refiere por lo general como porcentaje de finos (p. 2).

En la tabla 1, se aprecia el número de mallas y/o tamices y su abertura de (mm) los cuales son de uso para el análisis de suelos para poder realizar su clasificación.

Tabla 1: Tamaño de mallas y/o tamices
(Fuente: Das, 2012 y Berry & Reid, 1995)

Normas ASTM	
Malla y/o tamiz	Abertura (mm)
3 pulg	75 mm
2 pulg	50 mm
1 1/2 pulg	37.5 mm
1 pulg	25 mm
1/4 pulg	19 mm
3/8 pulg	9.5 mm
Nº 4	4.75 mm
Nº 8	2.36 mm
Nº 10	2 mm
Nº 16	1.18 mm
Nº 20	0.850 mm
Nº 30	0.600 mm
Nº 40	0.425 mm
Nº 50	0.300 mm
Nº 60	0.250 mm
Nº 100	0.150 mm
Nº 140	0.106 mm
Nº 200	0.075 mm

El porcentaje de finos en cada malla (...) se traza en papel semilogarítmico, como se muestra en la Figura 9.

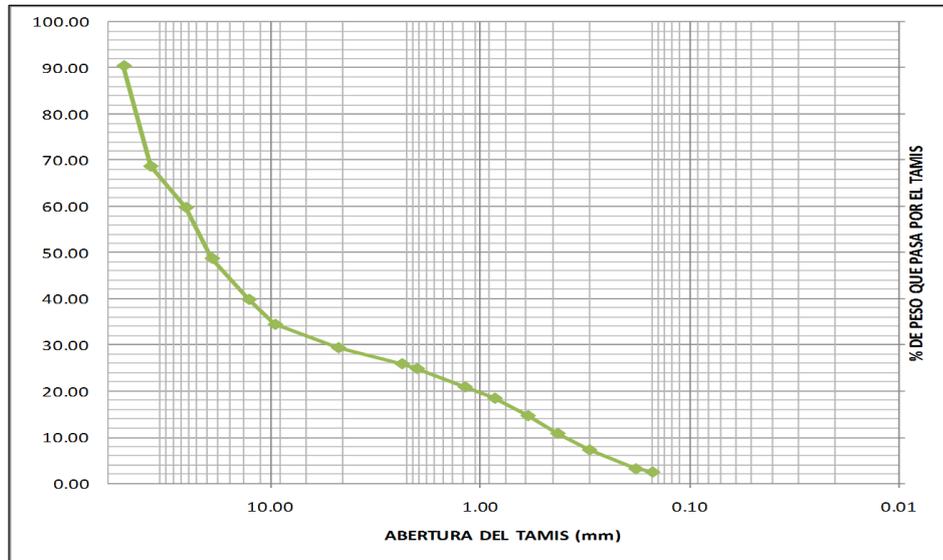


Figura 9: Curva de distribución granulométrica.
(Fuente: Elaboración propia, curso suelos I)

(8) Berry & Reid (1995) mencionan que la gradación puede expresarse numéricamente con el *coeficiente de uniformidad* (C_u), que se define como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Así mismo menciona que el *coeficiente de curvatura o graduación* (C_z) es definido como:

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

En donde D_{10} = tamaño de las partículas para el cual el 10% del material es más fino que ese tamaño.

D_{30} , D_{60} = los tamaños para los cuales el 30% y el 60% del material, respectivamente, son más finos que esos tamaños (p. 37).

Para una mejor interpretación de los resultados de la curva de distribución granulométrica se adjunta la Figura 10.

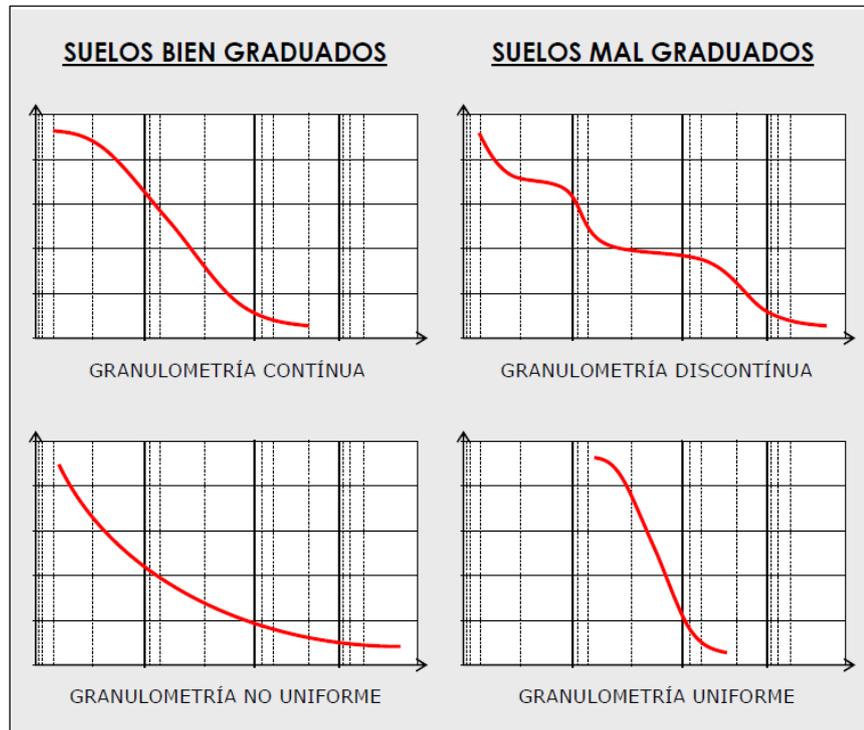


Figura 10: Interpretación de la curva granulométrica.

(Fuente: Bañón & Beviá, 2000)

2.3.1. Plasticidad

En los estudios de la granulometría de los suelos solo se llega a conocer para suelos no cohesivos entre gravas y arenas, pero como se sabe, el agua llega a alterar de manera significativa el comportamiento del suelo, tal es el caso para suelos cohesivos como las arcillas y los limos, en caso de que un suelo sea enviado a estudiar su composición, mediante una clasificación granulométrica, y este presenta gran cantidad de arcillas y/o limos, estos suelos varían con la cantidad de humedad que está presente en ello, para este caso se estudia y aplica los límites de Atterberg ya que el definió tres límites para su clasificación pero Casagrande llegó a clasificar a los suelos limosos y arcillosos mediante una carta de plasticidad.

(3) González et al. (2002) menciona que:

- *Atterberg*: "Definió tres límites: el de *retracción* o *consistencia* (W_S), que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el *límite plástico* (W_P), que separa el estado semisólido del plástico y el *límite líquido* (W_L), que separa el estado plástico del semilíquido; estos dos últimos (los más usados en la práctica) se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40" (p. 23).

Para un concepto más claro sobre los límites de Atterberg, se puede apreciar la Figura 11.

"La diferencia entre límite líquido (W_L) y el límite plástico de un suelo se define como el *índice de plasticidad* (I_P)" (9) (Das, 2012, p.16)

$$I_p = W_L - W_P$$

" I_P representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido" (3) (González et al., 2002, p.23).

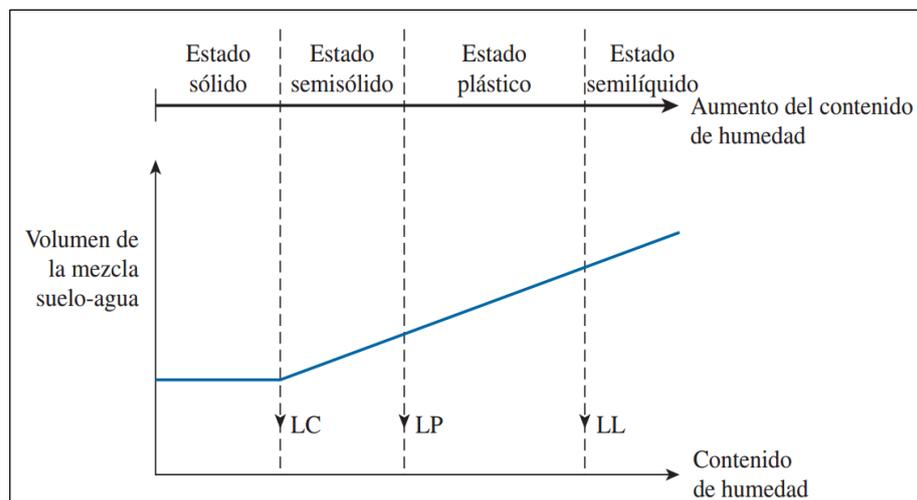


Figura 11: Definición de los límites de Atterberg.

(Fuente: Das, 2012)

Determinados W_L y W_P , se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo en la *carta de plasticidad de Casagrande*, ver Figura 12.

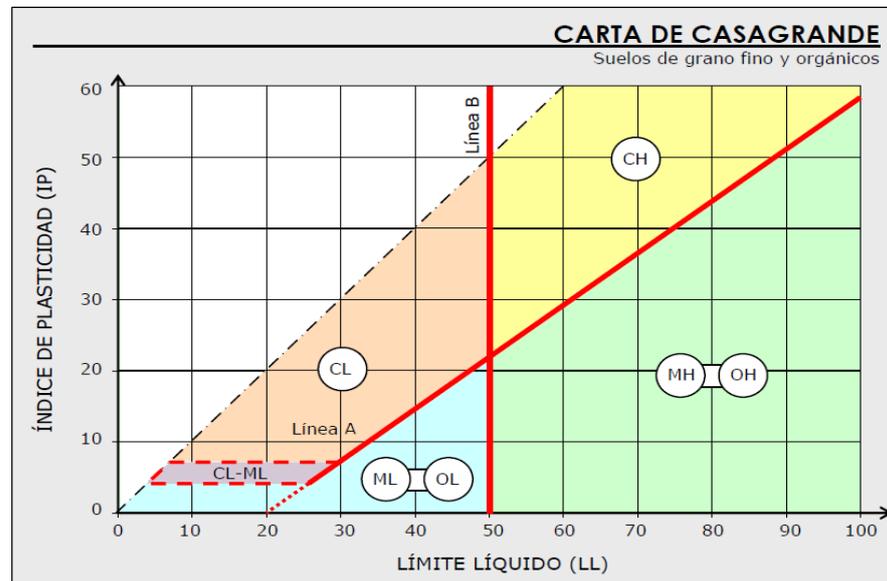


Figura 12: Carta de plasticidad de Casagrande.

(Fuente: Bañón & Beviá, 2000)

2.3.2. Clasificación del suelo

Para la presente investigación se trabajará con el sistema que es ampliamente más utilizado SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos).

El sistema Unificado fue originalmente propuesto por Casagrande en la década de los cuarenta para la construcción de aeropuertos, pero fue modificado en 1952. “Finalmente en 1969 fue adoptado por la ASTM (American Society for Testing and Materials) como el método estándar de clasificación de suelos para propósitos ingenieriles, ASTM D-2487-69” (8) (Berry & Reid, 1995, p.40).

Los suelos granulares según SUCS se designan con el siguiente grupo de símbolos y su significado, ver tabla 2.

Tabla 2: Símbolos de grupos (SUCS)
(Fuente: Bañón & Beviá, 2000 y Berry & Reid, 1995)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUBFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Mal graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Baja plasticidad (< 50%)	L
Turba	Pt	Alta plasticidad (> 50%)	H

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo, ver tabla 3.

Tabla 3: Tipología de Suelos (SUCS)
(Fuente: Bañón & Beviá, 2000 y Berry & Reid, 1995)

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
GW	GRAVAS 50% o más es retenido en tamiz Nº 4	Limpias	Gravas bien graduadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos
GP		Con finos	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal graduadas con pocos finos o sin finos
GM	ARENAS Más del 50% pasa por el tamiz Nº 4	Limpias	Gravas limosas, mezclas de gravas-arena y limo
GC		Con finos	gravas arcillosas, mezclas de gravas-arena y arcilla
ML	LIMOS		LL < 50%
MH			LL > 50%
CL	ARCILLAS		LL < 50%
CH			LL > 50%
OL	SUELOS ORGÁNICOS		LL < 50%
OH			LL > 50%
Pt	TURBA		Suelo altamente orgánico

2.4. RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE

La resistencia al corte del suelo no puede considerarse como un parámetro único y constante, ya que depende de su estructura, y especialmente de su estado tensional y de la presión del fluido que rellena sus poros (3) (González et al., 2002, p. 74).

Un suelo siempre va a fallar por corte, es por ello que se necesita conocer su resistencia al esfuerzo cortante o su resistencia al corte, el conocer su resistencia al corte de un suelo nos permite realizar un buen análisis y/o diseño relacionado con la estabilidad del suelo.

En la actualidad se emplea el criterio de falla de Mohr-Coulomb con una envolvente de falla curva Figura 15. (10) (Hernández, 2008)

2.4.1. Ecuación de falla de Mohr-Coulomb

La ecuación de falla de Mohr-Coulomb se expresa en términos de esfuerzos efectivos.

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Donde:

τ_f : Resistencia al corte del suelo, en kg/cm².

C : Cohesión efectiva del suelo, en kg/cm².

σ' : Esfuerzo normal efectivo en el plano de corte, en kg/cm².

ϕ' : Ángulo de fricción efectiva.

(1) Crespo (2004) define *cohesión* “como la adherencia entre partículas del suelo debido a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares” (p.162).

(1) Crespo (2004) menciona que “el *ángulo de fricción* interna depende de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y forma de los granos y de la presión normal” (p.163).

Existen diversas maneras de obtener la cohesión de un suelo y su ángulo de fricción las más usadas son: a) por medio del aparato de corte directo ideado por Arthur Casagrande y b) por la prueba de compresión triaxial.

2.4.2. Ensayo de corte directo

La muestra inalterada se coloca en su interior y se somete a un esfuerzo tangencial T y a una carga N . Haciendo variar la carga N , se van observando los correspondientes esfuerzos de ruptura T y con esos valores se traza la envolvente de los círculos de Mohr que dará a conocer el valor de C , ordenada en el origen y el ángulo de fricción ϕ , así mismo éstos se encuentran actualmente limitados a los suelos limosos con características intermedias entre la arena y la arcilla (1) (Crespo , 2004, p. 163).

En la Figura 13, se aprecia el equipo de prueba para realizar los ensayos de corte directo.

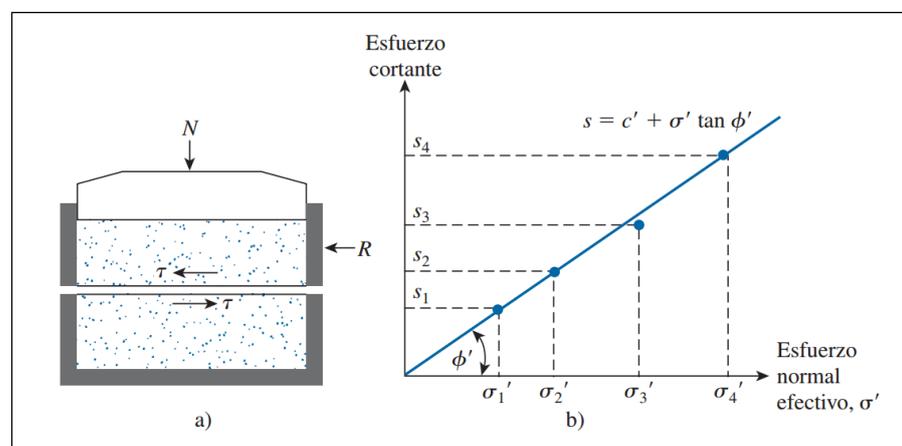


Figura 13: Ensayo de corte directo a) equipo de prueba; b) resultado de prueba

(Fuente: Das, 2012)

2.4.3. Ensayo de compresión triaxial

Es el ensayo de laboratorio más difundido para el estudio de la resistencia al corte de los suelos, aunque con algunas limitaciones, esta prueba resulta muy versátil y permite obtener una buena y variada información sobre la resistencia del suelo en diversas condiciones controlables a voluntad (3) (González et al., 2002, p. 84).

Las pruebas de compresión triaxial se puede realizar en arenas y arcillas. En la Figura 14 se muestra un diagrama esquemático de la configuración de la prueba triaxial. En esencia, la prueba consiste en colocar una muestra de suelo confinada por una membrana de caucho en una cámara de lucita y luego se aplica una presión de confinamiento (σ_3) alrededor de la muestra mediante un fluido en la cámara (por lo general agua). También se puede aplicar un esfuerzo agregado ($\Delta\sigma$) a la muestra en la dirección axial para causar la falla. Pueden permitirse el drenaje de la muestra o detenerse, dependiendo de la condición de la prueba. Para arcillas, se puede efectuar tres tipos de pruebas: a) consolidado-drenado; b) consolidado-no drenado; c) no consolidado-no drenado (9) (Das, 2012, p.49).

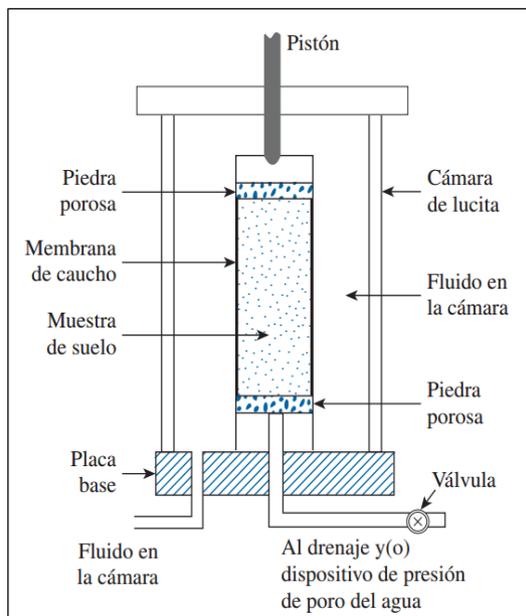


Figura 14: Equipo de ensayo triaxial

(Fuente: Das, 2012)

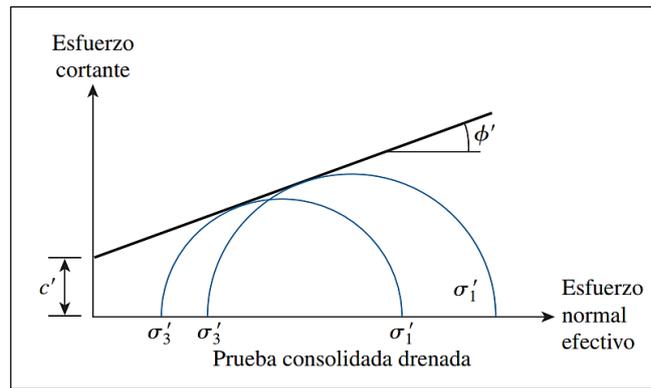


Figura 15: Envolvente de falla

(Fuente: Das, 2012)

2.4.4. Ensayo Proctor estándar

(11) Das (2001) menciona que:

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan en una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual (p. 51). Figura 16.

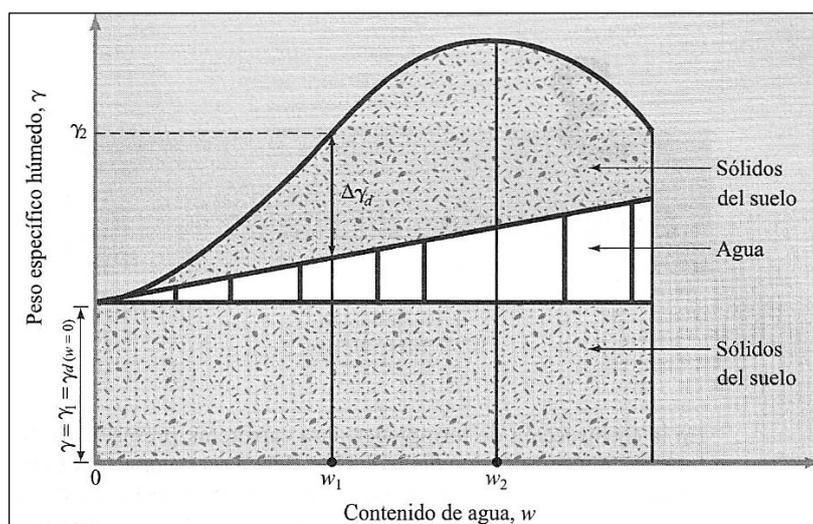


Figura 16: Principios de compactación

(Fuente: Das, 2001)

Más allá de un cierto contenido de agua $w_1=w_2$, cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama *contenido de agua óptimo* e *óptimo contenido de humedad (%)*.

La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el *peso específico seco máximo de compactación* y el *contenido de humedad óptima*, es el ensayo de Proctor Estándar, (p. 52).

Figura 17, aprecia el equipo de trabajo del ensayo Proctor estándar, (a) molde; (b) pisón.

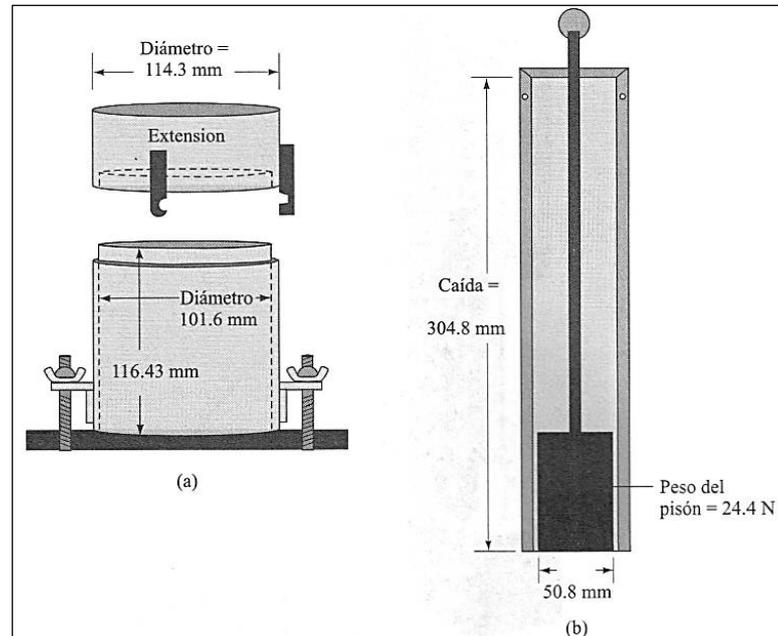


Figura 17: Equipos de la prueba Proctor Estándar

(Fuente: Das, 2001)

Para obtener el peso específico saturado mediante los resultados obtenidos del ensayo Proctor estándar se procede a aplicar la fórmula dada por, (11) Das (2001):

Para 100% de saturación, $e = wG_s$, por lo que (p. 54):

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + wG_s}$$

Donde:

γ_{sat} : Peso específico saturado (kN/m^3)

γ_w : Peso específico del agua (9.81 kN/m^3)

w : Contenido de humedad (%)

G_s : Gravedad específica (2.67 para suelos SC-ML)

2.5. TALUDES

(12) Suarez (1998) menciona que “un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente”, (p. 1). Figura 18.

Se denomina talud a la superficie inclinada con respecto a la horizontal que adoptan las masas de suelo cuando se encuentran libremente en la naturaleza (laderas); cuando se depositan o almacenan en una superficie (talud reposo); cuando se construyen terraplenes (talud de terraplén) o cuando se excava el suelo en el banqueo de un movimiento de tierra (talud de corte). (13) (Polo Aguilar, 2005, citado en Contramestre & González, 2007).

Existen muchas definiciones de talud, pero la que más resalta es la que presenta cualquier superficie del terreno con respecto a al horizontal, las cuales se dan en la formación de suelos o rocas, existen taludes naturales los cuales se forman por desgastes, por acumulación y/o por depósitos estos son conocidos como suelos residuales, los taludes artificiales están constituidos por la intervención humana, en la ejecución y/o construcción de carreteras, canales, ferrocarriles y presas.

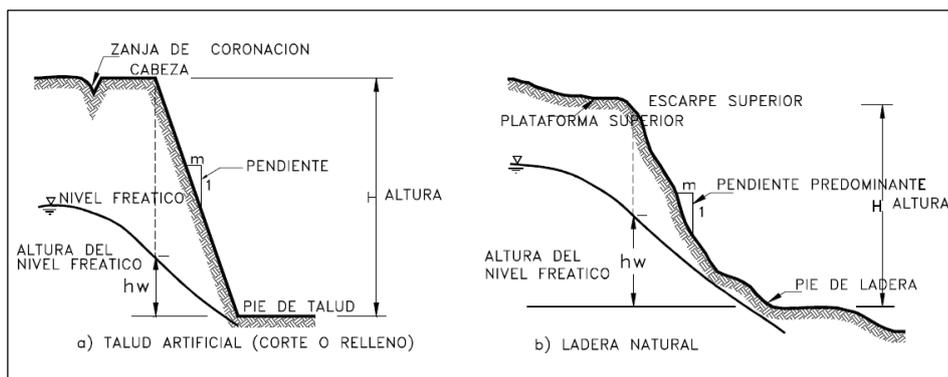


Figura 18: Nomenclatura de taludes y laderas
(Fuente: Suarez, 1998)

2.6. TIPOS DE MOVIMIENTO DE TALUDES

“Los tipos de movimientos de taludes y/o laderas dependen de los criterios utilizados para su diferenciación. La clasificación usada en la presente investigación se basa principalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos” (14) (Jiménez , 2005,p.16).

“Los tipos de movimientos se subdividen de acuerdo con los materiales formados, los cuales pueden ser rocas, detritos o derrubios y suelos” (15) (Alcántara, 1999, p.9).

2.6.1. Deslizamientos

En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido. La velocidad suele ser variable e implican a volúmenes grandes en general, aunque no siempre. (14) (Jiménez , 2005, p. 16), Figura 19.

Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, las cuales se localizan en la zona que ocupará el escarpe principal (15) (Alcántara, 1999, p.11).

La superficie de rotura define el tipo de deslizamiento rotacional: curvas, concavas o en forma de cuchara.

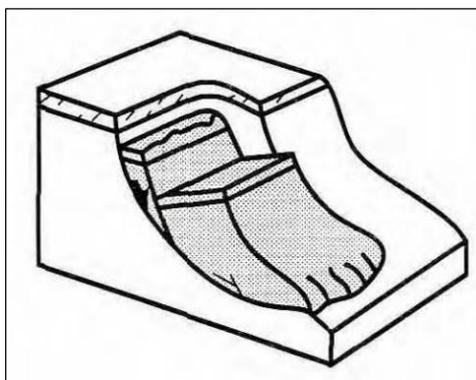


Figura 19: Deslizamientos

(Fuente: Alcántara, 1999)

Deslizamientos rotacionales: Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava, Figura 20. (16) (IGME, 1986, p. 17)

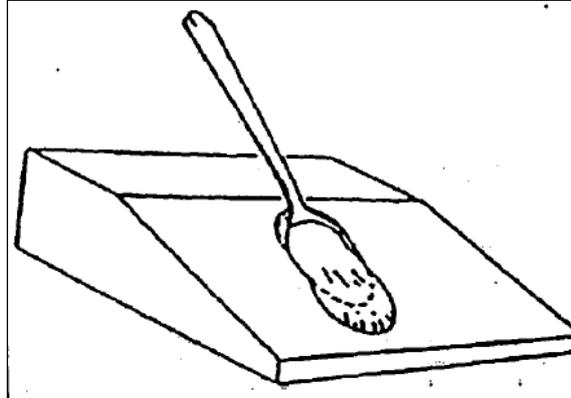


Figura 20: Rotura típica en forma de cuchara
(Fuente: IGME, 1986, citado en VARNES, 1978).

El movimiento tiene una naturaleza más o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud, Figura 21. (16) (IGME, 1986, p. 17)

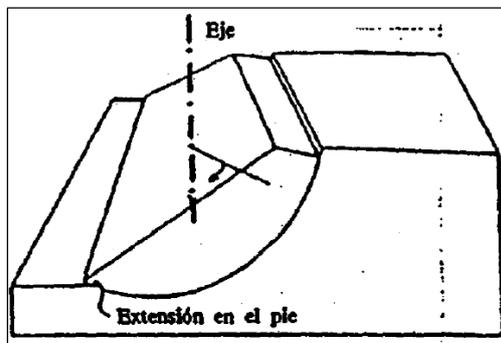


Figura 21: Rotura típica con forma cilíndrica
(Fuente: IGME, 1986, citado en VARNES, 1978).

La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes diferentes del talud, según las características resistentes del material, altura e inclinación del talud, etc. Figura 22.

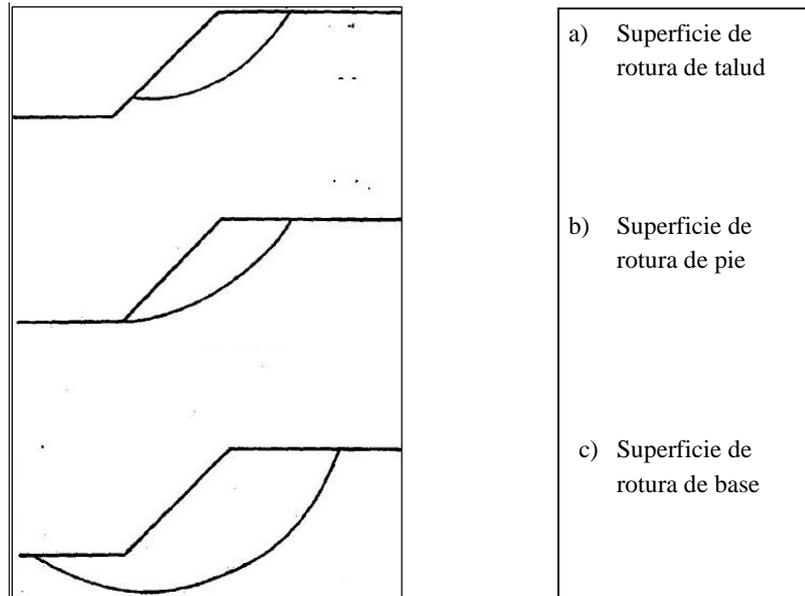


Figura 22: Diferentes superficies circulares de rotura

(Fuente: IGME, 1986).

Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie, se denomina *superficie de rotura de talud*. (16) (IGME, 1986, p. 18)

Cuando la salida se produce por el pie de talud y queda por encima de la base de dicho talud, recibe el nombre de *superficie de rotura de pie de talud*.

Si la superficie de rotura pasa bajo el pie de talud con salida en la base del mismo y alejada del pie, se denomina *superficie de rotura de base de talud*.

La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de rotura en el pie del deslizamiento.

Partes de un deslizamiento

En la Figura 23, se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa. Las partes principales según (17) Corrales (2013) son las siguientes:

- *Cabeza*: parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.
- *Cima*: el punto más alto de la cabeza, contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- *Corona*: el material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- *Escarpe principal*: superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material.

La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de falla.

- *Escarpe secundario*: superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
- *Superficie de falla*: área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de falla no se mueve. Mientras el que se encuentra por encima de esta, se desplaza.
- *Pie de la superficie de falla*: la línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- *Base*: el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

- *Punta o uña*: el punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- *Cuerpo principal del deslizamiento*: el material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
- *Superficie original del terreno*: la superficie que existía antes de que se presentará el movimiento.
- *Costado o flanco*: un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco izquierdo y derecho.

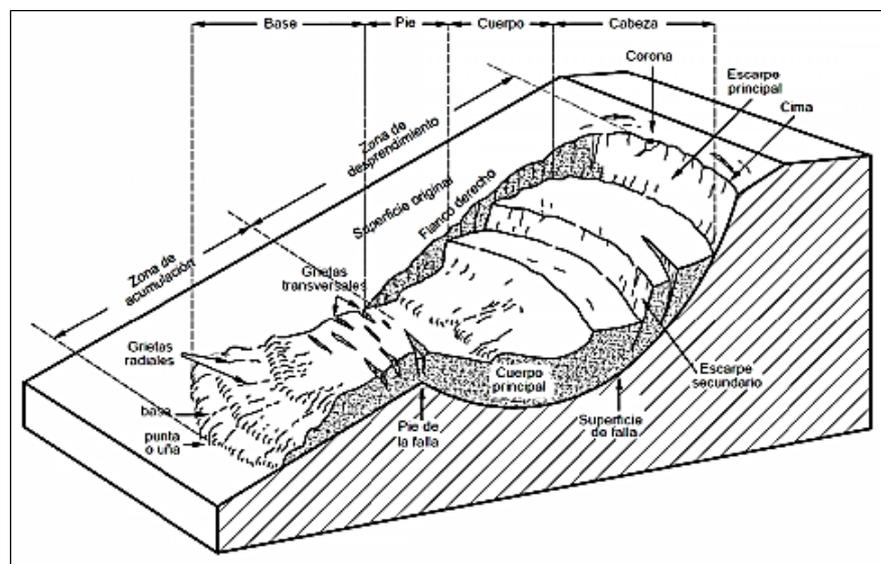


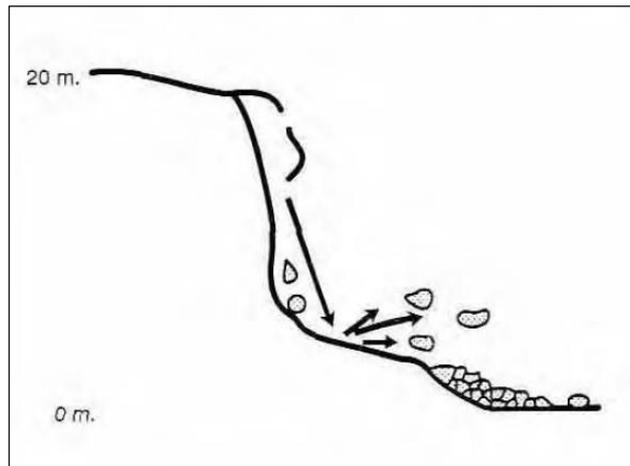
Figura 23: Partes de un deslizamiento

(Fuente: Corrales, 2013)

2.6.2. Desprendimientos o caídas

(14) Jiménez (2005) menciona que, corresponde al movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macisos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades. Ver Figura 24. Este tipo de movimiento requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera (p.18).

La velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente rápida, a excepción de cuando la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (15) (Cruden y Varnes, 1996, citado en Alcántara, 1999).



*Figura 24: Desprendimiento o caídas
(Fuente: Alcántara, 1999).*

2.6.3. Vuelcos o desplomes

Consisten en la rotación de una masa de suelo o rocas en torno a un eje determinado por su centro de gravedad, su movimiento es hacia adelante o hacia la parte externa, por lo cual involucra inclinación, pero no implica colapsamiento. Frecuentemente ocurre en una o más superficies, en materiales que poseen un sistema de discontinuidades preferencial como diaclasas, grietas de tensión o superficies columnares. Se clasifican en vuelcos o desplomes de rocas y suelos. Figura 25 (15) (Alcántara, 1999, p.11).

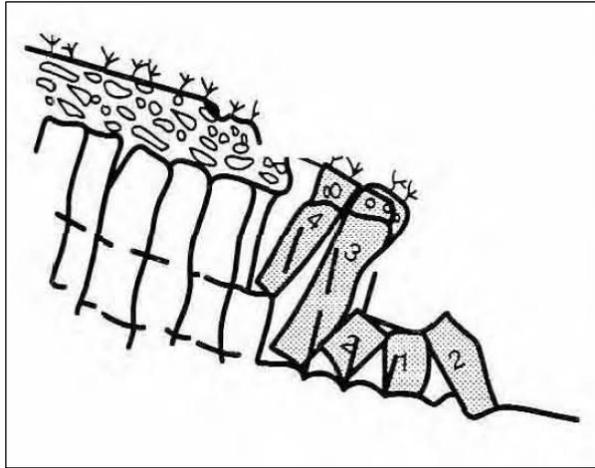


Figura 25: Vuelcos o desplomes
(Fuente: Alcántara, 1999)

2.6.4. Flujos

Son movimientos espacialmente continuos, en los que las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y, por consiguiente, difíciles de observar. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un fluido viscoso, razón por la que la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento intergranular. Los flujos envuelven todos los tipos de materiales disponibles y se clasifican en base a su contenido, por tanto, se dividen en flujos de rocas, flujos o corrientes de derrubios y flujos de arena o suelo, Figura 26. (15) (Alcántara, 1999, p.12).

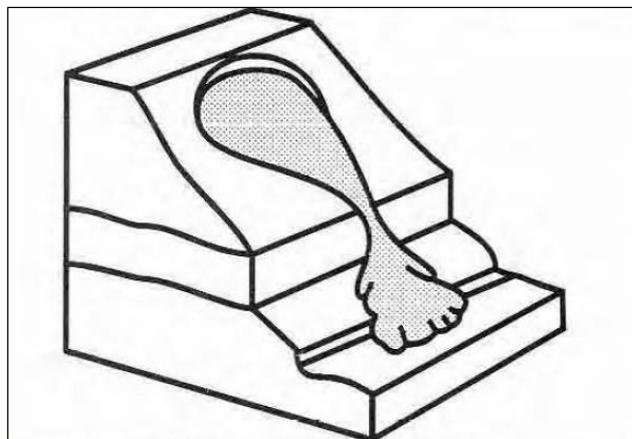


Figura 26: Flujos
(Fuente: Alcántara, 1999)

2.6.5. Movimientos complejos

Una idea de Antoine (1992) leída en una publicación de (14) Jiménez (2005) menciona que: “los movimientos complejos son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementalmente descritos anteriormente. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño, afectando, a veces, a laderas completas”.

2.7. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

Los factores desencadenantes, son aquellos que inician el movimiento debido a la modificación, frecuentemente rápida, de las condiciones preexistentes de estabilidad. Entre estos destacan la precipitación (intensa o acumulada), que implica el aumento de contenido de agua y la presión intersticial del suelo, y la actividad sísmica, que producen un aumento del esfuerzo (14) (Jiménez , 2005, p.28).

Los factores condicionantes son aquellos que condicionan la estabilidad sin que esta se inicie (equilibrio límite). La combinación de los factores determinan la relación entre las fuerzas resistentes y activadoras de la inestabilidad. Los factores condicionantes dependen bien de la naturaleza de los materiales (litología, textura, discontinuidades, etc.) o de la morfología del terreno (pendiente, orientación, altitud, curvatura, etc.) (14) (Jiménez , 2005, p.28).

El conocimiento de los factores condicionantes y desencadenantes permitirá un correcto análisis de talud, la evaluación del estado de estabilidad del mismo y, en su caso, el diseño de las medidas que deberán ser adoptadas para evitar o estabilizar los movimientos (3) (González et al., 2002, p.433).

2.8. INCERTIDUMBRE EN GEOTÉCNIA

(18) Hidalgo & Pacheco (2011) menciona que,

La incertidumbre epistémica o en el conocimiento, es atribuida a la carencia de datos, ausencia de información acerca de eventos y procesos, o a la falta de entendimiento en las leyes físicas que limitan la habilidad para modelar el mundo real.

En aplicaciones geotécnicas, la incertidumbre epistémica se puede dividir en tres subcategorías: (a) incertidumbre en la caracterización del sitio, (b) incertidumbre en los modelos e (c) incertidumbre en los parámetros.

- (a) La incertidumbre en la caracterización del sitio depende de la adecuada interpretación que se le hace a la geología superficial. Esto resulta de la incertidumbre de los datos y la exploración, incluyendo errores de medición inconsistencia y heterogeneidad de los datos, manipulación de los datos y errores de transcripción, e inadecuada representatividad del muestreo debido a limitaciones de tiempo, espacio y económicas a la hora de hacer la exploración y el muestreo.
- (b) La incertidumbre de los modelos depende del nivel de precisión con que el modelo matemático escogido representa la realidad.
- (c) La incertidumbre en los parámetros depende de la precisión con que los parámetros del modelo pueden ser estimados, resulta de la inexactitud en la determinación de los valores de los parámetros a partir de ensayos o calibración de datos.

En cuanto a la obtención de los parámetros del suelo se pueden destacar las siguientes fuentes de incertidumbre:

- Error estadístico debido a la cantidad insuficiente de ensayos. Muchos autores presentan indicaciones buscando minimizar esta condición.

- Errores de ensayos son aquellos asociados a la precisión de calibración y mediciones, la exactitud de las lecturas, etc.
- *Evidencias contradictorias, en ocasiones los resultados de un modelo pueden aparecer en contradicción con otros resultados o con la evidencia de campo, es necesario evaluar si estas contradicciones se deben a errores o están realmente presentes.*

Cuando no se dispone de un número suficiente de ensayos, se puede, con carácter preliminar, utilizar coeficientes de variación estimados, a partir de valores típicos que han mostrado tener poca sensibilidad temporal y espacial.

En la tabla 4, se presentan rangos típicos de coeficientes de variación de los parámetros geotécnicos de interés para el análisis de estabilidad de talud (pp. 71-72).

Tabla 4: Valores típicos de coeficiente de variación.

(Fuente: Hidalgo & Pacheco 2011)

Parámetro	Coficiente de variación (%)
Cohesión	40 (20 a 80)
Ángulo de fricción	2 a 13
	3.7 a 9.3 arenas
	7.5 a 10.1 arcillas

2.8.1. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad mide cuanto puede llegar a afectar a los resultados de un modelo variaciones relativamente pequeñas en los valores de los parámetros. Tiene un gran número de utilidades. (19) (Murcia, 2008)

- Sirve para comprobar la lógica interna de un modelo, ayuda a entender como funciona el modelo correctamente y aprender más acerca de su funcionamiento.

- Para definir la importancia de cada parámetro lo que servirá para determinar el grado de esfuerzo que debe prestarse a su medición o muestreo.

El análisis de sensibilidad suele hacerse ejecutando el modelo para diversos valores del parámetro cuya sensibilidad quiere calcularse dejando fijo todos los demás. Otra consideración importante es que si el modelo es muy sensible a un parámetro pero este varía muy poco, dicha sensibilidad no va a ser relevante.

2.9. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD

(3) González et al., (2002) menciona que

“Los análisis permiten definir la geometría de la excavación o las fuerzas externas que deben ser aplicadas para lograr el factor de seguridad requerido. En caso de taludes inestables, los análisis permiten diseñar las medidas de corrección o estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos” (p. 22).

“Los análisis de estabilidad en el caso de los taludes y/o laderas tienen por objetivo estimar su nivel de seguridad y, según el resultado obtenido, implementar medidas correctivas o de estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos de masa” (20) (Sanhueza & Rodríguez, 2013).

Los análisis a posteriori de taludes (back-analysis) se realizan una vez que la rotura se ha producido, y, por tanto, se conoce el mecanismo, modelo, y geometría de la inestabilidad. Es un análisis muy útil para la caracterización geométrica de los materiales involucrados, para el estudio de los factores influyentes en la rotura y para conocer el comportamiento mecánico de los materiales del talud (...). Estos análisis consisten en determinar, a partir de los datos de campo necesarios (geometría, tipos de materiales, modelos de rotura, presiones hidrostáticas, etc.), los parámetros resistentes del terreno, generalmente pares de valores c y ϕ , que cumplen la condición de equilibrio estricto de

talud (es decir, $F=1.0$) a lo largo de la superficie de rotura, para las condiciones reales en que ésta tuvo lugar. (3) (González et al., 2002, p.445).

2.10. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se pueden agrupar en dos: métodos determinísticos, dentro de los cuales están los *métodos de equilibrio límite* y los *tenso-deformacionales*; y los métodos probabilísticos. (3) (González et al., 2002, p.445)

Los más utilizados son los métodos de equilibrio límite, los cuales analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; y la definición de un factor de seguridad.

2.10.1. Clasificación de los métodos de cálculo

(16) IGME (1986), menciona que los métodos de cálculos para analizar la estabilidad de un talud se pueden clasificar en dos grandes grupos (p.187):

✓ *Método de cálculo en deformaciones:*

Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos.

✓ *Método de equilibrio límite:*

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

Estos se clasifican en dos grupos:

- Métodos exactos. La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite. Esto sólo es posible en casos de geometría sencilla como por ejemplo planar y roturas por cuñas.
- Métodos no exactos. En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura permite una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las ecuaciones de la estática.

Se puede distinguir aquí entre los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante (método del círculo de fricción o de rozamiento), hoy prácticamente en desuso, y los métodos de *dovelas* que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

En los métodos de *dovelas* dicha distribución no es un dato del problema sino un resultado de su resolución.

Según IGME (1986), los métodos de *dovelas* se clasifican en dos grupos (p.188):

- *Métodos aproximados.*
No cumplen todas las ecuaciones de la estática. Se pueden citar como ejemplos los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.
- *Métodos precisos o completos.*
Cumple todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los métodos de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.

Para poder apreciar y así mismo poder tener un mejor entendimiento sobre los métodos de cálculo vease la Figura 27.

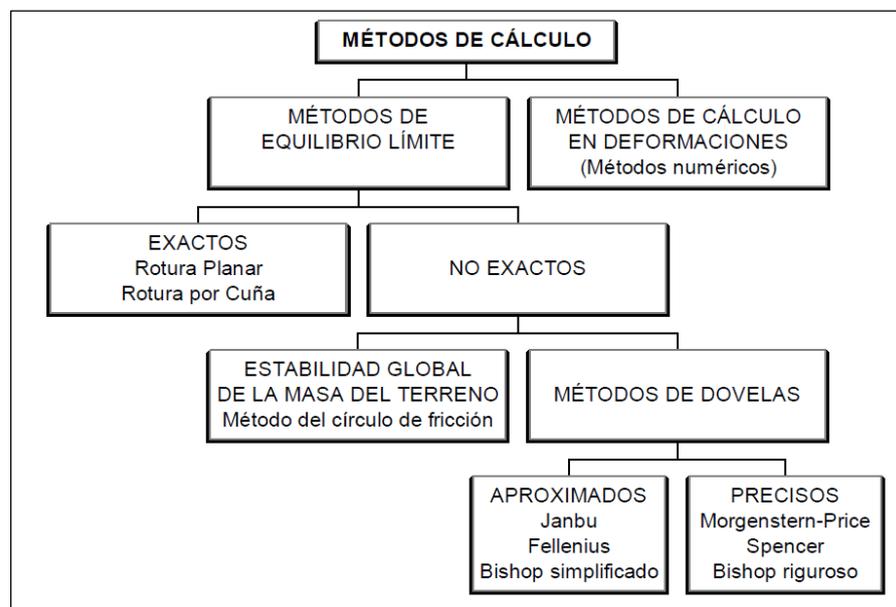


Figura 27: Clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes

(Fuente: Herrera, 2003)

2.10.2. Métodos de equilibrio límite

(3) González et al., (2002) menciona que, los métodos de equilibrio límite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. (p.446).

El método de equilibrio límite, fue desarrollado por diferentes autores que con el pasar de los años fueron mejorando su aplicación de fuerzas y momentos en las dovelas, todos estos autores trabajan con el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, para así poder obtener un Factor de Seguridad.

(12) Suarez (1998) menciona que, “el sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0” (p. 121)

En la tabla N° 5, se aprecia los diferentes métodos de equilibrio límite que han sido desarrollados con el pasar de los años, así mismo se aprecian la superficie de falla y las condiciones de equilibrio con las que se desarrolla.

Tabla 5: Métodos de análisis de estabilidad de taludes

(Fuente: Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2002)

METODOS	CIRCULAR	NO CIRCULAR	$\Sigma M=0$	$\Sigma F=0$
Ordinario/ Fellenius	✓	-	✓	-
Bishop simplificado	✓	(*)	✓	(**)
Janbu simplificado	(*)	✓	-	✓
Janbu GPS	✓	✓	(***)	✓
Lowe-Karafiath	-	✓	-	✓
Corps of Engrs.	-	✓	-	✓
Sarma	✓	✓	✓	✓
Spencer	✓	(*)	✓	✓
Morgenst-Price	✓	✓	✓	✓

(*) Puede utilizarse tanto para superficies de falla circular como no circulares.

(**) Satisface el equilibrio de fuerza vertical para la fuerza normal de base.

(***) Satisface el equilibrio del momento para los trozos finos intermedios.

2.10.3. Métodos de las dovelas

(16) IGME (1986) menciona que, Los métodos de las dovelas consideran el problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo.

La zona del terreno potencialmente deslizante se divide en una serie de fajas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de ellas. Figura 28

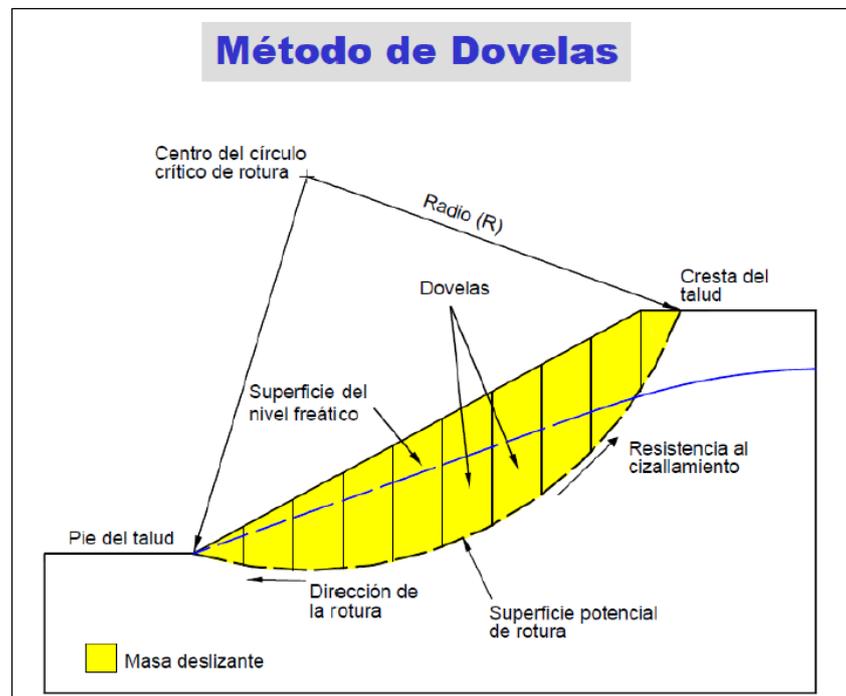


Figura 28: División de la masa deslizante en fajas verticales o dovelas
(Fuente: Gavilanes, s.f.)

La gran utilización que tienen actualmente los métodos de las dovelas se debe a que se pueden aplicar a una gran generalidad de problemas con un grado razonable de exactitud en la gran mayoría de los casos. Permiten considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de cargas externas actuando sobre el talud, la existencia de materiales de diferentes características y, en muchos casos, son aplicables a superficies de rotura de cualquier forma. (p.189)

2.10.4. Factor de seguridad

(12) Suarez (1998) menciona que, el Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cual es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para la cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el 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:

$$F.S. = \frac{\textit{Resistencia al corte}}{\textit{Esfuerzo al cortante}}$$

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

$$F.S. = \frac{\textit{Momento resistente}}{\textit{Momento actuante}}$$

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo y se obtiene un indicador del Factor de seguridad.

Lo que se usará para el cálculo del factor de seguridad de la presente investigación es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada o dovela se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos. (p. 123)

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias al corte}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

2.11. MÉTODOS DE CÁLCULO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación, se utilizó el método de equilibrio límite, método de las dovelas, considerando los métodos *Morgens-tern-Price*, *Spencer* y *Bishop Simplificado*, para así poder realizar un cuadro comparativo sobre la diferencia del F.S.

Se realizará un resumen de los métodos con los cuales se trabajó en la presente investigación (*Morgenstern-Price*, *Spencer* y *Bishop Simplificado*), con el objetivo de conocer sus principales diferencias y enfoques para determinar el F.S.

2.11.1. Método de Morgenstern-Price

(21) Krishna (2006) menciona en su tesis doctoral, que el Método de Morgenstern-Price (M-PM), también satisface los equilibrios de fuerza y momento así mismo asume la función de la fuerza intersticial. Según M-PM (1965), la inclinación de la fuerza intersticial puede variar con una función arbitraria ($f(x)$) como:

$$T = f(x) \cdot \lambda \cdot E \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$f(x)$: Función de la fuerza intersticial que varia continuamente a lo largo de la superficie de deslizamiento.

λ : Factor de escala de la función asumida

El método sugiere asumir cualquier tipo de función de fuerza, por ejemplo semi-seno, trapezoidal o definido por el usuario. Las relaciones para la fuerza normal de base (N) y la fuerzas intersticiales (E,T) son las mismas que se dan en el Método de Janbu. Para una función de fuerza dada, las fuerzas

intersticiales se calculan por el procedimiento de iteración hasta que, F_f es igual a F_m en las ecuaciones (2) y (3) (Nash 1987). Las derivaciones de los equilibrios de fuerza y momentos del F.S. (p.16) se presentan en el apéndice G.

$$F_f = \frac{\sum\{c'l + (N - ul) \tan \phi'\} \sec \alpha}{\sum\{W - (T_2 - t_1)\} \tan \alpha + \sum(E_2 - E_1)} \dots\dots\dots (2)$$

$$F_m = \frac{\sum(c'l + (N - ul) \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (3)$$

En resumen, M-PM

- Ambos consideran las fuerzas intersticiales
- Asumen una función de fuerza intersticial, $f(x)$
- Permite la selección para la función de la fuerza intersticial
- Calcula el F.S. tanto para la fuerza como para el equilibrio de momentos.

Las fuerzas consideradas se muestran en la Figura 29.

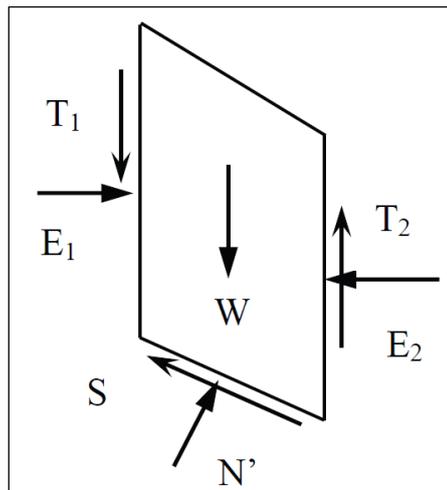


Figura 29: Distribución de fuerzas. Método Morgen-Price
(Fuente: Krishna, 2006)

Apendice G, las derivaciones del F.S. basadas en el equilibrio de fuerzas y momento se presenta en la ecuación (4)

$$F_f = \frac{\sum(c'l + (N - ul) \tan \phi') \sec \alpha}{\sum W \tan \alpha + \sum \Delta E} \dots \dots (4)$$

2.11.2. Método de Spencer

(21) Krishna (2006) menciona en su tesis doctoral que, El método de Spencer (SM) es el mismo que el M-MP, excepto la suposición hecha de las fuerzas intersticiales. Se asume una inclinación constante para las fuerzas intersticiales y se calcula el F.S. para ambos equilibrios (Spencer 1967). De acuerdo con este método, la fuerza de corte entre intersticios está relacionada con:

$$T = E \tan \theta \dots \dots \dots (5)$$

En resumen, SM

- Ambos consideran las fuerzas intersticiales.
- Asume una función constante de la fuerza de la fuerza intersticial.
- Ambos satisfacen el equilibrio de momentos y de fuerzas.
- Calcula el F.S. el equilibrio de momentos y fuerza (p.17).

Las fuerzas consideradas se muestran en la Figura 30.

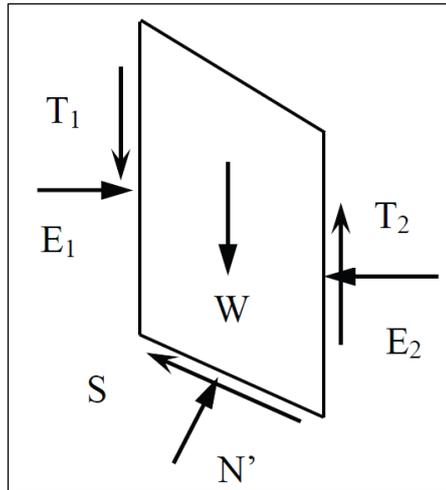


Figura 30: Distribución de fuerzas. Método Spencer
(Fuente: Krishna, 2006)

2.11.3. Bishop Simplificado

Una idea de Abramson, et al. Leída en la tesis doctoral de (21) Krishna (2006): “El método simplificado de Bishop (BSM) es muy común en la práctica para la superficie de corte circular, (SS). Este método considera las fuerzas normales intersticiales pero descuida las fuerzas de corte intersticial” (P. 10).

Según (21) Krishna (2006), Además, satisface el equilibrio de las fuerzas verticales para determinar la fuerza normal de base efectiva (\$N'\$), que viene dada por:

$$N' = \frac{1}{m_\alpha} \sum (W - \frac{c'l \sin \alpha}{F} - ul \cos \alpha) \dots \dots \dots (6)$$

Donde,

$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{F} \right) \dots \dots \dots (7)$$

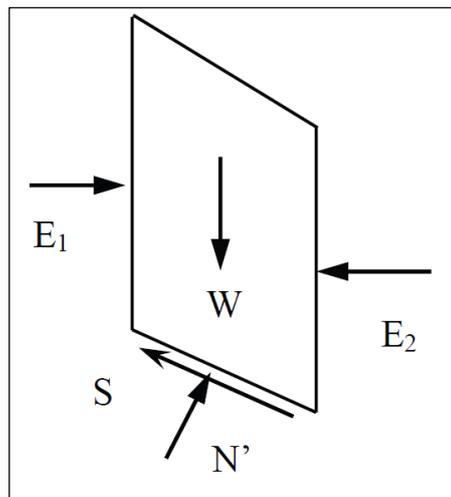
Dado que el BSM también supone una superficie de falla circular, se utiliza la ecuación (8) para determinar el F.S. Sin embargo, el cálculo requiere un procedimiento iterativo debido a la relación no lineal.

$$F_m = \frac{\sum(c'l + N' \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \dots \dots \dots (8)$$

En resumen, BMS

- Satisface el equilibrio de momentos para el F.S.
- Satisface el equilibrio de fuerzas verticales para N.
- Considera la fuerza normal intersticial.
- Es el más común en la práctica.
- Se aplica principalmente para superficies de corte circular.

Las fuerzas consideradas se muestran en la Figura 31.



*Figura 31: Distribución de fuerzas, Método Bishop Simplificado
(Fuente: Krishna, 2006)*

2.12. SISMOS EN TALUDES

(22) Suárez (2005) menciona que:

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas. En la Figura 32, se aprecia la llegada de las ondas sísmicas, donde primero, se sienten las ondas (P), luego las (S) y finalmente, las ondas (Love) y las ondas (superficiales).

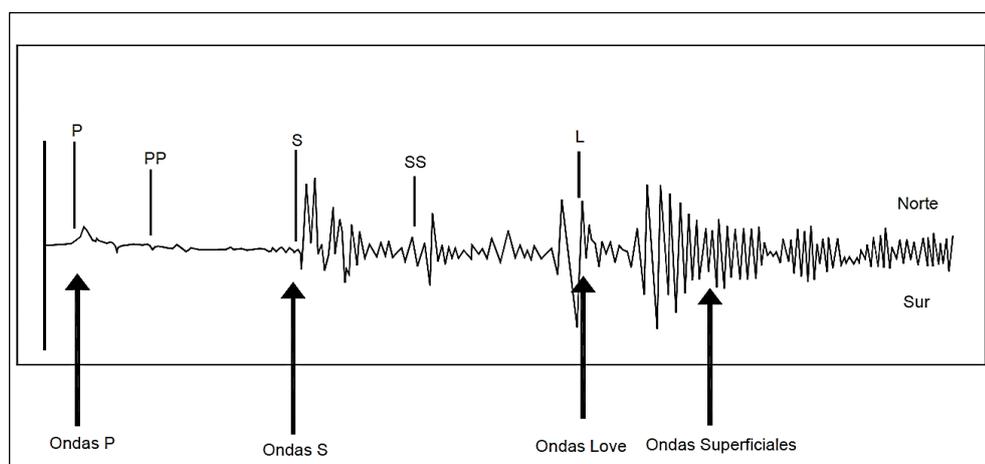


Figura 32: Llegada de las ondas sísmicas

(Fuente: Suárez, 2005)

Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos de tierra, ver Figura 33. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados (p. 267).

Existen algunos factores que se aplicaron en la presente investigación, para el análisis de taludes expuestos a factores desencadenantes como los eventos sísmicos:

- El valor de las fuerzas sísmicas aplicadas sobre las masas de suelo potencialmente deslizable, en este caso el software Slide, calcula la fuerza sísmica usando la segunda ley de Newton ($F=m*a$).

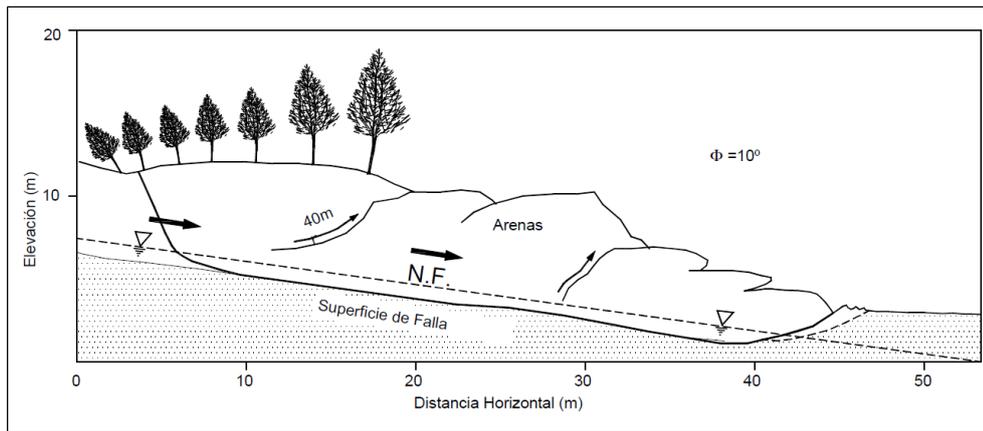


Figura 33: Deslizamiento de tierra de Takarazuka en el Japón activado por un sismo.

(Fuente: Suárez, 2005)

2.12.1. Evaluación de Peligro Sísmico

(23) Castillo & Alva (1993), menciona que:

El peligro sísmico se define por la probabilidad en que un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad mayor o igual que un valor fijado. (...) la ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la Teoría de las probabilidades es aplicable en el análisis del riesgo de su ocurrencia (P. 6)

➤ Nivel de confianza

En el presente estudio de peligro sísmico, el nivel de excedencia o probabilidad de excedencia (P_e), se define como la probabilidad que, en un tiempo determinado (tiempo de vida útil o tiempo de operación, t_o) ocurra un sismo de intensidad igual o mayor a una intensidad dada (23) (Castillo & Alva, 1993).

La probabilidad de excedencia se expresa de la siguiente manera:

$$P_e = 1 - e^{\frac{-t_o}{t_r}} \dots \dots \dots (a)$$

Donde:

P_e : Probabilidad de excedencia. (0.10)

t_o : Tiempo de operación (años)

t_r : Tiempo de retorno (años) (?)

Los movimientos de diseño que el ingeniero debe seleccionar están asociados a un nivel de excedencia suficientemente pequeño durante la vida útil de la edificación. En la Tabla N° 6, se muestran valores representativos de criterios empleados en la selección de movimientos sísmicos de diseño (23) (Grases, 1989, citado en Castillo & Alva, 1993)

Tabla 6: Valores representativos en la selección de movimientos sísmicos de diseño

(Fuente: Grases, 1989, citado en Castillo & Alva, 1993)

TIPO DE OBRA	TIEMPO DE OPERACIÓN (Años)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	TIEMPO DE RETORNO (Años)
Instalaciones esenciales con capacidad muy limitada para resistir deformaciones inelásticas y peligro de contaminación (contenedor de reactores nucleares).	50 a 100	0.01	> 500
Equipos de S/E eléctricas de alto voltaje.	50	0.03	1600
Puentes o viaductos de arterias principales.	100	0.10	950
Tanques de almacenamiento de combustible.	30	0.05	590
Edificación de viviendas.	50	0.10 - 0.20	225 - 500
Construcciones temporales que no amenacen obras de importancia mayor	15	0.30	40

En la presente investigación se trabajó con una probabilidad de excedencia (Pe) de 0.1, tiempo de operación (to) 50 años,

Para calcular el periodo de retorno (tr) a partir de la ecuación (a), se sigue los siguiente pasos:

$$0.1 = 1 - e^{\frac{-50}{t_r}} \dots \dots \dots (a)$$

$$e^{\frac{-50}{t_r}} = 0.9$$

$$\text{Ln } e^{\frac{-50}{t_r}} = \text{Ln } 0.9$$

$$\text{Ln } e * \frac{-50}{t_r} = \text{Ln } 0.9$$

$$t_r = \frac{-50}{\text{Ln } 0.9} = 475 \text{ años}$$

obteniendo como resultado un periodo de retorno de 475 años.

Con el periodo de retorno (tr) calculado (475 años) se procede a calcular la aceleración espectral ²dando como resultado 0.2145.

Interpretación de los resultados obtenidos:

- *Máximo el 10% de todos los sismos que ocurra en 50 años de operación de la estructura, solo el 10% (máximo) va a exceder el valor de 0.2145.*

La aceleración espectral es la división de la aceleración máxima entre la gravedad. En el capítulo III, se mostrará como calcular la carga del coeficiente sísmico horizontal, lo cual es dato para realiza nuestros análisis Seudoestáticos con el software Slide.

² Para poder calcular la aceleración espectral entrar a la página de SENCICO – Determinación de peligro sísmico.

2.12.2. Aceleración Pico (PGA)

(22) Suárez (2005) menciona que:

La aceleración máxima (PGA) horizontal es el valor absoluto de la aceleración horizontal (...). La aceleración producida por un sismo, la cual está relacionada con la intensidad del movimiento en un determinado sitio, es el parámetro más comúnmente que se va a utilizar en el análisis sísmico de taludes.

Las aceleraciones verticales han recibido una atención menor que las horizontales, debido a que se supone que su efecto sobre las estructuras y taludes es menor. Generalmente, se asume que la aceleración pico vertical es los dos tercios de la aceleración pico horizontal (p. 272).

En la presente investigación para poder obtener la aceleración horizontal y así poder realizar nuestro cálculo con el software Slide, obtendremos como dato, del Reglamento Nacional de Edificaciones, (24) la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente", ver Figura 34 y/o de la Página Web de SENCICO, de los cuáles los datos que nos brinda son mucho más específicos que los de la Norma E.030.

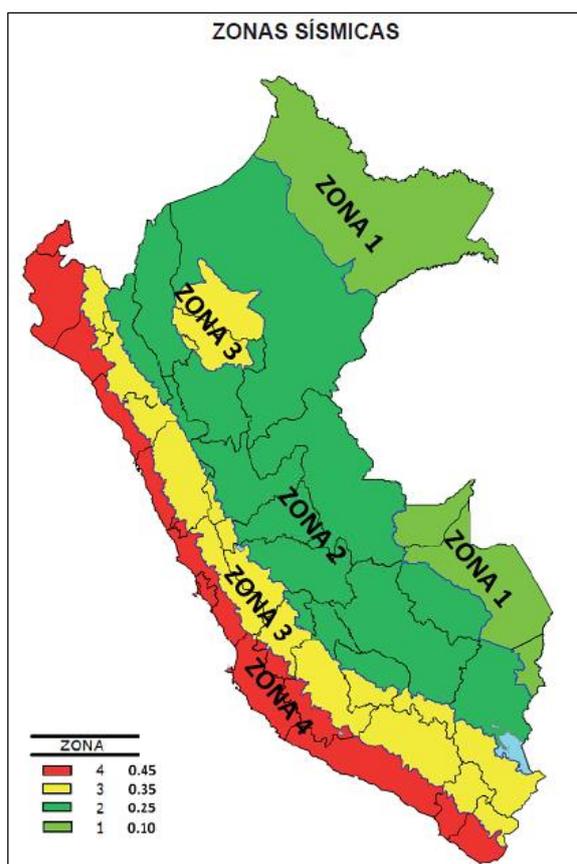


Figura 34: Mapa de Zonificación Sísmica.

(Fuente: El Peruano, 2016)

2.13. SOFTWARE UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los análisis de estabilidad de taludes hoy en día se pueden realizar usando varios software geotécnicos, donde aplica el Método de Equilibrio Límite para poder calcular su Factor de Seguridad Mínimo y determinar la superficie de geometría de falla crítica.

Una introducción sobre los principales trabajos del software que se utiliza en el presente estudio se detalla a continuación.

2.13.1. Software SLIDE 6.0

El software SLIDE, desarrollado por Rocscience Inc. En Toronto Canadá, utiliza el análisis de estabilidad de taludes en suelos y rocas. Utiliza para fines de cálculo el Método de Equilibrio Límite 2D, que puede aplicarse para evaluar la estabilidad de superficies de falla circulares y no circulares, para el análisis de estabilidad

de taludes, así mismo, incluye estados de capacidad de CAD de última generación que permite crear y editar modelos complejos con mucha facilidad, (25) (Rocscience Inc., 2017).

Presentan opciones para medidas de estabilización de taludes que incluyen Muros en voladizo, gaviones, geotextiles, y anclajes.

2.13.2. Características Principales del Software SLIDE 6.0

A continuación se mencionarán las principales características que se debe conocer para poder tener un mejor entendimiento del software.

❖ **Cargas**

Hay una amplia gama de opciones de carga disponibles en el programa SLIDE (25) (Rocscience Inc., 2017):

- *Carga lineal*: Las cargas lineales se puede aplicar en un modelo Slide con la opción de añadir carga lineal. Las cargas lineales representan fuerzas concentradas, con unidades de fuerza/longitud, al considerar la dimensión fuerza del plano.
- *Carga distribuida*: Las cargas distribuidas pueden ser añadidos fácilmente a un modelo. La distribución de la carga bien puede ser constante o triangular. Si se trata de una carga distribuida constante, la única magnitud se define, mientras que si es triangular, se introduce la magnitud en cada extremo de la distribución. Unidad (kN/m^2). Figura 35.
- *Cargas sísmicas*: Las cargas sísmicas (Pseudo-estático), pueden añadirse a un modelo Slide, realiza un análisis, mediante la definición de los coeficientes de carga sísmica en las direcciones horizontal y/o vertical. La fuerza impulsora en cada rebanada debido a

sismicidad se calcula entonces multiplicando el peso de rebanada por el coeficiente de carga sísmica.

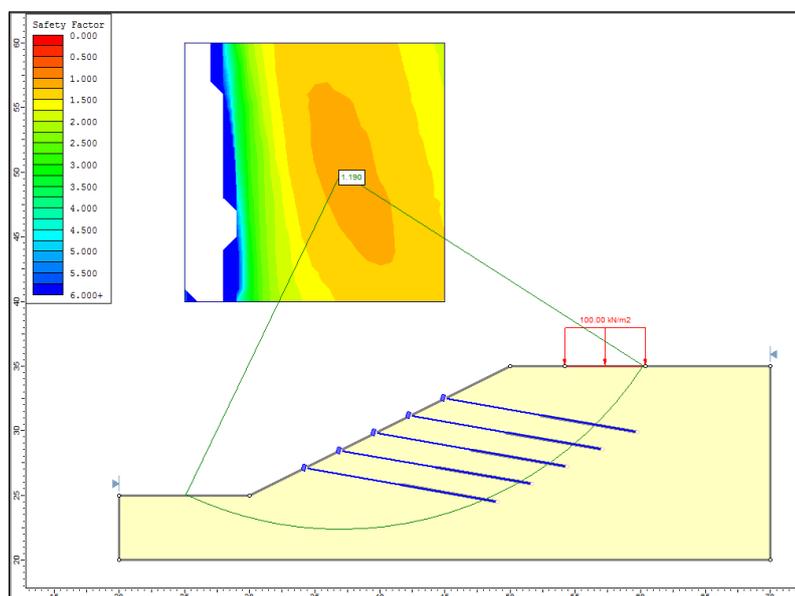


Figura 35: Carga distribuida. Modelo Slide

(Fuente: Rocscience Inc., 2017)

❖ Método de análisis

El software Slide aplica el método de cálculo de Equilibrio Límite, método no exacto, método de las dovelas donde ofrece todo los métodos para el análisis de estabilidad de talud (25) (Rocscience Inc., 2017).

Se menciona los métodos de análisis usados por Slide.

- Ordinario / Fellenius
- Bishop Simplificado
- Janbu Simplificado
- Janbu Corregido
- Spencer
- Ingenieros del Ejército # 1
- Ingenieros del Ejército # 2
- Lowe-Karafiath
- GLE / Morgenstern-Price

❖ Tipos de superficie y métodos de búsqueda

En Slide, el usuario puede definir una cuadrícula o malla (múltiples rejillas) de los centros para su uso en la búsqueda de la superficie de falla circular, compuesto por el factor de seguridad mínimo. El usuario puede definir la red o malla manualmente o decirle al Slide que defina automáticamente. Para cada punto de la cuadrícula sale un número determinado de superficies circulares que se genera en base a un radio mínimo y máximo. El radio mínimo y máximo se determina a partir de la geometría del modelo como se muestra en la Figura 36. (25) (Rocscience Inc., 2017).

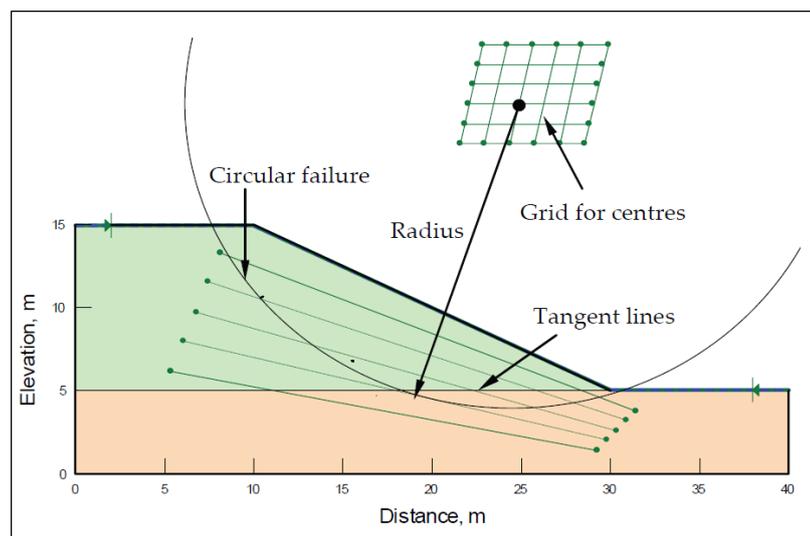


Figura 36: Opción de cuadrícula y radio utilizado para buscar la falla circular.

(Fuente: Krishna, 2006)

El análisis a continuación, calcula los factores de seguridad asociados con todas las superficies de la cuadrícula o malla. En el intérprete del deslizamiento, la rejilla está contorneada sobre la base de las superficies con el factor de seguridad mínimo en cada punto de la cuadrícula.

Los parámetros de búsqueda se pueden cambiar en el cuadro de diálogos, Opción de superficie (25) (Rocscience Inc., 2017).

❖ Definición de los límites del talud

Los Límites del talud permiten al usuario definir donde se pueden generar las superficies de deslizamiento. Tanto para los puntos de entrada y de salida de la superficie de deslizamiento, estos deben estar entre los límites del talud a analizar. También se pueden definir dos conjuntos de límites en taludes, si se desea. El punto de entrada de la superficie del deslizamiento debe estar dentro de un conjunto de límites, mientras que el punto de salida debe estar dentro del otro conjunto, véase la Figura 37. (25) (Rocscience Inc., 2017).

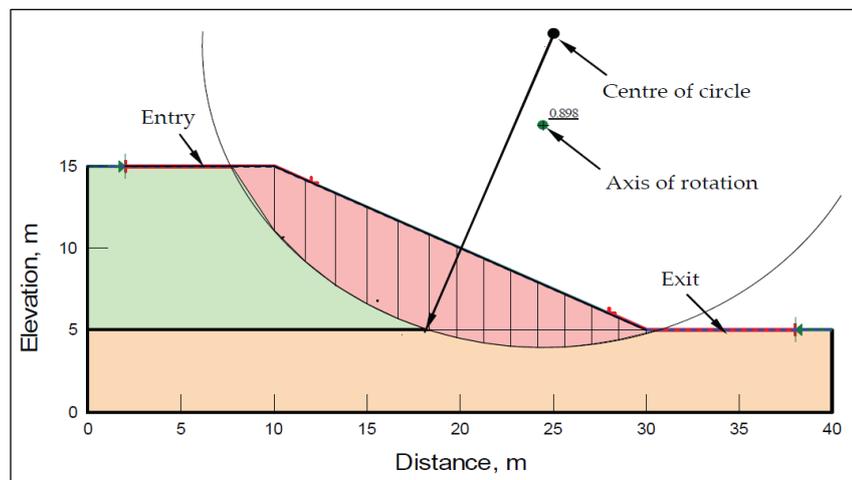


Figura 37: Opciones de entrada y salida utilizadas para buscar la falla circular

(Fuente: Krishna, 2006)

2.14. MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN

(3) González et al., (2002), menciona que, “cuando un talud ha sufrido rotura o deformaciones que impliquen riesgo de inestabilidad, deben adoptarse medidas de estabilización” (p. 470).

Para diseñar y aplicar estas medidas es necesario conocer:

- Las propiedades y el comportamiento geomecánico del terreno.
- El mecanismo y tipología de las roturas, incluyendo la velocidad u dirección del movimiento y la geometría de la rotura.
- Los factores geológicos, hidrogeológicos y de otro tipo influyentes en la inestabilidad, que determinan las causas de las mismas y, por tanto, las medidas más adecuadas para la estabilización, siendo de especial importancia los datos referenciales a situación de niveles freáticos, presiones de agua y permeabilidad de los materiales (3) (González et al., 2002, p. 470).

Para el diseño de las medidas de estabilización deben tomarse en consideración (3) (González et al., 2002, p. 470):

- Los medios económicos y materiales disponibles.
- La urgencia de intervención.
- La magnitud y dimensiones de la inestabilidad.

(3) González et al. (2002) menciona que:

El aumento del *coeficiente de seguridad* de un talud se consigue disminuyendo las fuerzas desestabilizadoras que tienden a la rotura o aumentando las fuerzas estabilizadoras. En todos los casos las actuaciones afectan a los factores que controlan básicamente el equilibrio de un talud: *el peso de los materiales, sus propiedades resistentes y el agua*. Estos conceptos elementales deben tenerse siempre presentes y aplicarlos correctamente. Por ejemplo (...) Cuando se refuerza el pie de un talud con un muro de gaviones, Figura 38, por ejemplo, éste debe estar cimentado adecuadamente, para poder desarrollar su resistencia en la base; tampoco deben excavar zanj

o cunetas profundas por delante del pie de un muro de contención, ya que se impide el desarrollo de un empuje pasivo (p. 471).

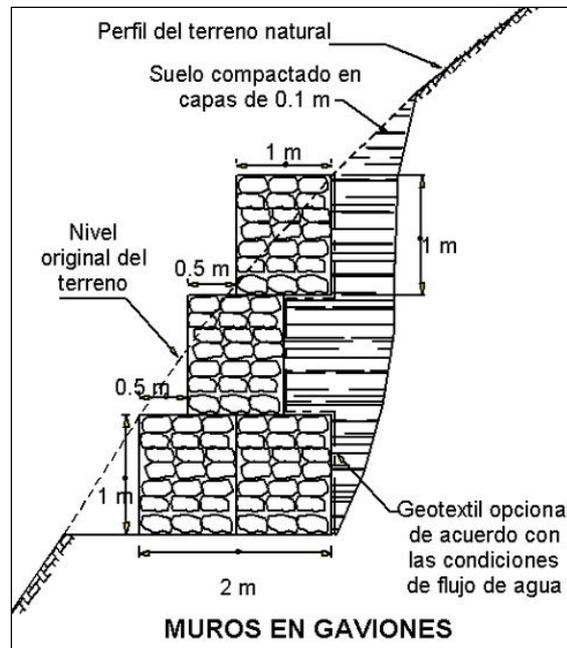


Figura 38: Muro de gaviones
(Fuente: Mallas Colombia, 2017)

(3) González et al. (2002) menciona que:

Al diseñar las medidas correctoras ha de considerarse el coeficiente de seguridad que se debe alcanzar. Si bien en el diseño de un talud permanente puede ser adecuado un valor de 1,5 (que puede ser de 1,3 en taludes provisionales), en la corrección de un talud inestable se parte de un valor menor de 1,0 y puede ser suficiente alcanzar un valor de 1,2 ó 1,25, salvo que se trate de excavaciones que obliguen a valores superiores.

Si en la zona puede haber actividad sísmica, ha de tener en cuenta su influencia (p. 471).

Las *medidas estabilizadoras* pueden consistir en:

- Modificación de la geometría del talud.
- Medidas de Drenajes.

- Aumento de la resistencia del terreno mediante la introducción en el talud de elementos estructurales resistentes.
- Construcción de muros u otros elementos de contención.

2.15. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN

2.15.1. Modificación de la geometría

(3) González et al. (2002) menciona que, “mediante la modificación de la geometría de los taludes se distribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable” Figura 39. (p. 471).

“Al disminuir la pendiente del talud, el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo para el caso de un talud estable, aumentándose el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o relleno” (12) (Suarez, 1998, p.417).

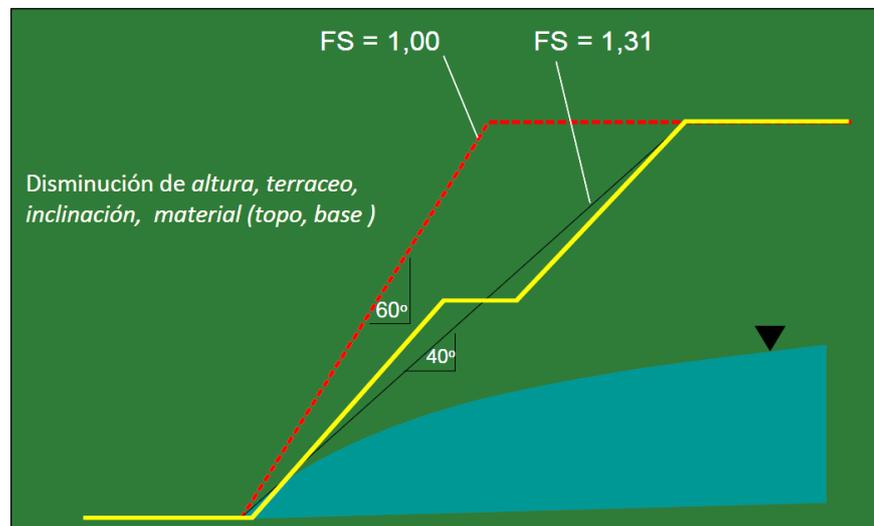


Figura 39: Tendido del ángulo del talud

(Fuente: Carrasco, 2012)

(3) González et al. (2002), menciona que, “la excavación de la cabecera elimina peso de esta zona, reduciendo las fuerzas desestabilizadoras” (p. 471).

La disminución del ángulo del talud y la disminución de peso de la cabecera mediante movimiento de tierras no siempre se lleva a cabo, por la accesibilidad a la parte superior, por la gran cantidad de volúmenes de tierra que hay q mover, por factores ambientales y la presencia de terrenos privados, etc.

Por ello los cambios de geometría consisten principalmente, en *aumentar el peso en el pie de talud*, mediante la construcción de tacones, los cuales permiten aumentar las tensiones normales sobre la superficie de rotura, mejorando así la estabilidad y su factor de seguridad. (3) (González et al., 2002). Figura 40.

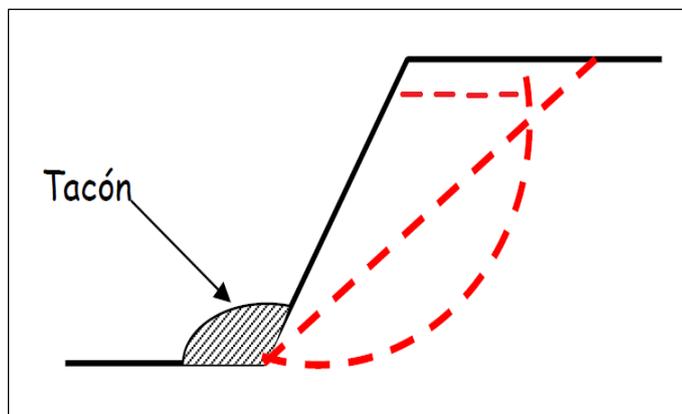


Figura 40: Modificación de la geometría

(Fuente: Gavilanes, s.f.)

(12) Suarez (1998) menciona que, “al colocarle carga adicional a la base de un deslizamiento de rotación se genera un momento en dirección contraria al movimiento, el cual produce un aumento en el factor de seguridad” (p. 423). Figura 41.

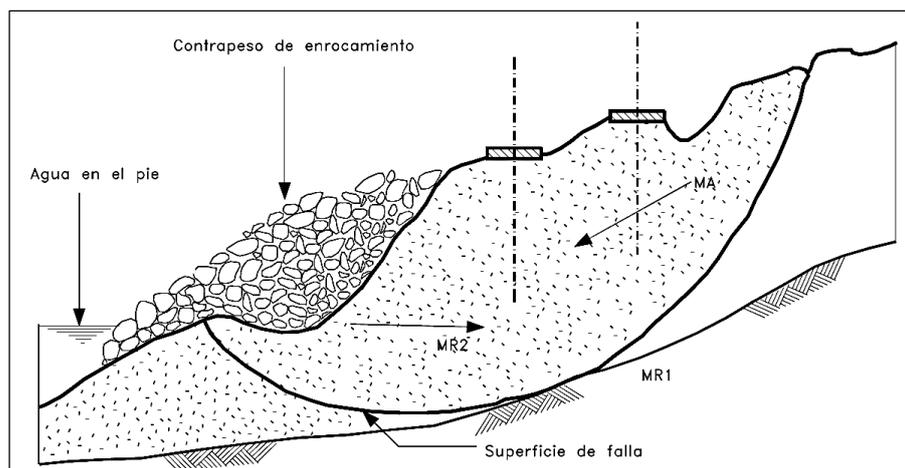


Figura 41: Contrapeso para estabilización de un deslizamiento activo
(Fuente: Suarez, 1998)

(12) Suarez (1998) menciona que:

La construcción de terrazas o bermas intermedias en la parte alta de un deslizamiento de rotación tiende a reducir el momento actuante y controlar el movimiento. (...). En deslizamientos de traslación y en ciertos flujos o deslizamientos de residuos generalmente no es efectivo emplear métodos de remoción de materiales.

El efecto es el disminuir las fuerzas actuantes, en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes. En esta forma el círculo crítico de falla se hace más profundo y más largo aumentándose el factor de seguridad.

Al construir las terrazas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terracedo se puede realizar con el propósito de controlar y facilitar el establecimiento de la vegetación. La altura de las gradas es generalmente, de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial. El sistema de cunetas a su vez debe incluir una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía (p. 418) Figura 42.

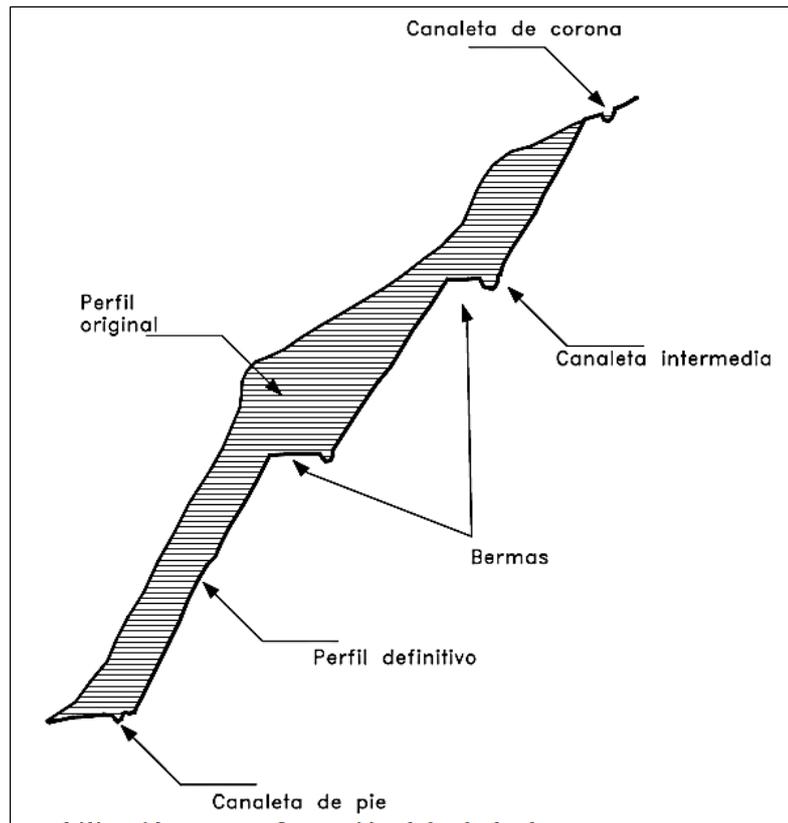


Figura 42: Construcción de terrazas, bermas y canaletas.

(Fuente: Suarez, 1998)

2.15.2. Medidas de drenajes

(3) González et al. (2002) menciona que:

Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud. (...). Estas medidas son, generalmente, las *más efectivas*, ya que el agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad de taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionando el pie del talud, etc.

El drenaje puede ser *superficial*, mediante zanjas de drenaje y canalizaciones, o *profundo*, mediante drenes horizontales o “californianos”, pozos o drenes verticales, galerías de drenaje y pantallas drenantes.

Los elementos drenantes pueden ser puntuales (como los pozos o drenes) o continuos (zanjas o cunetas de drenaje y galerías). Figura 43.

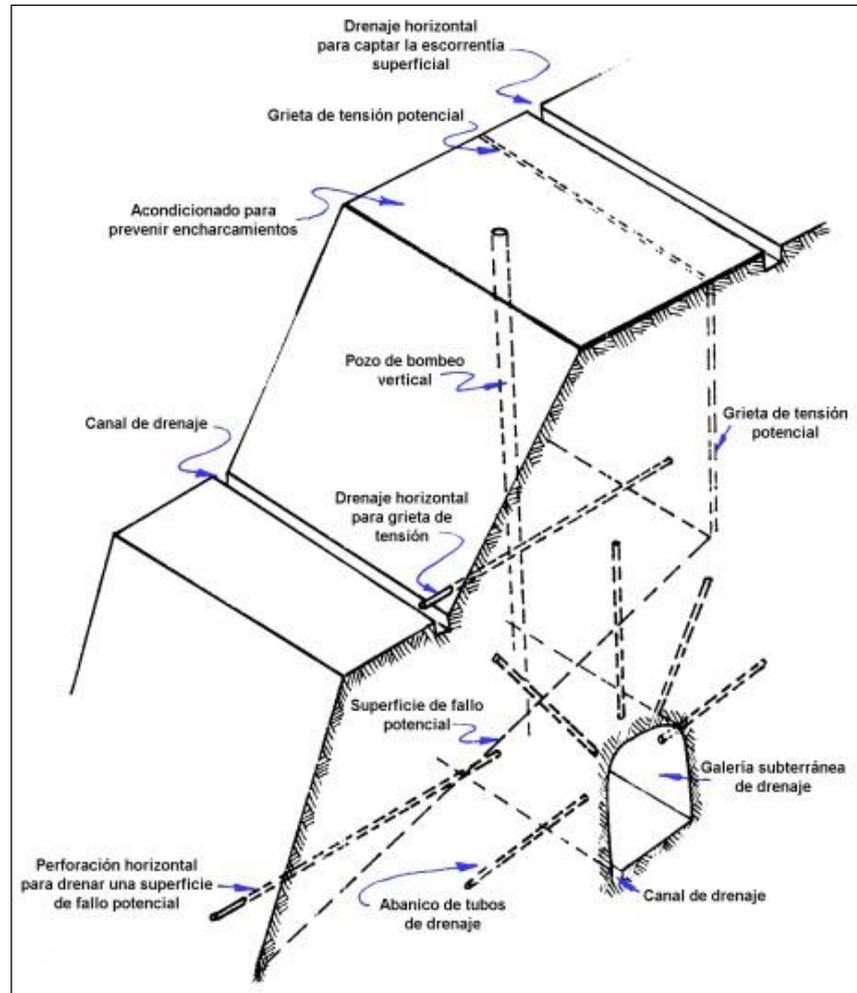


Figura 43: Medidas de drenaje y protección en taludes

(Fuente: Uriel, 1991)

Entre estas medidas se encuentran también la canalización, desvío o impermeabilización de causes de arroyo o manantiales, en las inmediaciones del talud o a cotas superiores (p. 473)

2.15.3. Elementos estructurales resistentes

(3) González et al. (2002) menciona que:

La introducción de elementos resistentes en el terreno tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante alguno de los siguientes sistemas:

- Introduciendo elementos que mejoran la resistencia del terreno en la superficie de rotura (por ejemplo pilotes o micropilotes).
- Introduciendo elementos que aumentan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura (por ejemplo anclajes y bulones). Figura 44.

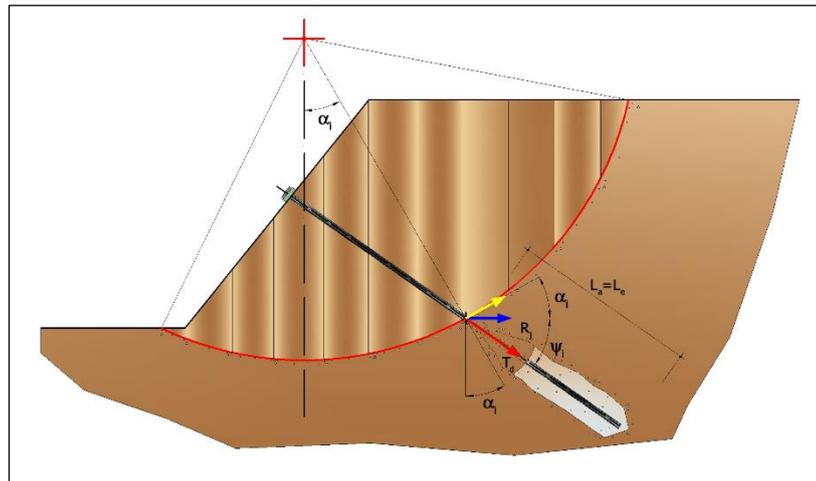


Figura 44: Refuerzo con anclajes

(Fuente: Catanzariti, 2017)

Las **pantallas de pilotes**, son alineaciones de estos elementos distanciados entre sí, de tal forma que constituyen una estructura relativamente continua, atravesando la zona deslizada y empotrándose en la zona estable.

Los diámetros de los pilotes varían de 0.65 a 2.0 m, siendo frecuentemente arriostrarlos en superficie por medio de vigas.

De forma semejante se pueden utilizar **pantallas de micropilotes** que atraviesan la zona deslizada y se introduce en la zona estable. Figura 45. Los micropilotes suelen tener

un diámetro entre 12 y 15 cm y longitudes que alcanzan los 15-20 m; van armados a un tubo de acero que se rellena mediante una inyección de cemento. El sistema de perforación permite atravesar fácilmente materiales rocosos.

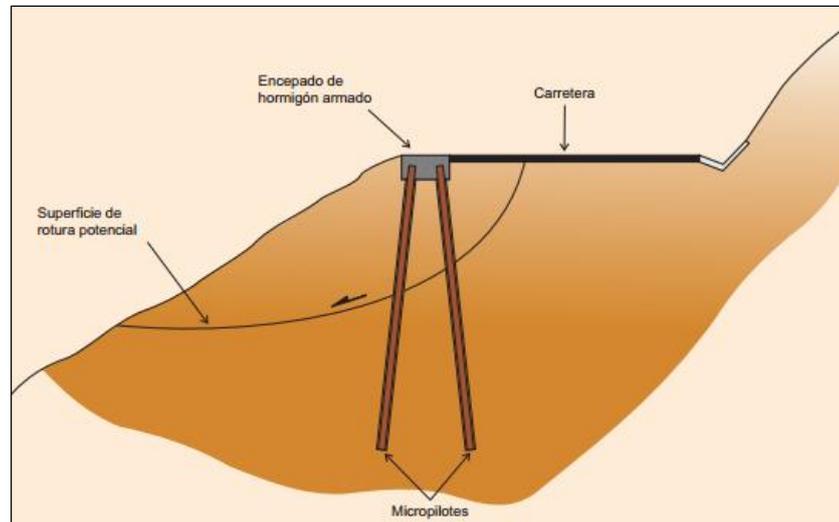


Figura 45: Estabilización de talud con micropilotes.

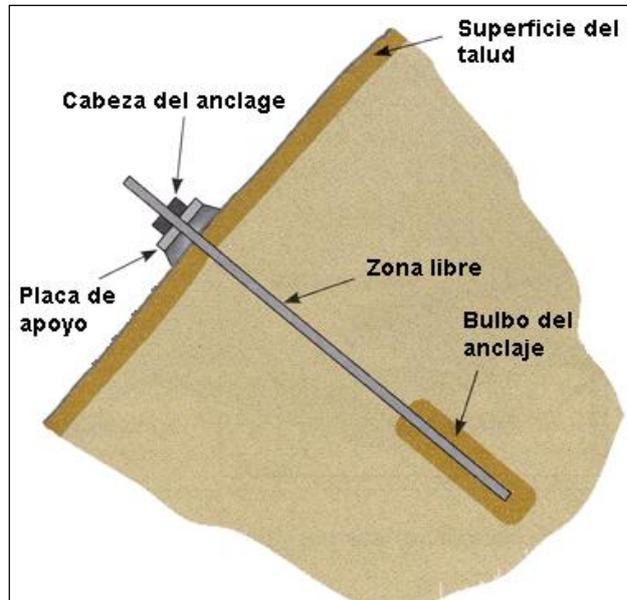
(Fuente: EADIC, 2017)

Los anclajes son elementos formados por cables o barras de acero que se anclan a zonas estables del macizo, trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura. Figura 46.

Se clasifican en *pasivos* (el anclaje comienza a trabajar al producirse el movimiento del bloque o del terreno), *activos* (el anclaje se tensa tras su instalación hasta su carga admisible) y *mixtos* (el anclaje se tensa con una carga inferior a su carga admisible).

Sus longitudes pueden ser de varias decenas de metros (habitualmente entre 15 y 40 m) y su capacidad de carga suele estar entre 60 y 120 ton por anclaje. Los anclajes se emplean frecuentemente en taludes rocosos fracturados como

medida muy efectiva para estabilizar masas o bloques deslizantes (pp. 475-476). Figura 47.



*Figura 46: Partes de un anclaje
(Fuente: GEICO, 2017)*



*Figura 47: Talud estabilizado mediante anclajes, Proyecto: C.H. Cerro del Águila – GyM y Astaldi
(Fuente: Propio, 2015)*

2.15.4. Muros y elementos de contención

(3) González et al. (2002) menciona que:

La construcción de muros se emplea para reforzar la zona de pie de los taludes, evitando, además, la degradación en esta zona crítica frente a la estabilidad. Los **muros** se construyen a pie de talud como elementos resistentes, de contención o sostenimiento, siendo *efectivos* frente a inestabilidades superficiales.

Los muros de contención presentan el inconveniente de que hay que excavar el pie de talud para su construcción, lo que favorece la inestabilidad, y no evitan posibles deslizamientos a favor de superficies de rotura por encima o por debajo del muro. Los muros de sostenimiento se construyen separados del pie de talud, rellenando posteriormente el espacio entre el muro y el talud.

Los diferentes tipos de muros presentan una serie de características que los hacen adecuados para diferentes casos de estabilización, según se requiera muros flexibles o rígidos, se quiera detener un movimiento o aportar una resistencia adicional.

Los **muros de gaviones**, son muros flexibles que consisten en rellenos de fragmentos rocosos o escollera contenidos en una malla de acero. Trabajan por gravedad y pueden ser construidos con escalonamiento hacia el exterior o el interior del talud. Figura 48.

Tienen la ventaja de permitir la circulación del agua procedente del talud.

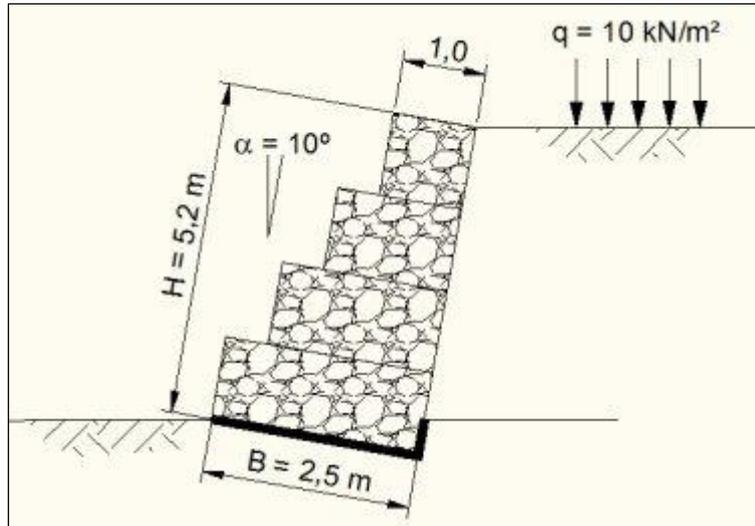


Figura 48: Muro de gaviones

(Fuente: Geobihotz, 2015)

Los **muros pantalla** son elementos de hormigón armado construidos in situ, en zanjas excavadas por debajo de la superficie del terreno, cuya acción estabilizadora es similar a la de las pantallas de pilotes, con la diferencia de que constituyen elementos continuos. Figura 49.

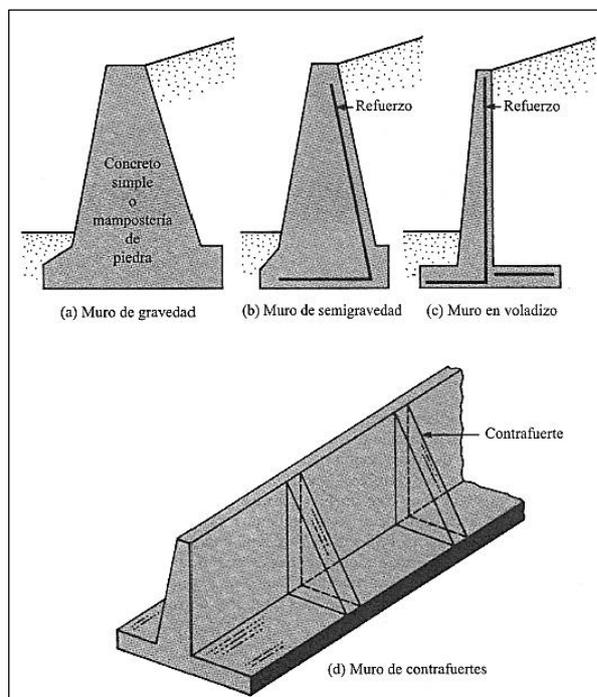
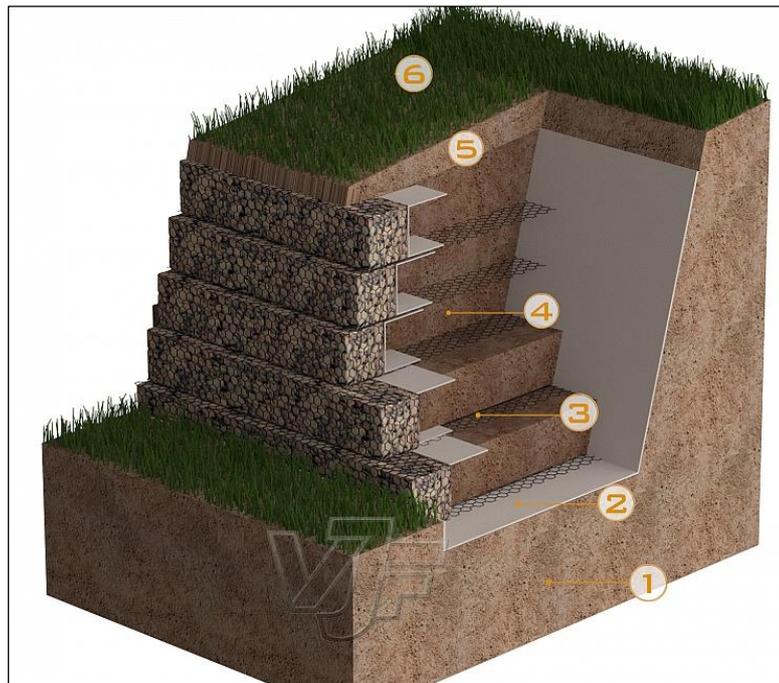


Figura 49: Tipos de muros de retención y/o contención

(Fuente: Das, 2001)

Otro tipo de muros son los de **tierra armada**, formados por un paramento exterior prefabricado de hormigón o chapas metálicas y un relleno de suelo, reforzado mediante bandas o tirantes de metal o de material sintético, que se anclan al paramento y al talud (pp. 475-476). Figura 50.



*Figura 50: Muro de tierra armada - Sistema Terramesh
(Fuente: Geosystems, 2017)*

2.16. DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN

(11) Das (2001) menciona que:

Para diseñar apropiadamente los muros de contención, un ingeniero debe conocer los parámetros básicos del suelo, es decir, el peso específico, el ángulo de fricción y la cohesión del suelo retenido detrás del muro y del suelo debajo de la losa de base. Conocer las propiedades del suelo detrás del muro permite al ingeniero determinar la distribución de la presión lateral que tiene que ser considerada en el diseño, el cuál consta de dos etapas. Primero, conocida la presión lateral de la tierra, la estructura como un todo se verifica por estabilidad, incluida de las posibles fallas por volteo, deslizamiento y capacidad de

carga. Segundo cada componente de la estructura es revisada por resistencia y se determina el refuerzo de acero de cada componente (p. 447).

2.16.1. Dimensionamiento de muros de contención

Al diseñar muros de contención y/o retención, los ingenieros deben suponer algunas de las dimensiones, llamado esto proporcionamiento, para revisar las secciones de prueba por estabilidad. Si la revisión de la estabilidad no da buenos resultados, las secciones se cambian y vuelven a revisarse. (11) (Das, 2001, p. 448).

En la figura 51, según (11) Das (2001) se muestran las proporciones generales de varios muros de contención que se usan para revisiones iniciales.

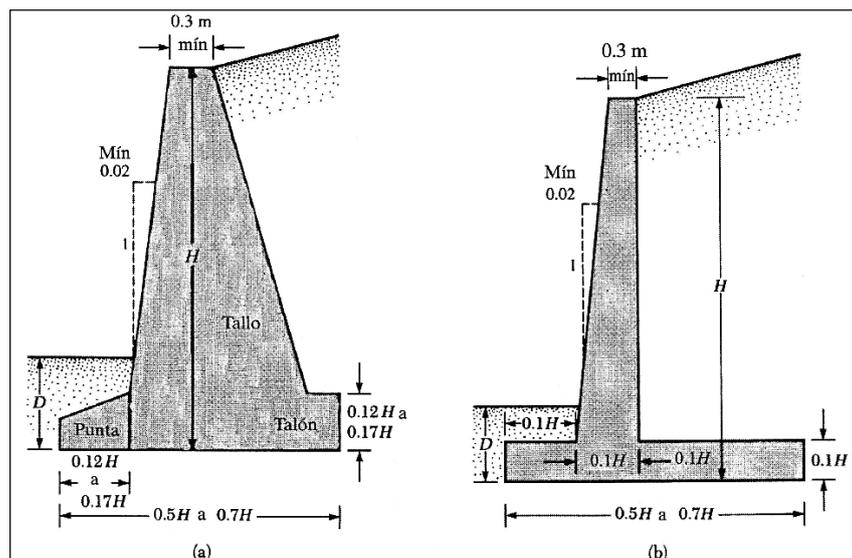


Figura 51: Dimensiones aproximadas para revisiones iniciales de muro de contención, (a) muro por gravedad, (b) muro en voladizo.

(Fuente: Das, 2001)

2.16.2. Teoría de la presión de tierra de Rankine

En la presente investigación, para realizar el diseño de los muros de contención, se realizó el diseño usando la teoría de la presión de tierra de Rankine para revisiones de la estabilidad, las

ecuaciones de la presión activa de tierra de Rankine se usan para calcular la presión lateral sobre la cara AB, ver Figura 52, 53.

Para el análisis de la estabilidad del muro se toman en cuenta la fuerza $P_{a(Rankine)}$, el peso del suelo arriba del talón (W_s) y el peso del concreto (W_c).

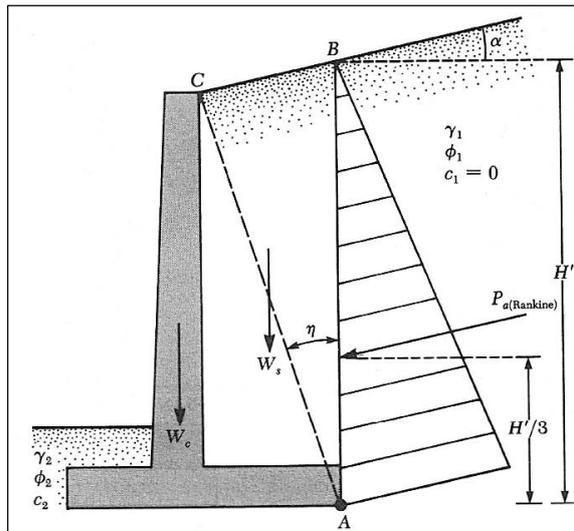


Figura 52: Cálculo de la presión lateral de tierra, muro en voladizo, teoría de Rankine.

(Fuente: Das, 2001)

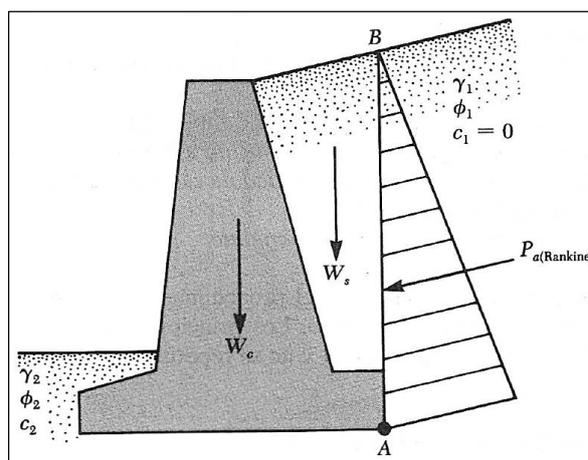


Figura 53: Cálculo de la presión lateral de tierra, muro de gravedad, teoría de Rankine.

(Fuente: Das, 2001)

➤ **Empuje activo:**

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H'^2$$

➤ **Empuje activo**

Si el terreno es inclinado ($\alpha \neq 0$):

$$K_a = \cos \alpha \cdot \left(\frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \right)$$

Si el terreno es horizontal ($\alpha = 0$)

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Donde:

- α : inclinación del talud.
- ϕ : ángulo de fricción.
- K_a : Coeficiente de empuje activo.

Para revisar la estabilidad de un muro de contención, se realiza las siguientes chequeos y/o revisiones:

a) Chequeo por volteo

El factor de seguridad contra volteo, se expresa como:

$$FS_{(volteo)} = \frac{\sum M_{est}}{\sum M_h} > 1.75 \dots \dots \dots OK$$

Donde:

$\sum M_{est}$: Suma de los momentos de las fuerzas que tienden a volcar la estructura respecto a C.

$\sum M_h$: Suma de los momentos de las fuerzas que tienden a resistir el volteo respecto al punto C.

(11) Das (2001) menciona que, “el valor usual deseable mínimo del factor de seguridad con respecto al volteo es de 1.5 a 2.0” (p. 452).

b) Chequeo por deslizamiento

El factor de seguridad contra el deslizamiento se expresa como:

$$FS_{(deslizamiento)} = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} > 1.5 \dots \dots OK$$

Donde:

$\sum F_v$: Suma de las fuerzas verticales x coeficiente de fricción, (f) (f = tanø ≤ 0.60, se basa en el principio de la fuerza de inercia durante un sismo, propuesto por Mononobe Okabe).

$\sum F_h$: Suma de las fuerzas actuantes horizontales.

(11) Das (2001) menciona que, “un factor de seguridad mínimo de 1.5 se requiere generalmente contra deslizamiento” (p. 454).

c) Chequeo de la presión sobre el terreno

$$X_v = \frac{\sum M_{est}}{\sum F_v} \quad ; \quad Z = \frac{\sum M_h}{\sum F_v}$$

$$e = \frac{B}{2} - (X_v - Z) \quad , \text{ si: } e < \frac{B}{6} \dots \dots OK$$

Por lo tanto la presión:

$$P = \frac{\sum F_v}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

Donde P1 (ton/m²) que es el mayor es igual a presión ejercida sobre el terreno.

Entonces:

$$P_1 < \sigma_t \dots \dots OK$$

Donde

σ_t : Capacidad portante del suelo (ton/m²).

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. VARIABLES

3.1.1. Variable independiente

Propiedades físicas del suelo. Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill (2004). Mencionan que las propiedades físicas son: la textura del suelo, porosidad del suelo, estructura del suelo, consistencia del suelo, aireación, el color de suelo, propiedades térmicas y clima del suelo.

3.1.2. Variable dependiente

Estabilidad de talud. Gonzales de Vallejo et al. (2002) menciona que se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad.

3.1.3. Definición operacional de las variables

Tipo de variable	Nombre de la variable	Indicadores
Variable Independiente	Propiedades físicas del suelo	<ul style="list-style-type: none">• Textura, estructura• Cohesión, ϕ fricción
Variable Dependiente	Estabilidad de talud	<ul style="list-style-type: none">• Factor de Seguridad• Muros de contención

3.2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis general

El análisis de las propiedades físicas del suelo influye directa y significativamente en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.

3.2.2. Hipótesis específicos

- a) La textura y estructura del suelo influye directa y significativamente en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.
- b) La geometría de superficie de falla crítica y su factor de seguridad mínimo que pueda ocurrir influye directa y significativamente en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.
- c) La parte técnica y económica influye directa y significativamente en la elección del muro en la estabilidad de talud en el Km 0+807 del sector La Esperanza del Distrito de Pozuzo – Oxapampa – Pasco – 2017.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que corresponde a la presente investigación es aplicada, porque se caracteriza por el interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se deriven.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo, correlacional y explicativo. Es descriptivo, porque describe fenómenos, esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Correlacional, conocer la relación que existe entre dos o más variables en un contexto en particular. Explicativas, explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o porque se relacionan dos o más variables.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es experimental, porque los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.

En la presente investigación se realizará ensayos de laboratorio y trabajos en gabinete para así poder obtener datos y realizar su procesamiento respectivo.

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población:**

Sector La Esperanza

- **Muestra:**

La muestra del presente trabajo de investigación es no aleatoria y se encuentra ubicado en el Km 0+807 del Sector La Esperanza

3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizarán referencias bibliográficas de diferentes autores, para así poder evaluar los datos obtenidos en campo, fotografías, además de tendrá un orden representativo en los datos que nos permitirá evaluar y/o analizar de forma rápida y ordenada cada calicata.

3.8. INSTRUMENTOS

En la presente investigación se utilizarán una wincha de 50mts para poder medir la profundidad de la calicata a estudiar además poder obtener las dimensiones del talud inestable, cámara fotográfica, referencias bibliográficas de diferentes autores. Se hará uso de los instrumentos y equipos de laboratorios de suelos, instrumentos topográficos (Estación Total, GPS) y herramientas como lampa y pico para la excavación respectiva de calicatas.

3.9. PROCEDIMIENTO

Se hará uso de los siguientes programas que ayudarán a procesar y/o obtener datos:

- ✓ CivilCAD 3D, para la obtención y procesamiento de datos del levantamiento topográfico (relieve del terreno, movimiento de tierras)
- ✓ AutoCAD, para la elaboración de los planos.
- ✓ Ensayos en laboratorio de suelos
- ✓ Slide 6.0, para la obtención del Factor de Seguridad y la identificación del mecanismo potencial de falla forma circular.
- ✓ Excel para cuadros comparativos y estadísticos.
- ✓ S10 para la elaboración de presupuesto.

CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la presente investigación se realizaron ensayos de laboratorio para obtener los datos de *ángulo de fricción, cohesión, densidad seca, densidad saturada y su granulometría*. Para así poder realizar el análisis respectivo con el Software Slide para la estabilidad del talud, ubicado en el Sector la Esperanza km 0+807.

Los ensayos de laboratorio se realizaron en la *Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio N° 2 – Mecánica de Suelos*. Ver ANEXO N° 1.

A continuación se describen que ensayos de laboratorio se realizaron para obtener dichos datos y poder realizar nuestro análisis de estabilidad de talud.

4.1.1. Ensayo Proctor Estándar ³ - ASTM D 698

Se realizó el ensayo Proctor estándar con el objetivo de obtener la densidad seca inicial, y poder realizar el ensayo de corte directo, ya que no se pudo realizar ensayos insitu, el cual nos brinde la densidad seca inicial.

³ Para obtener una definición más detallada remitirse al Capítulo II – 2.4.4.

El ensayo se realizó de la muestra alterada de Corte de Talud, profundidad 2m.

Los resultados que nos brinda el Ensayo Proctor Estándar para el análisis de estabilidad de talud son:

- ✓ Densidad seca máxima (1.791 gr/cm³)
- ✓ Contenido óptimo de humedad (14.90 %)

Para obtener el Peso Específico Seco se aplica la fórmula según (Berry & Reid, 1995, p. 28)

$$\gamma_{seco} = \rho \cdot g$$

Donde:

γ_{seco} : Peso específico seco (kN/m³)

ρ_{seca} : Densidad seca (1.791 gr/cm³)

g : Aceleración de la gravedad (g=9.81 m/s²)

$$\gamma_{seco} = 1.791 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 17.56 \text{ kN/m}^3$$

Para poder obtener el Peso Específico Saturado, se aplicó la fórmula (Das, 2001, p. 54)

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s}$$

Donde:

γ_{sat} : Peso específico saturado (kN/m³)

γ_w : Peso específico del agua (9.81 kN/m³)

w : Contenido de humedad (%)

G_s : Gravedad específica (2.67 para suelos SC-ML)

$$\gamma_{sat} = \frac{2.67 * 9.81 \text{ kN/m}^3}{1 + (0.149)2.67} = 18.73 \text{ kN/m}^3$$

4.1.2. Ensayo de Corte Directo - ASTM D 3080

Se realizó en ensayo de Corte Directo con el objetivo de obtener la resistencia del suelo al esfuerzo cortante⁴ y poder obtener el factor de seguridad.

El ensayo se realizó de la muestra alterada de Corte de Talud, profundidad 2m.

Los resultados que nos brinda el Ensayo Corte Directo para el análisis de estabilidad de talud son:

- ✓ Ángulo de fricción interna (30.2°)
- ✓ Cohesión (0.09 kg/cm² * 98.1 = 8.829 kN/m²)

4.1.3. Análisis Granulométrico por Tamizado ⁵- ASTM D 422

Se realizó en análisis granulométrico con el objetivo de conocer la textura del suelo, formada en el talud del Sector la Esperanza km 0+807.

El ensayo se realizó de la muestra alterada: Corte de Talud, profundidad 2.0 m, dando como resultado lo siguiente:

- ✓ % Grava : 34.3
- ✓ % Arena : 37.9
- ✓ %Finos : 27.7
- ✓ Clasificación SUCS ASTM D 2487 : **SC-SM** (arena arcillosa y limosa)
- ✓ Límite Líquido (%) : 26.1
- ✓ Límite Plástico (%) : 19.3

⁴ Para obtener una información más detallada remitirse al capítulo II – 2.4.

⁵ Para obtener una información más detallada remitirse al capítulo II – 2.3.

✓ Índice Plástico (%) : 6.8

El ensayo se realizó de la muestra alterada: Calicata N° 1, profundidad 1.10 m, dando como resultado lo siguiente:

✓ % Grava : 23.3
 ✓ % Arena : 40.9
 ✓ %Finos : 35.8
 ✓ Clasificación SUCS ASTM D 2487 : **SC** (arena arcillosa)
 ✓ Límite Líquido (%) : 29.5
 ✓ Límite Plástico (%) : 20.8
 ✓ Índice Plástico (%) : 8.7

Para tener un resumen de los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio, ver Tabla N° 7.

*Tabla 7: Ensayos de Laboratorio - UNI
 (Fuente: Propia, 2017)*

FICHA TÉCNICA INSTRUMENTAL				
Aspectos Claves	Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3	Instrumento 4
Instrumento	Ensayo Proctor Estándar	Ensayo Corte Directo	Ensayo Análisis Granulométrico	Ensayo Análisis Granulométrico
Objetivo	Análisis de estabilidad	Análisis de estabilidad	Análisis de estabilidad	Análisis de estabilidad
Fuente de procedencia	ASTM D 698	ASTM D 3080	ASTM D 422	ASTM D 422
Contenido	ρ_{seca}, w	ϕ, C (kg/cm ²)	Clasificación SUCS	Clasificación SUCS
Tipo de instrumento	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo
Datos y/o Resultados	1.791 gr/cm ³ , 14.90%	30.2 grados, 0.09	SC - SM	SC
Muestra de aplicación	Corte de talud	Corte de talud	Corte de talud	Calicata N° 1
Laboratorio:	N° 2 - MS - UNI	N° 2 - MS - UNI	N° 2 - MS - UNI	N° 2 - MS - UNI
Ejecución	Téc. W. Oblitas H.	Téc. W. Oblitas H.	Téc. W. Oblitas H.	Téc. W. Oblitas H.
Revisor	Ing. D. Basurto R.	Ing. D. Basurto R.	Ing. D. Basurto R.	Ing. D. Basurto R.
Jefe	Msc. Ing. Luisa E. Shuan Lucas	Msc. Ing. Luisa E. Shuan Lucas	Msc. Ing. Luisa E. Shuan Lucas	Msc. Ing. Luisa E. Shuan Lucas

4.2. OBTENCIÓN DE MUESTRA DE SUELO

Para la presente investigación se tomaron 2 muestras de suelos:

- La primera se obtuvo del mismo talud inestable, llamándola muestra corte de talud con una profundidad de 2 metros. Se realizó la toma de muestra alterada de 20 kg aproximadamente para luego ser llevados al laboratorio para su estudio.

En la Figura 54, se aprecia el raspado del suelo para así obtener la muestra alterada.



Figura 54: Toma de muestra corte de talud

(Fuente: Propia, 2017)

Luego se procedió a anotar y medir la estructura del suelo el cuál será analizado en laboratorio para así tener una referencia de los resultados a obtenerse. Así mismo se procedió a la toma de datos importantes como su ubicación, en la muestra de corte de talud, ver Figura 55.



Figura 55: Datos de muestra corte de talud

(Fuente: Propia, 2017)

- Para la segunda muestra se realizó una calicata de 2 metro de profundidad en la cima del talud a 10 metros hacia el fondo del talud, ver Figura 56.



Figura 56: Excavación de calicata N° 1

(Fuente: Propia, 2017)

Así mismo se procedió a tomar apuntes de la estratigrafía del suelo siendo registradas 3 muestras, de las cuáles la de mayor longitud (gravoso limoso) se realizó los análisis de laboratorio siendo esta 1.10 metro.

Se procedió a tomar los datos principales como ubicación de la calicata N° 1. Ver Figura 57.



Figura 57: Datos de Calicata N° 1

(Fuente: Propia, 2017)

Una vez obtenido las muestras alteradas del corte de talud y de la calicata N° 1, se procedió a guardarlas en bolsas impermeables y etiquetarlas para su traslado a la ciudad de Lima, ver Figura 58.

En la Figura 59, se puede apreciar la muestra de la calicata N° 1 con una profundidad de 1.10m, se aprecia que dicha muestra es arenoso, limoso.

Una vez empaquetadas las muestras se llevó al Laboratorio N° 2 de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería civil, para sus análisis respectivos, ver Figura N° 60.



*Figura 58: Muestras etiquetadas, listas para ser llevados a Lima.
(Fuente: Propia, 2017)*



*Figura 59: Vista de muestra Calicata N°1, profundidad 1.10 m.
(Fuente: Propia, 2017)*



Figura 60: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

(Fuente: Propia, 2017)

4.3. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Con el objetivo de apreciar los aspectos Hidrogeológicos de la presente investigación se hizo una visita de campo, al km 0+807 del Sector la Esperanza.

Pudiéndose apreciar en la corona del talud, la existencia de una quebrada la cuál es desviada por un canal de concreto armado. Ver Figura 61.



*Figura 61: Existencia de Canal de Concreto Armado
(Fuente: Propia, 2017)*

Se procedió a realizar las medidas de dicho canal para conocer sus dimensiones. Los cuales son 0.50 x 0.60 metros. Ver Figura 62.



*Figura 62: Dimensionamiento del canal
(Fuente: Propia, 2017)*

Se puede deducir por la construcción de este canal, que es un sistema de estabilización de talud, medida preventiva, la cual se conoce como Sistema de Drenaje la cual evita que dicha quebrada vierta sus aguas sobre el talud.

Así mismo se pudo apreciar en el pie de talud en estudio, la presencia del Río Huancabamba, la cual genera socavación siendo este un factor desencadenante. Para tener una vista panorámica del cauce del Río, ver la Figura 63.



*Figura 63: Vista Panorámica de la dirección de Río Huancabamba.
(Fuente: Google Earth, 2017)*

Otra vista sobre el cauce del Río Huancabamba, se aprecia en la Figura 64.



Figura 64: Vista Río Huancabamba al Pie de Talud

(Fuente: Propia, 2017)

Teniendo como un factor desencadenante la socavación que puede causar el Río Huancabamba al Pie de talud, por esta razón, se procederá a realizar los análisis para tomar las medidas preventivas, para la estabilidad del talud.

4.4. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO

4.4.1. Trabajo de campo

Para la presente investigación se realizó el levantamiento topográfico del km 0+807, Sector La Esperanza, con el objetivo de tener el relieve del terreno mediante curvas de nivel.

Los instrumentos topográficos utilizados fueron, ver Figura 65.

- ✓ Estación Total TOPCON.
- ✓ 2 prismas.
- ✓ 2 jalones.
- ✓ Trípode.
- ✓ GPS.



Figura 65: Instrumentos topográficos
(Fuente: Propia, 2017)

Primero se procedió al macheteo de las zonas con cobertura vegetal para así poder realizar el levantamiento topográfico a detalle, ver Figura 66.



Figura 66: Macheteo de las zonas con cobertura vegetal
(Fuente: Propia, 2017)

Se realizó el macheteo en el pie de talud para poder apreciar el grado de socavación del Rio Huancabamba, ver Figura 67.



*Figura 67: Macheteo en el pie de talud
(Fuente: Propia, 2017)*

Una vez limpio de maleza vegetal se procedió a realizar el levantamiento topográfico con estación total, en las partes inaccesibles se dio disparos con láser, ver Figura 68.



*Figura 68: Levantamiento topográfico
(Fuente: Propia, 2017)*

Mi persona realizando el levantamiento topográfico en el km 0+807 del Sector La Esperanza, Figura 69.



*Figura 69: Levantamiento topográfico, Sector La Esperanza
(Fuente: Propia, 2017)*

4.4.2. Trabajo de gabinete

Una vez realizado el levantamiento topográfico del km 0+807 del Sector La Esperanza, se procedió a descargar los puntos del levantamiento a la laptop, para poder trabajar usando el programa CivilCAD 3D, ver Figura 70.



*Figura 70: Trabajo de gabinete, descarga de puntos
(Fuente: Propia, 2017)*

Una vez obtenido los puntos del levantamiento topográfico del km 0+807 de Sector la Esperanza, se procedió a realizar las triangulaciones respectivas para poder tener un relieve del terreno a lo real con sus curvas de nivel respectivas, ver Figura 71.



*Figura 71: Trabajo de gabinete, Triangulación de puntos en el CivilCAD 3D.
(Fuente: Propia, 2017)*

Para poder apreciar los planos del levantamiento topográfico, Ver ANEXO N° 2.

4.5. SECCIONES DE CORTE A SER ANALIZADAS

Con el plano del levantamiento topográfico del km 0+807 del Sector la Esperanza, Ver ANEXO N° 2, se procedió a realizar los cortes en el talud inestable, para su posterior análisis, obteniéndose así tres cortes y/o secciones. (A-A, B-B, C-C), ver Figura 72.

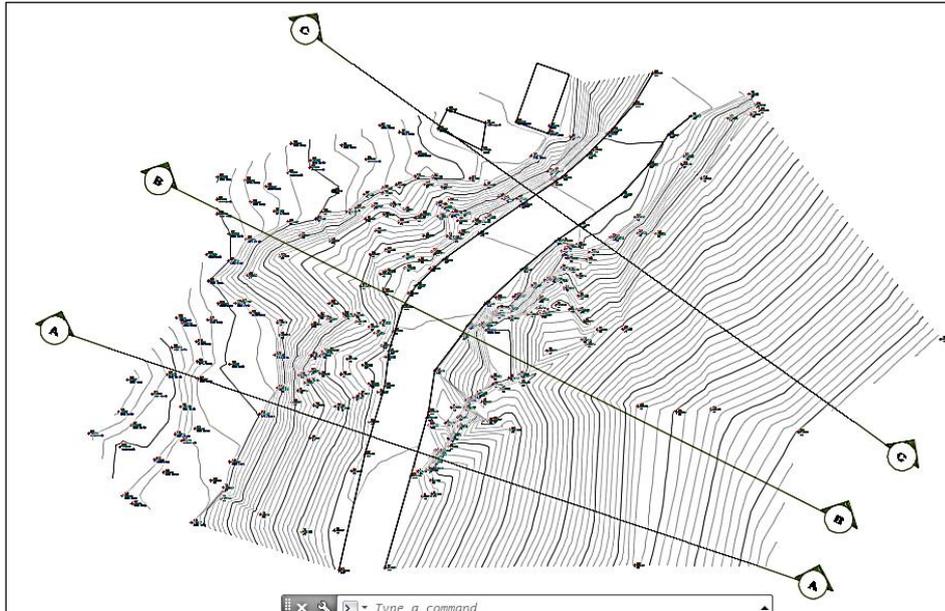


Figura 72: Levantamiento topográfico con secciones a ser analizadas.

(Fuente: Propia, 2017)

Una vez definido los cortes y/o secciones se procedió a realizar el análisis, con el uso del software Slide, para cada sección, con el objetivo de obtener su factor de seguridad en diferentes escenarios.

4.6. PLAN DE ANÁLISIS PARA CADA SECCIÓN DEL TALUD

Para cada sección (A-A, B-B, C-C), con el uso del software Slide, se realizó el análisis a diferentes escalas:

- ✓ Análisis a escala de talud superior.
- ✓ Análisis a escala de talud inferior.
- ✓ Análisis a escala global.

En cada escala se realizó el análisis en dos condiciones:

- ✓ Condición Estático
- ✓ Condición Seudoestático.

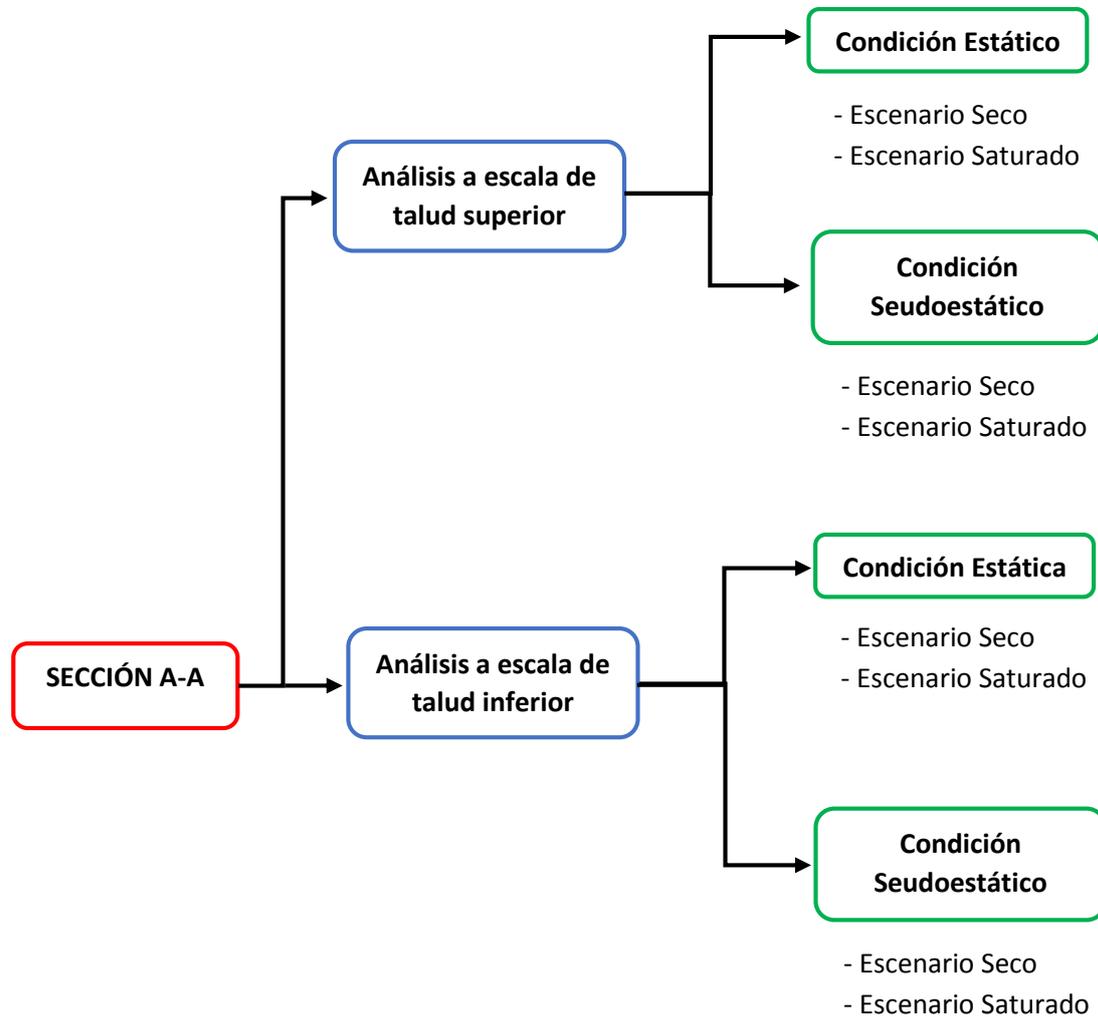
En cada condición se realizó el análisis en dos escenarios:

- ✓ Seco
- ✓ Saturado

Para tener una visión general de cómo se realizarán los análisis por cada sección, ver la Tabla 8.

Tabla 8: Esquema de trabajo para el análisis de las secciones.

(Fuente: Propia, 2017)



De esta manera es como se realizó los análisis con los métodos de cálculo de Bishop Simplificado, Morgenstern-Price y Spencer, para cada sección con el objetivo de obtener el Factor de Seguridad, del talud superior, talud inferior y talud global, aplicados en diferentes condiciones y escenarios, y así poder conocer en qué condiciones (estable o inestable) se encuentra dicho talud, para luego proponer una medida de estabilización si así lo requiere.

En el siguiente apartado 3.9. Se realizó el cálculo de los datos que son de importancia para el desarrollo de cada sección, usando el software Slide.

4.7. DATOS IMPORTANTES PARA EL ANÁLISIS DE CADA SECCIÓN.

Para poder realizar el análisis de cada sección (A-A, B-B, C-C), con el uso del software Slide, se realizaron los diferentes cálculos:

- ✓ Cálculo de la carga que ejercen los vehículos, sobre el eje de carretera del talud inferior.

- ✓ Así mismo, para poder realizar el análisis en condiciones Seudoestáticas se realizó el cálculo de carga del coeficiente sísmico – horizontal.

4.7.1. Cálculo de la carga vehicular

Para realizar el cálculo de la carga vehicular se eligió el tipo de vehículo con más peso que transitan por la zona, Pozuzo por ser una zona ganadera como su principal fuente económica, los camiones son los principales vehículos de transporte de estos ganados para su venta en Lima.

Es por ello que se realizó el cálculo con la carga vehicular tipo camión, según el (26) Reglamento Nacional de Vehículos (2003), el camión con mayor peso que transita en Pozuzo tiene una configuración vehicular de C3 y un Peso Bruto de Máximo de 25 ton.

Las dimensiones de un camión C3, Figura 73, que transporta ganado en el distrito de Pozuzo son:

- Largo (D+E) : 6.00 metros
- Ancho (A) : 2.40 metros (distancia entre centro de ruedas externas)

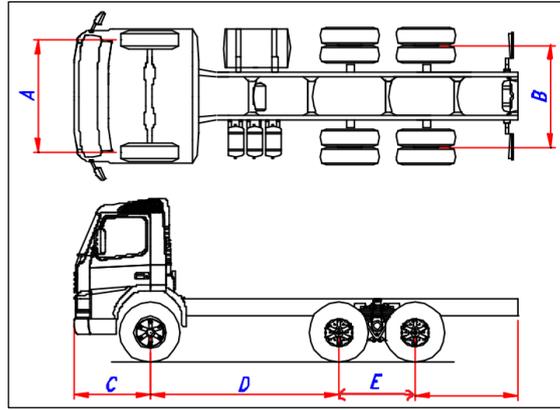


Figura 73: Dimensiones de camión

(Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, 2003)

i) Peso camión cargado

$$W = 25 \text{ ton} \quad (25 * 9.81 = \text{kN})$$

$$W = 25 \text{ ton} * 9.81$$

$$W = 245.25 \text{ kN}$$

ii) Área del camión

$$A = 6 \text{ m} * 2.40 \text{ m}$$

$$A = 14.40 \text{ m}^2$$

iii) Calculando la carga distribuida (Q)

$$Q = W/A$$

$$Q = 245.25 \text{ kN} / 14.40 \text{ m}^2$$

$$Q = 17.03 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto nuestra carga distribuida vehicular con el cuál realizaremos los análisis en cada sección será de **17.03 kN/m²**.

4.7.2. Cálculo de carga de coeficiente sísmico horizontal

Para obtener el coeficiente sísmico horizontal se realizó la siguiente operación.

Dato calculado:

Aceleración espectral⁶ = 0.2145

Aceleración de la gravedad = $9.81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ gals}$

- Cálculo de la Aceleración Máxima, en el Sector la Esperanza, km 0+807.

$$\frac{\text{Aceleración}_{m\acute{a}x}}{\text{Aceleración de la gravedad}} = \text{Aceleración espectral}$$

$$\frac{\text{Aceleración}_{m\acute{a}x}}{981 \text{ gals}} = 0.2145$$

$$\text{Aceleración}_{m\acute{a}x} = 210.42 \text{ gals}$$

- La aceleración de diseño puede variar de 1/2 - 1/3 de la aceleración máxima.

$$A_{dise\tilde{n}o} = 0.5 * A_{m\acute{a}xima}$$

$$A_{dise\tilde{n}o} = 0.5 * 210.42 \text{ gals} = 105.21 \text{ gals}$$

- Cálculo del coeficiente sísmico (C_s)

$$C_s = \frac{A_{dise\tilde{n}o}}{\text{Aceleración de referencia}}$$

$$C_s = \frac{105.21 \text{ gals}}{981 \text{ gals}}$$

$$C_s = 0.11$$

⁶ Para saber cómo se realizó el cálculo remitirse al Capítulo II – 2.12.1

4.8. PRIMER ANÁLISIS CON LOS DATOS OBTENIDOS

Se analizó un primer análisis con el software Slide con los datos obtenidos de laboratorio (ϕ : 30.2° , C : 8.829 kN/m^2 , γ_{seco} : 17.56 kN/m^3 , γ_{saturado} : 18.73 kN/m^3), de la sección C-C, escala superior, sección que aún no ha colapsado (más estable), ver Figura 74.



Figura 74: Sección C-C, que aún no ha colapsado (más estable).

Se realizó el análisis con el método de cálculo de Spencer por ser el más preciso y usado, en condición estática – Seco, dándonos un *Factor de Seguridad de 0.848*, ver Figura 75.

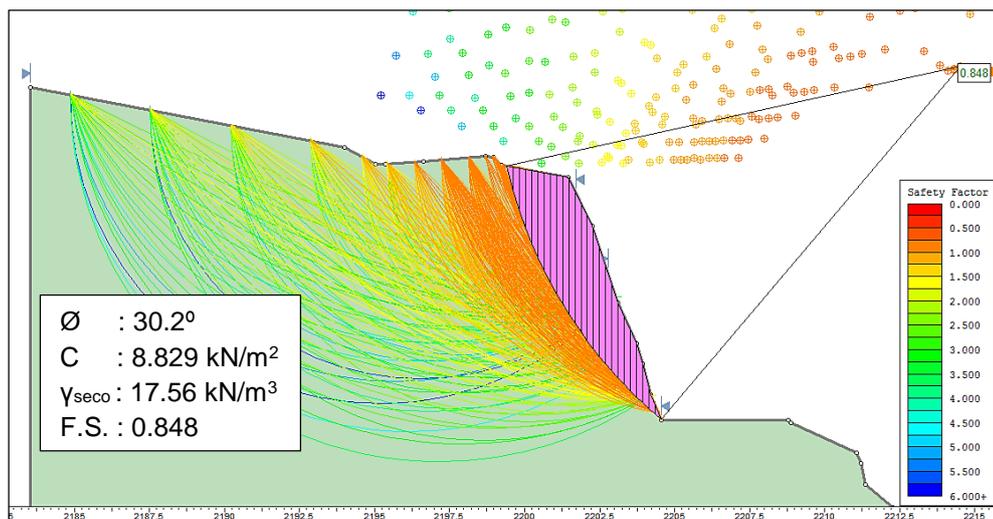


Figura 75: Análisis de sección C-C, talud superior, Estático - Seco.

Con un F.S. de 0.848, el Slide nos dice que esa sección del talud ha debido de colapsar por ser menor a la unidad, lo cual al compararlo con la realidad, Figura 74. Es lo contrario (no ha colapsado).

Esto nos quiere decir que el suelo en realidad tienen una mayor resistencia de lo que nos da el laboratorio (ϕ y C), generando incertidumbre⁷ en los parámetros obtenidos por medio de ensayos.

El motivo por el cual hay una diferencia de factores de seguridad entre el Slide y la realidad, es por la muestra analizada, si bien es cierto, se realizó un ensayo de corte directo, siendo analizado solo las partículas finas de arenas para abajo ya que el corte directo es a pequeña escala (cm) y no toma en cuenta la presencia de bolonería gruesa que compone el talud como se aprecia en la Figura 74, siendo lo más óptimo realizar un ensayo de corte directo a gran escala (m), pero no se realizó dicho ensayo por motivos económicos.

Por esta razón se realizó un análisis de sensibilidad, aplicando los coeficientes de variación de los parámetros geotécnicos (20 a 80 %), en este caso la cohesión, el objetivo de este análisis de sensibilidad es determinar con qué valor de cohesión tenemos un F.S. mínimo de 1.00, ya que con una cohesión > 1.00 el talud es estable.

Habiendo realizado la calibración de la cohesión en condición estática – Seco, nos dio como cohesión mínima de 12.208 kN/m², dando un F.S. igual a 1.00. Ahora esta cohesión puede ser más ya que 1.00 es el límite entre lo estable e inestable.

Por esa razón y habiendo observado el talud en estudio, se calibró el ángulo de fricción (13% de variación) y la cohesión (60% de variación) > 1.00 en la condición estática – Seco y saturada, dando como resultado final para el análisis del talud en el sector la esperanza los siguientes parámetros:

- ✓ **ϕ de fricción : 34.13°**
- ✓ **Cohesión : 14.12 kN/m².**

⁷ Para obtener una información más detallada remitirse al capítulo II – 2.8.

4.9. ANÁLISIS, SECCIÓN A-A, ESCALA TALUD SUPERIOR

En la Figura 74, se aprecia el perfil longitudinal del corte A-A, realizado con el software CivilCAD 3D.



Figura 76: Sección transversal del corte A-A.

(Fuente: Propia, 2017)

Se realizó el análisis del talud superior de la sección A-A, en condición Estático, escenario Seco y saturado.

A continuación se mostrarán los pasos como se deben ingresar los datos obtenidos en laboratorio (*tipo de suelo, C, ϕ , γ_{seco} , $\gamma_{saturado}$, carga vehicular, carga del coeficiente sísmico*) para así realizar el correcto análisis con el software Slide en diferentes condiciones y escenarios.

Para la condición estática – Escenario Seco, se usará como dato importante el γ_{seco} .

Para la condición saturada – Escenario Saturado, se usará como dato importante el $\gamma_{saturado}$.

4.9.1. Condición Estática – Escenario Seco.

- i. Se importa la geometría del terreno, de la sección transversal del CivilCAD 3D (formato dxf.) al Slide, Figura 77.

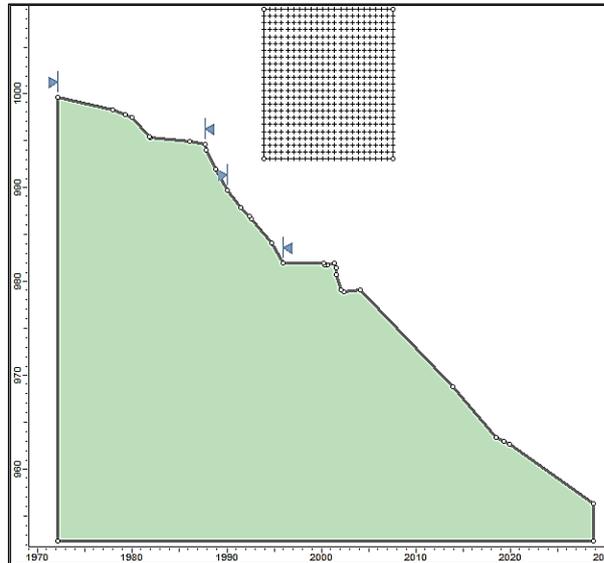


Figura 77: Sección transversal corte A-A, importado del CivilCAD 3D.

- ii. Definir las propiedades de los materiales, es aquí donde se ingresan los datos calibrados (tipo de suelo: SC-SM, C : 14.12 kN/m², ϕ : 34.13°, γ_{seco} : 17.56 kN/m³), Figura 78.

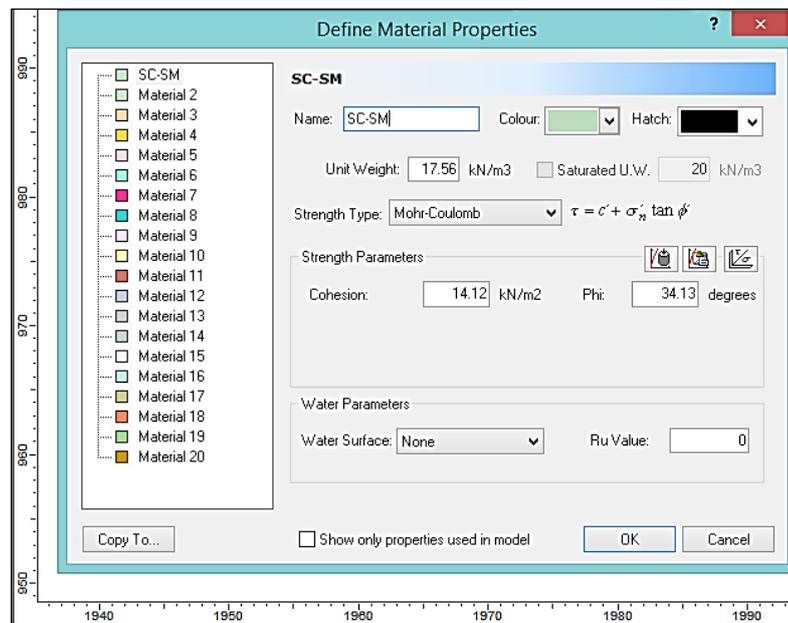


Figura 78: Definición de propiedades de los materiales.

- iii. *Configuración general del proyecto*, es aquí donde se elige la dirección de falla del talud, si es a la derecha o a la izquierda, Figura 79.

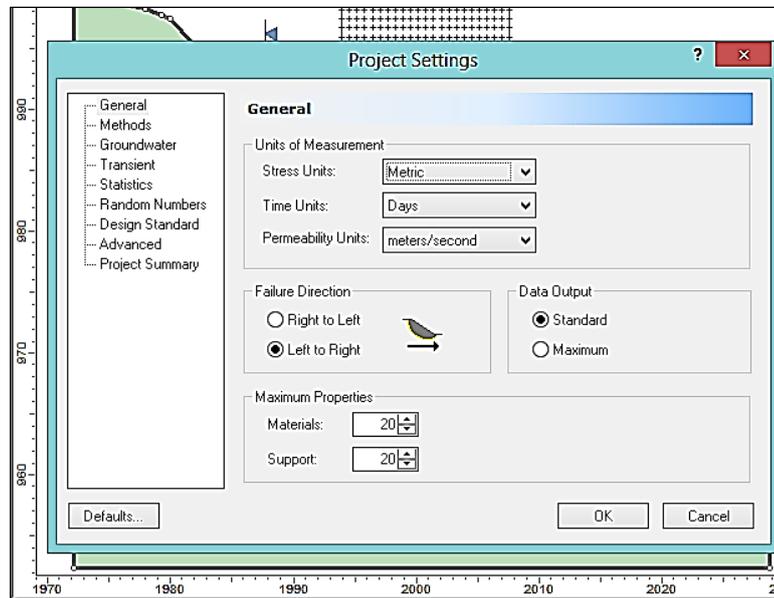


Figura 79: Configuración general del proyecto

- iv. *Opciones de superficie*, es aquí donde se elige el tipo de superficie (circular) para realizar los análisis, así mismo se elige el método de búsqueda (grillas, malla). Figura 80.

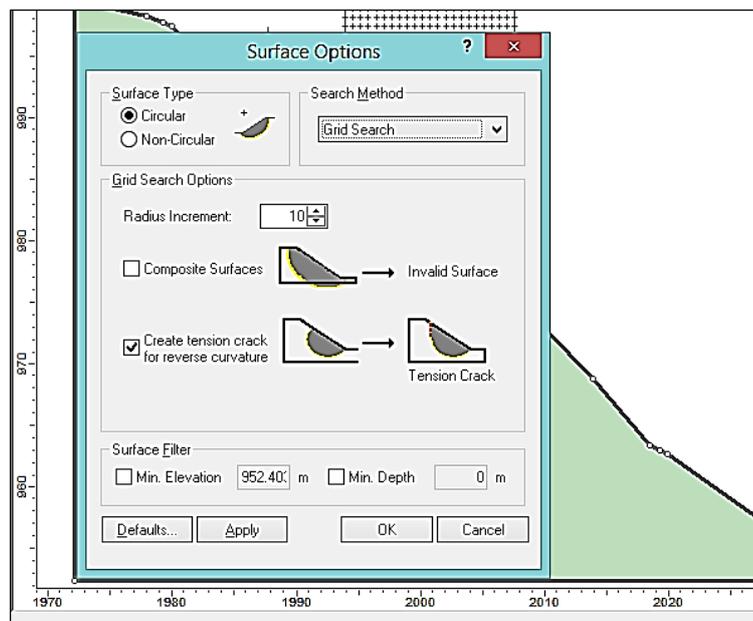


Figura 80: Opciones de superficie

- v. *Configuración métodos de cálculo del F.S.*, es aquí donde se elige que métodos utilizará el software para realizar los cálculos de F.S., Figura 81.

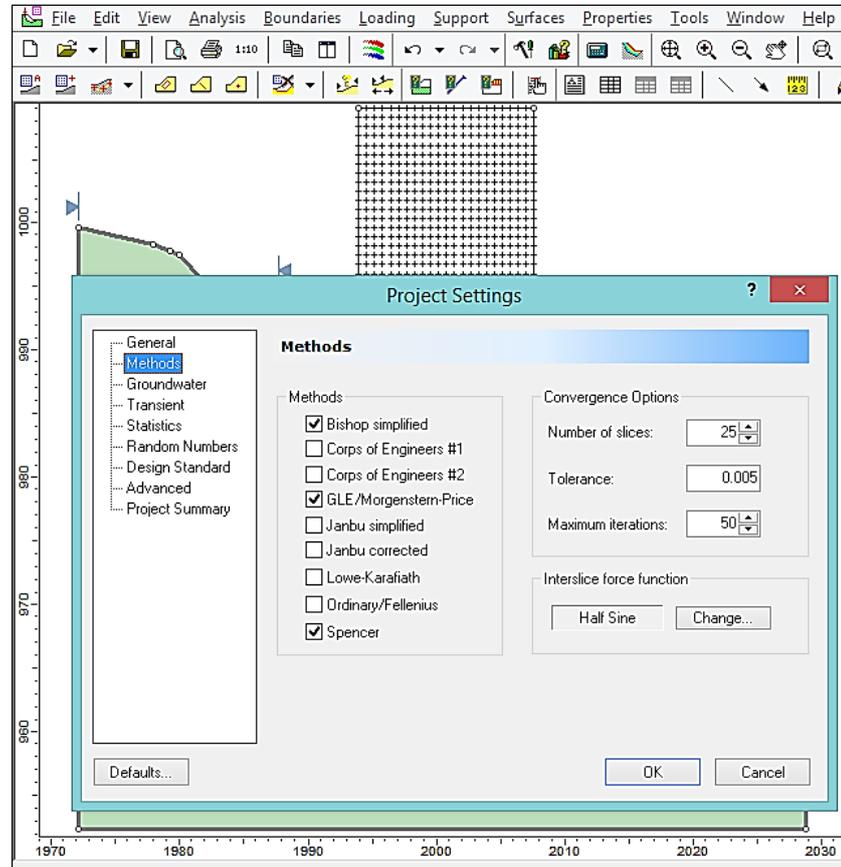


Figura 81: Configuración métodos de cálculo de F.S.

Una vez ingresado los datos se procede a realizar el análisis del talud en estudio (Estático – escenario Seco), para luego ver su factor de seguridad según la modalidad escogida.

- vi. *Interpretación de resultados*, es aquí donde se aprecia la geometría de superficie de falla crítica y su factor de seguridad mínimo (por los tres métodos de cálculos mencionados líneas arriba), así mismo se aprecia toda las superficies que fueron analizadas pero con un F.S. mayor. Figura 82.

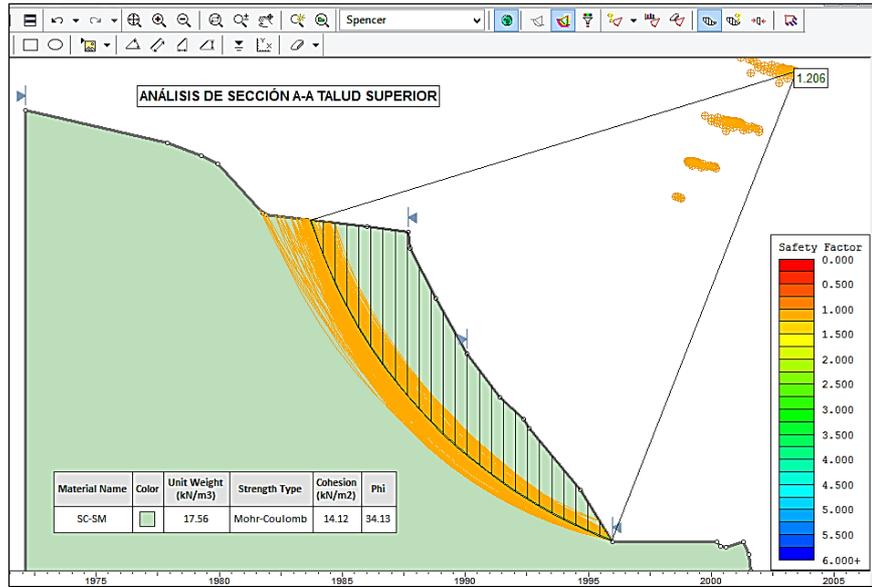


Figura 82: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático – Seco.

- vii. Una vez interpretado los datos y dados la geometría de superficie de falla crítica y su factor de seguridad correspondiente, podemos constatar las fuerzas que actúan en cada dovela por el método calculado en este caso, método Spencer, ver Figura 83.

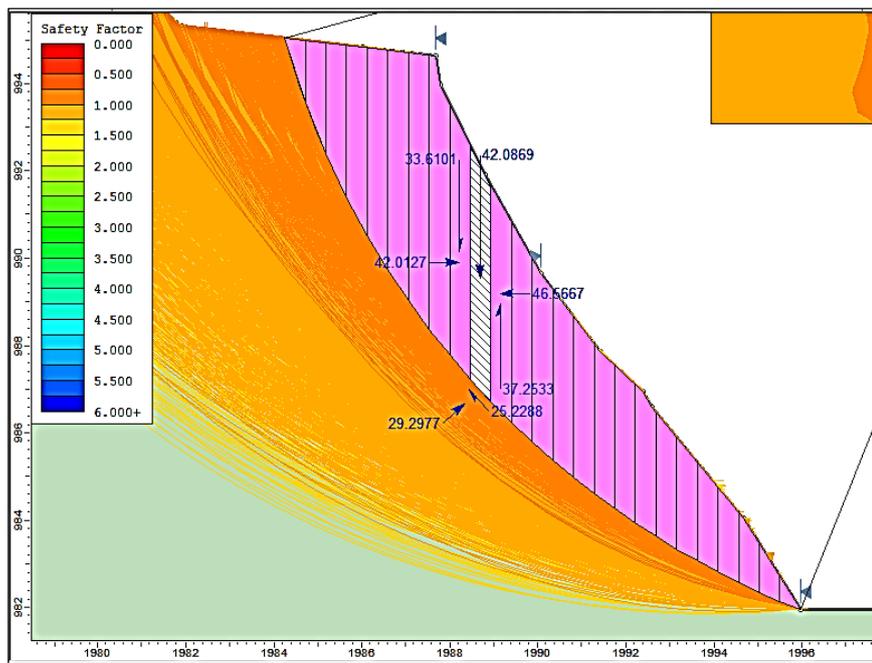


Figura 83: Fuerzas actuantes, Spencer, cálculo método de las dovelas.

4.9.2. Condición Estática – Escenario Saturado

Para el escenario Saturado solo se cambia el dato de γ_{seco} por el $\gamma_{saturado}$, y se procede a realizar el análisis del F.S., Figura 84.

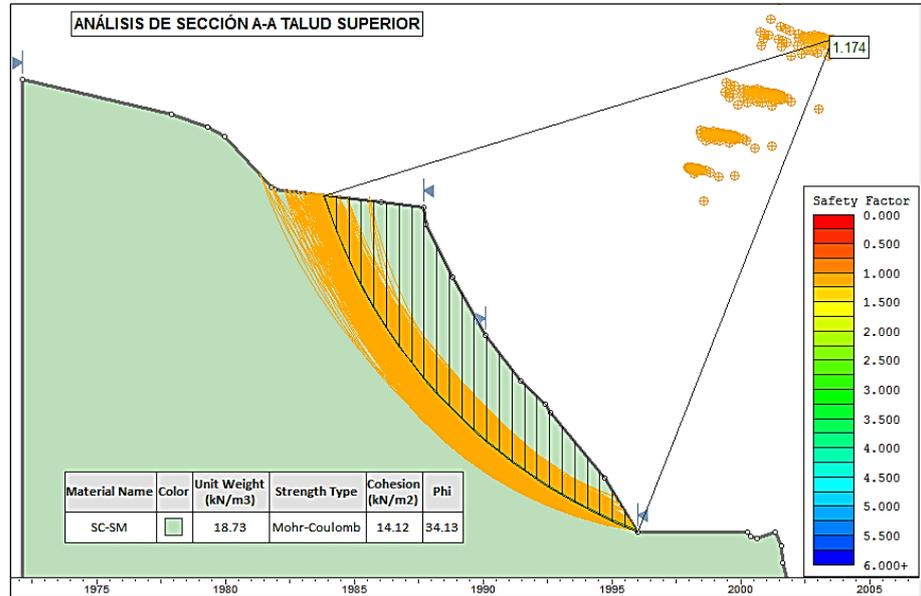


Figura 84: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado

4.9.3. Condición Seudoestático – Escenario Seco

Para el análisis del talud con presencia de movimiento sísmico (condición Seudoestático), se ingresa como dato al software Slide, la carga de coeficiente sísmico horizontal, calculado en el apartado 3.9.2., así mismo se analizó en un escenario seco, para así determinar su geometría de falla crítica y F.S.

A continuación se mostrarán los pasos como para ingresar la carga del coeficiente sísmico horizontal, para realizar su análisis correspondiente.

- i. *Carga sísmica*, es aquí donde se ingresa la carga del coeficiente sísmico horizontal, ver Figura 85. Así mismo en propiedades de los materiales nos aseguramos que el peso unitario y/o peso específico sea el seco (γ_{seco})

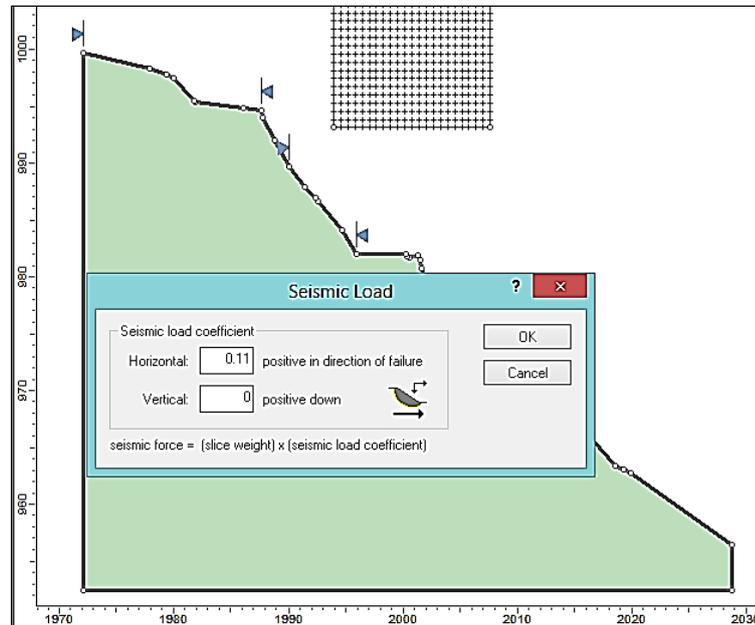


Figura 85: Ingresando datos de carga sísmica horizontal

- ii. Una vez ingresado la carga sísmica horizontal nos aparece en la pantalla superior derecha un símbolo que es conocido como el sismograma, esto nos indica que estamos realizando el análisis en los escenarios pseudoestáticos, sino aparece dicho símbolo quiere decir que estamos analizando en condiciones estático, ver Figura 86.

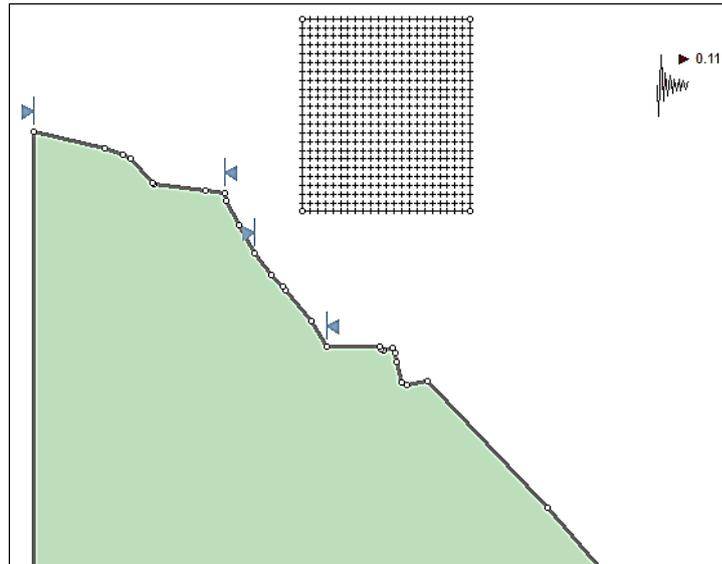


Figura 86: Símbolo del sismograma = condición pseudoestático

- iii. Una vez ingresado los datos, se realiza la corrida y posteriormente nos muestra la geometría de falla crítica y su factor de seguridad en condiciones pseudoestáticos – escenario seco, ver Figura 87.

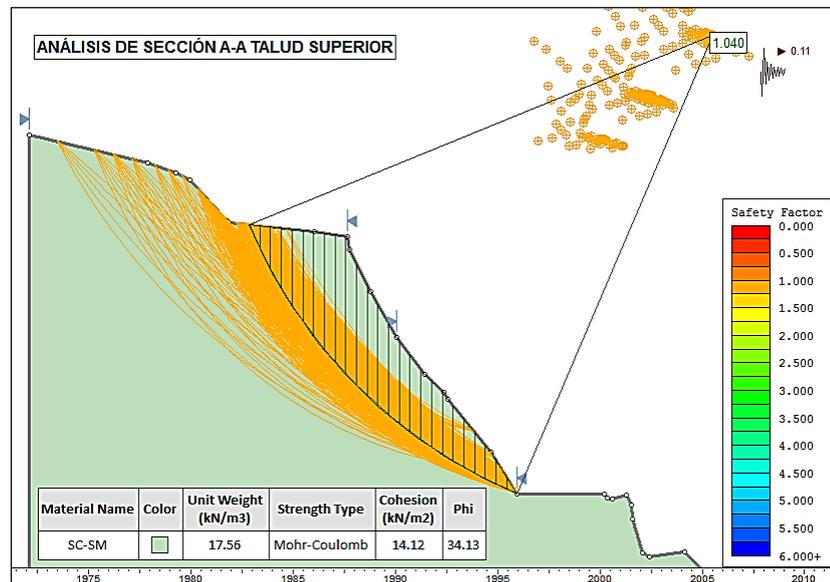


Figura 87: Talud superior, Superficie de falla crítica, Pseudoestático – Seco.

4.9.4. Condición Seudoestático – Escenario Saturado

Para el escenario Saturado solo se cambia el dato de γ_{seco} por el $\gamma_{saturado}$, y se procede a realizar el análisis en condiciones seudoestático, ver Figura 88.

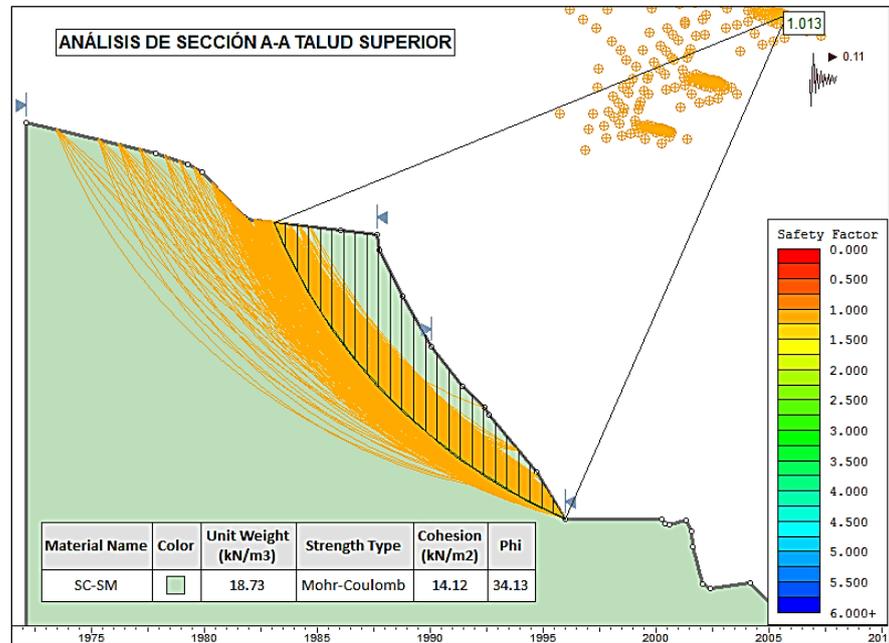


Figura 88: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Saturado

En la Tabla N° 9, se aprecia el resumen total de los F.S. de la sección A-A, analizados con diferentes métodos de cálculo, en la escala de talud superior, en dos condiciones (estático, seudoestático) y en dos escenarios (seco y saturado).

Tabla 9: Resumen de análisis del F.S., escala talud superior, sección A-A.

METODO DE CÁLCULO	TALUD SECCIÓN A-A			
	ESCALA TALUD SUPERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.211	1.180	1.044	1.014
Spencer	1.206	1.174	1.040	1.013
Morgenstern-Price	1.204	1.171	1.039	1.009

4.10. ANÁLISIS, SECCIÓN A-A, ESCALA TALUD INFERIOR

Para realizar el análisis en el talud inferior con el software Slide, de la sección A-A, se realizan todos los pasos anteriormente mencionados en el apartado 3.10.1.

A diferencia del talud superior, en el talud inferior tenemos que agregar la carga vehicular calculada en el apartado 3.9.1 (17.03 kN/m^2), ya que ésta carga afecta al talud inferior, de esa forma analizaremos cómo se comporta el talud en diferentes condiciones y escenarios que a continuación se mencionan.

4.10.1. Condición Estática – Escenario Seco

- i. *Carga vehicular*, es aquí donde se ingresa una carga vertical externa distribuida (kN/m^2), ver Figura 89.

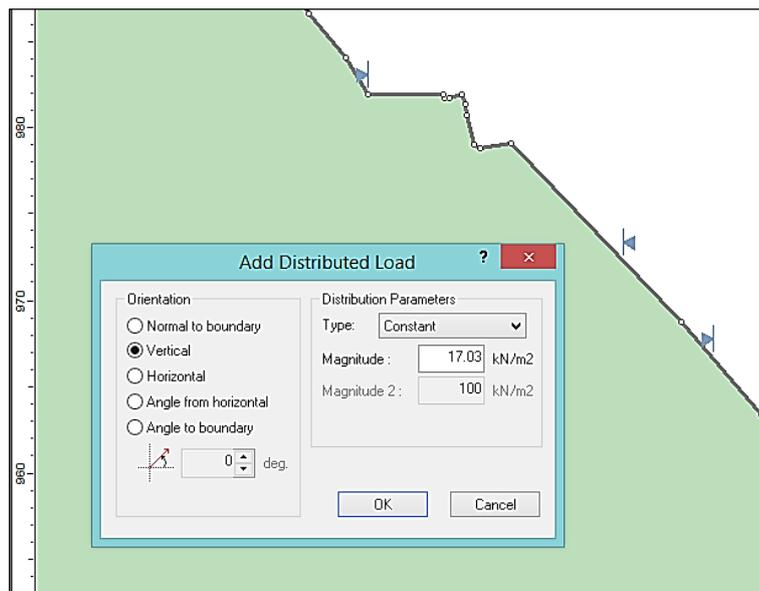


Figura 89: Ingresando carga vehicular

- ii. Una vez ingresado la carga vehicular, en el Slide se coloca cuál es la distancia que va a afectar dicha carga, en este caso vendría a ser en ancho de la plataforma, ver Figura 90.

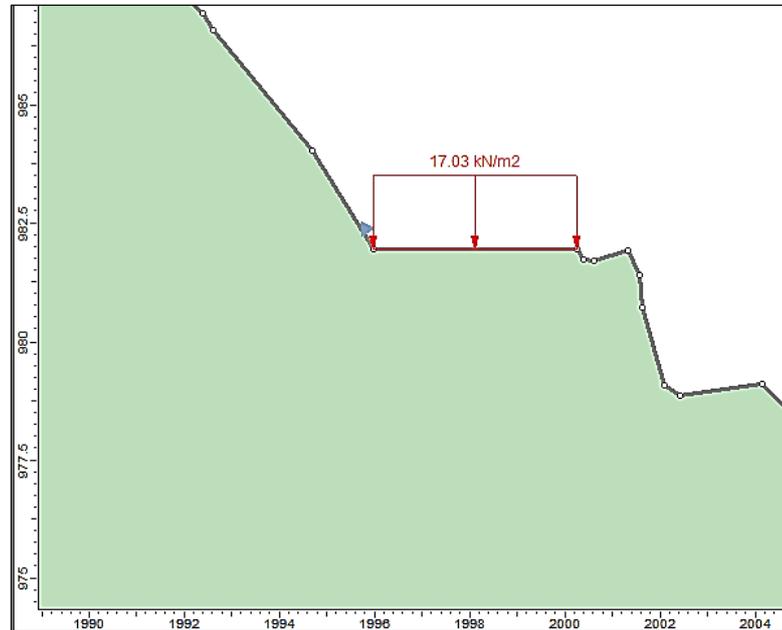


Figura 90: Carga vehicular distribuida - Slide

- iii. En la Figura 91, se muestra una vista general del talud inferior con la grilla de superficies y su respectiva carga vehicular, lo cual está listo para la corrida de datos y posteriormente su interpretación de resultados.

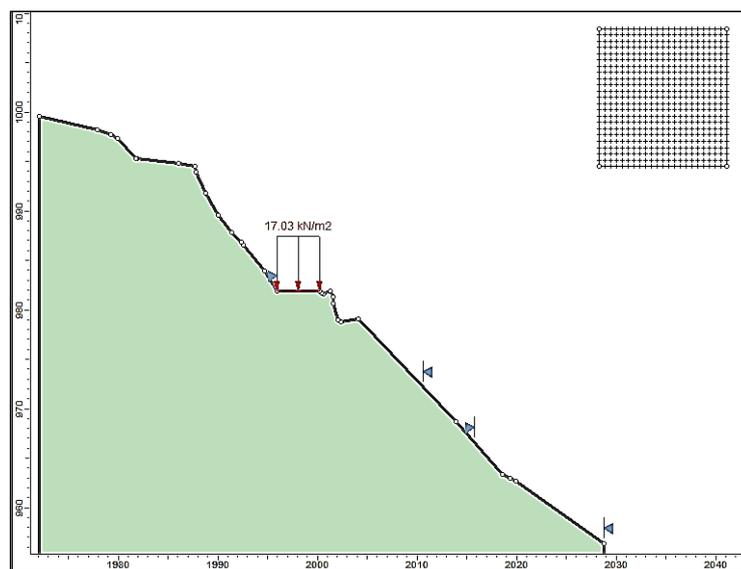


Figura 91: Análisis talud inferior (carga vehicular y grilla)

- iv. *Interpretación de resultados*, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, influenciada por la carga vehicular, ver Figura 92.

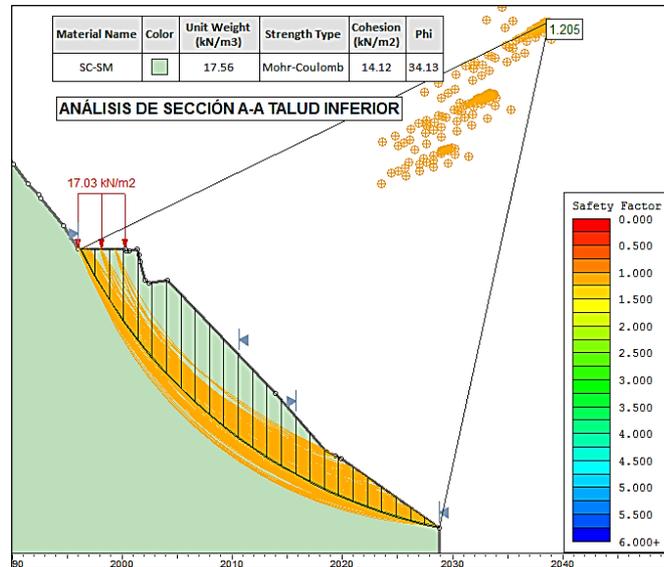


Figura 92: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático – Seco

4.10.2. Condición Estática – Escenario Saturado

Para el escenario Saturado, se mantienen los datos ingresados (carga vehicular) y solo se cambia el dato de γ_{seco} por el $\gamma_{saturado}$, y se procede a realizar el análisis del F.S., Figura 93.

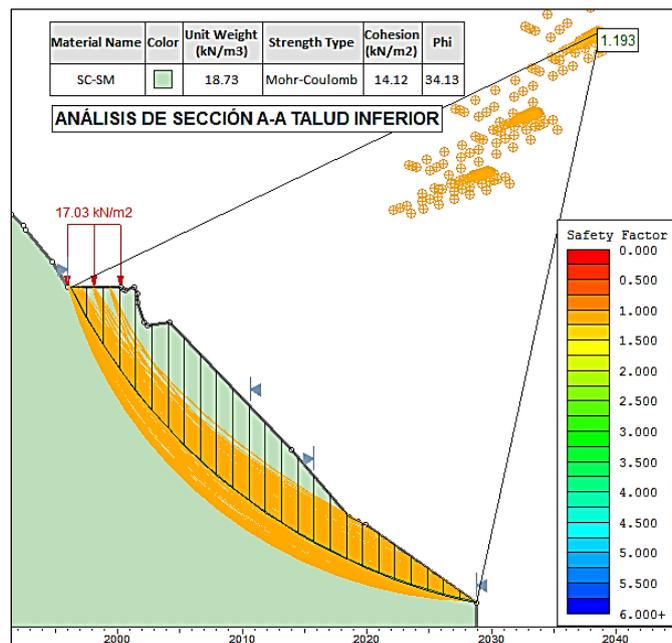


Figura 93: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado

4.10.3. Condición Seudoestático – Escenario Seco

Como ya se mencionaron los pasos que se deben seguir para una condición seudoestática – seco, en este análisis solo se colocó la interpretación de resultados, donde nos muestra la geometría de falla crítica y su respectivo factor de seguridad, ver Figura 94.

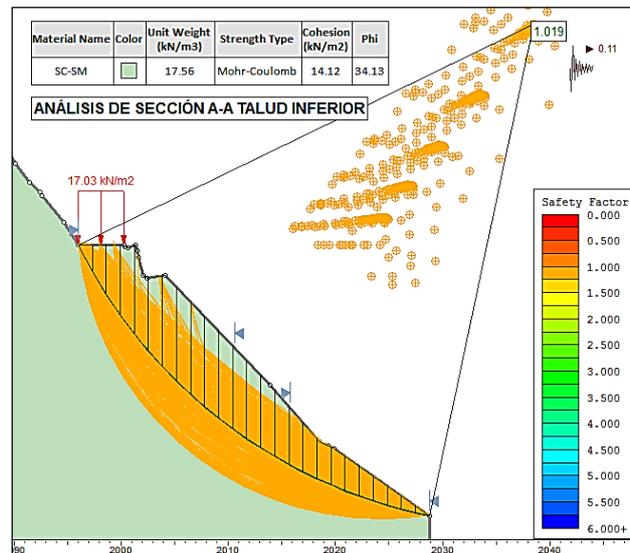


Figura 94: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Seco.

4.10.4. Condición Seudoestático – Escenario Saturado

Para el escenario Saturado solo se cambia el dato de γ_{seco} por el $\gamma_{saturado}$, y se procede a realizar el análisis en condiciones seudoestático, ver Figura 95.

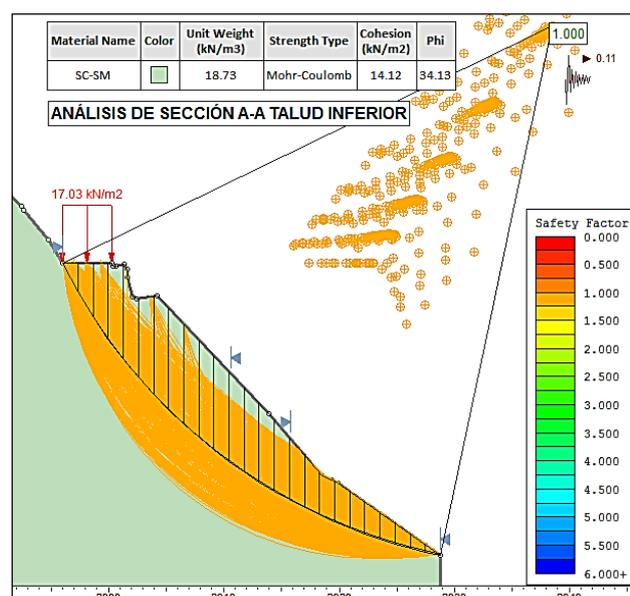


Figura 95: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Saturado

En la Tabla N° 10, se aprecia el resumen total de los F.S. de la sección A-A, analizados con diferentes métodos de cálculo, en la escala de talud inferior, en dos condiciones (estático, pseudoestático) y en dos escenarios (seco y saturado).

Tabla 10: Resumen de análisis del F.S., escala talud inferior, sección A-A.

TALUD SECCIÓN A-A				
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD INFERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.213	1.193	1.022	1.003
Spencer	1.205	1.186	1.019	1.000
Morgenstern-Price	1.204	1.187	1.019	0.999

En la siguiente Figura 96, se aprecia el resumen total de los Factores de Seguridad, analizados con diferentes métodos de cálculo, en diferentes escalas, (talud superior e inferior) en diferentes condiciones (estático, pseudoestático) y en diferentes escenarios (seco y saturado).

TALUD SECCIÓN A-A								
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD SUPERIOR				ESCALA TALUD INFERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO		ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.211	1.180	1.044	1.014	1.213	1.193	1.022	1.003
Spencer	1.206	1.174	1.040	1.013	1.205	1.186	1.019	1.000
Morgenstern-Price	1.204	1.171	1.039	1.009	1.204	1.187	1.019	0.999

Figura 96: Resumen total de análisis del Factor de Seguridad, sección A-A.

4.11. ANALISIS, SECCIÓN B-B, ESCALA TALUD SUPERIOR

En la Figura 97, se aprecia la sección transversal del corte B-B, realizado con el software CivilCAD 3D.

Una vez realizado la sección transversal de la sección B-B, se procedió a realizar el análisis, de la parte superior e inferior con el software Slide, en condición estático, pseudoestático, escenario Seco y saturado.

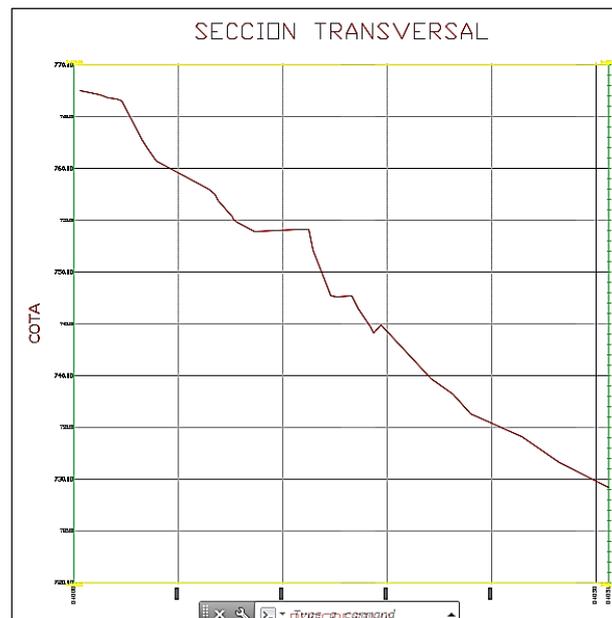


Figura 97: Sección transversal del corte B-B

4.11.1. Condición Estática – Escenario Seco.

- i. Se importó la geometría del terreno, de la sección transversal del CivilCAD 3D (formato dxf.) al Slide, Figura 98.

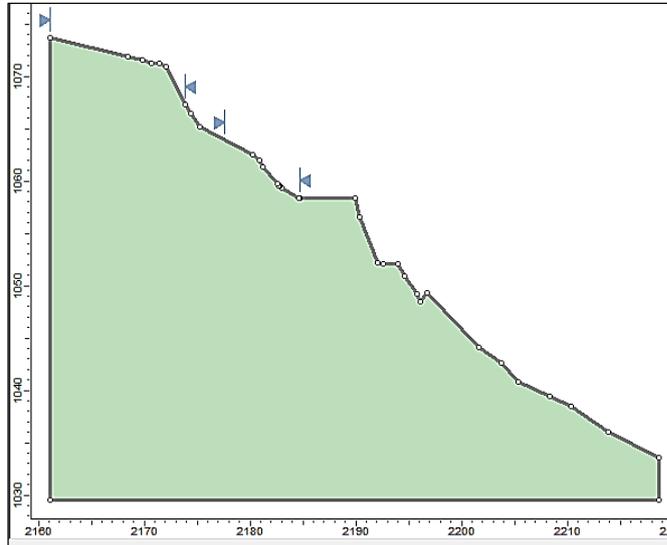


Figura 98: Sección transversal corte B-B, importado del CivilCAD 3D

- ii. Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 99.

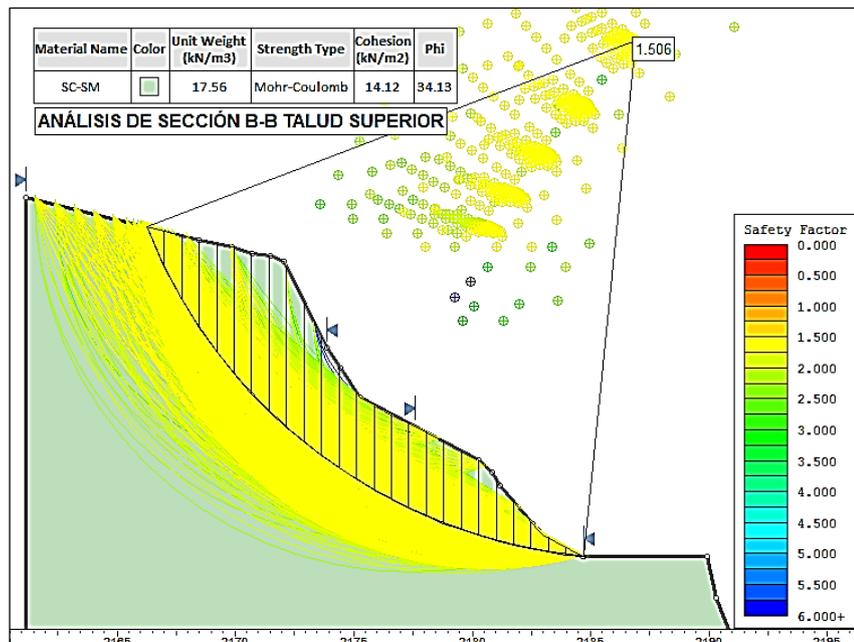


Figura 99: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático - Seco.

4.11.2. Condición Estática – Escenario Saturado.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, Figura 100.

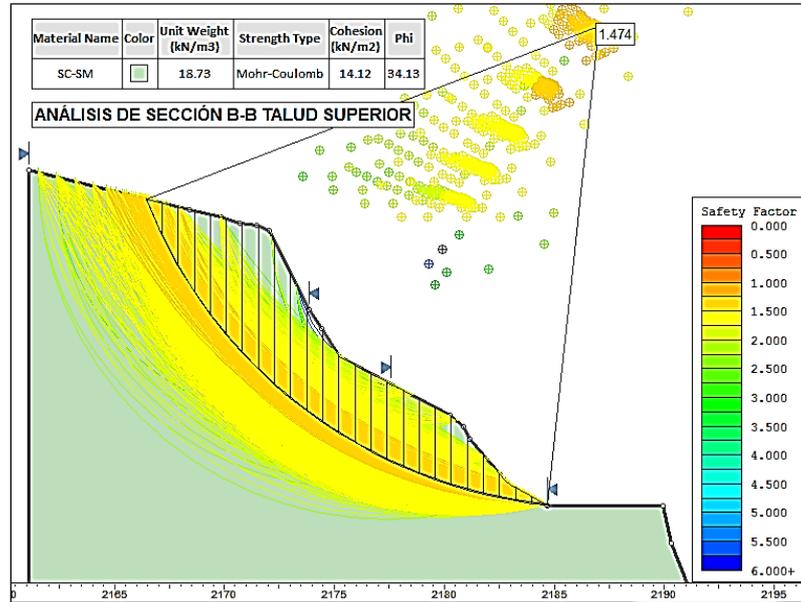


Figura 100: Talud superior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado.

4.11.3. Condición Seudoestático – Escenario Seco

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad. Figura 101.

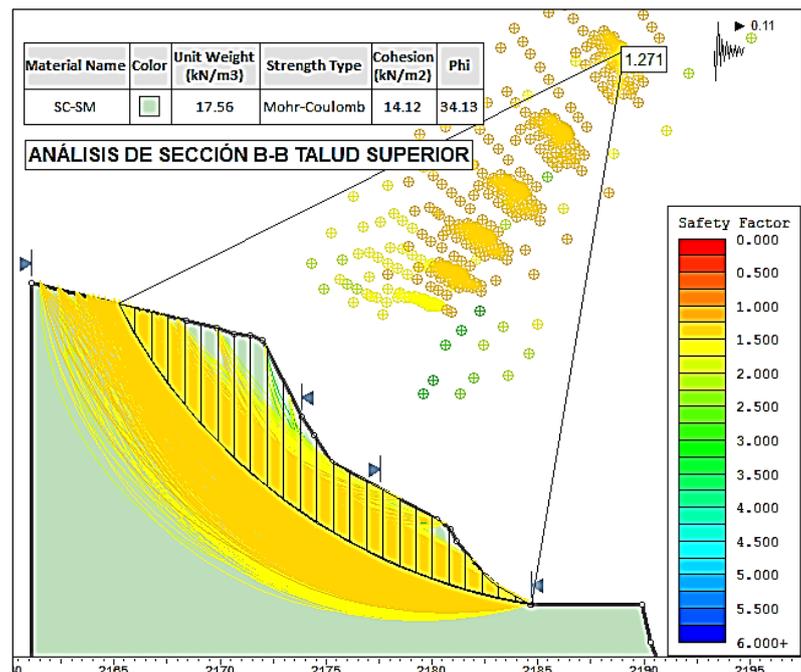


Figura 101: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Seco.

4.11.4. Condición Seudoestático – Escenario Saturada

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad. Figura 102.

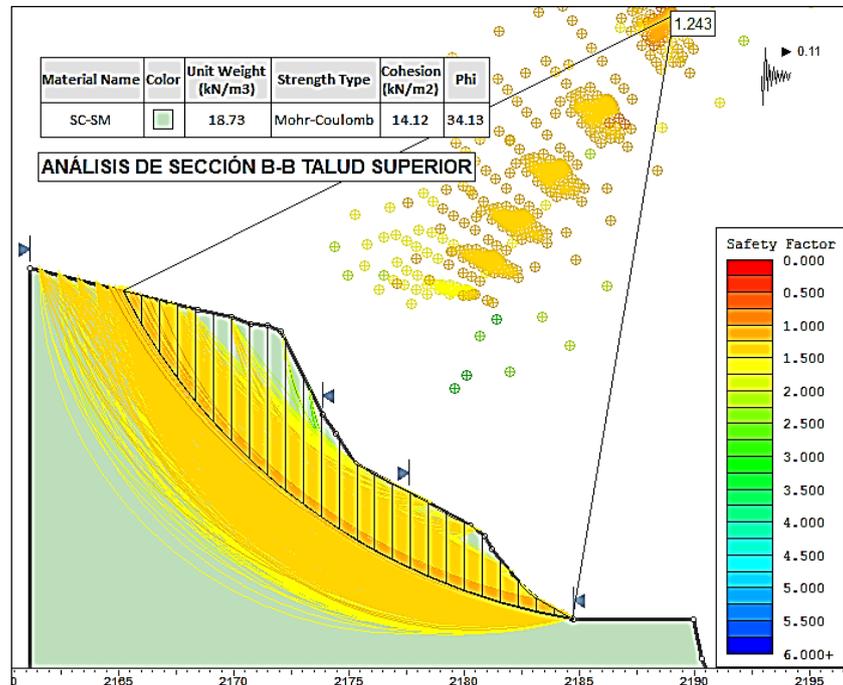


Figura 102: Talud superior, Superficie de falla crítica, Seudoestático – Saturado.

En la Tabla N° 11, se aprecia el resumen total de los F.S. de la sección B-B, analizados con diferentes métodos de cálculo, en la escala de talud superior, en dos condiciones (estático, seudoestático) y en dos escenarios (seco y saturado).

Tabla 11: Resumen de análisis del F.S., escala talud superior, sección B-B.

METODO DE CÁLCULO	TALUD SECCIÓN B-B			
	ESCALA TALUD SUPERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.512	1.479	1.275	1.247
Spencer	1.506	1.474	1.271	1.243
Morgenstern-Price	1.502	1.469	1.269	1.240

4.12. ANÁLISIS, SECCIÓN B-B, ESCALA TALUD INFERIOR

Análisis del F.S., aplicando carga vehicular, y carga sísmica en el talud inferior, de la sección B-B.

4.12.1. Condición Estática – Escenario Seco.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 103.

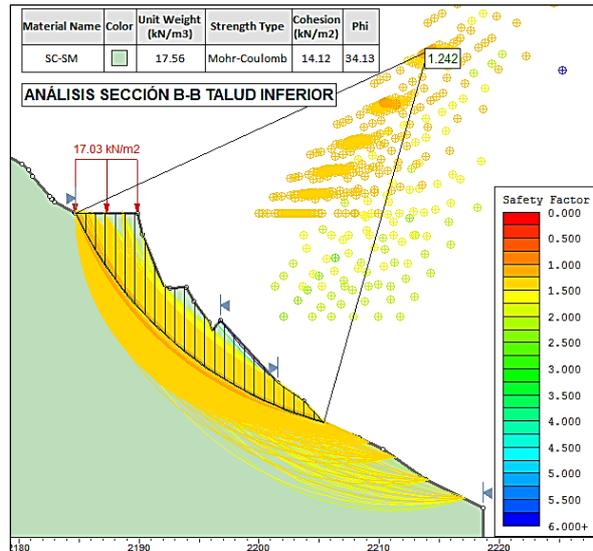


Figura 103: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático - Seco.

4.12.2. Condición Estática – Escenario Saturado.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 104.

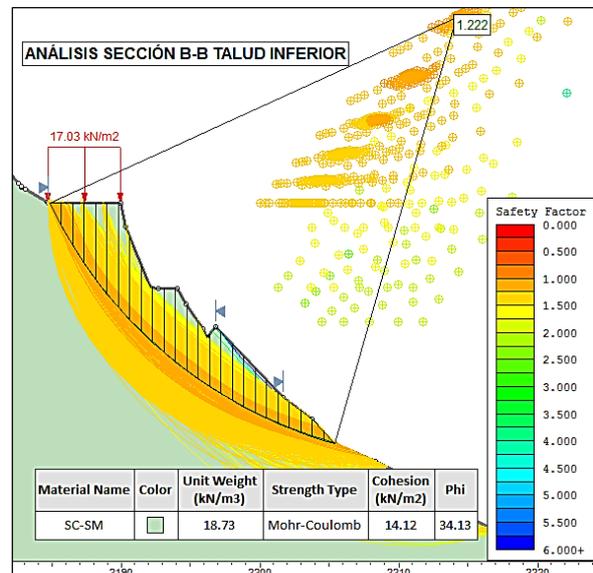


Figura 104: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Estático - Saturado.

4.12.3. Condición Seudoestático – Escenario Seco

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad. Figura 105.

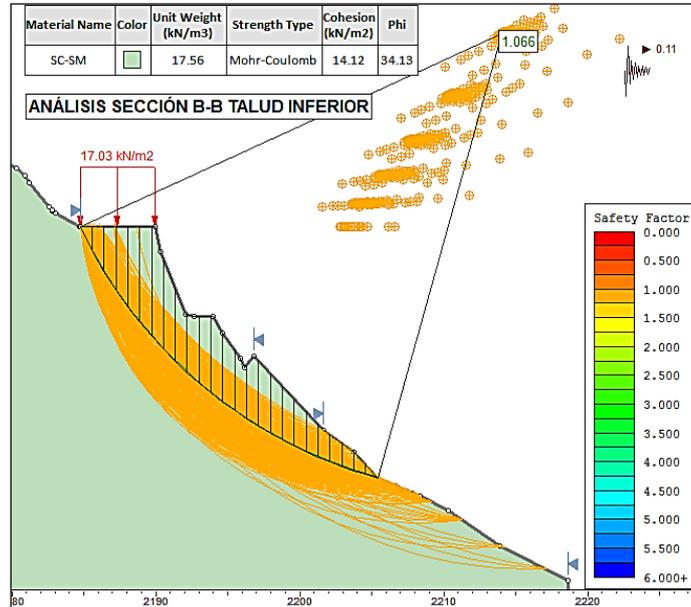


Figura 105: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Seudoestático - Seco.

4.12.4. Condición Seudoestático – Escenario Saturado

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad. Figura 106.

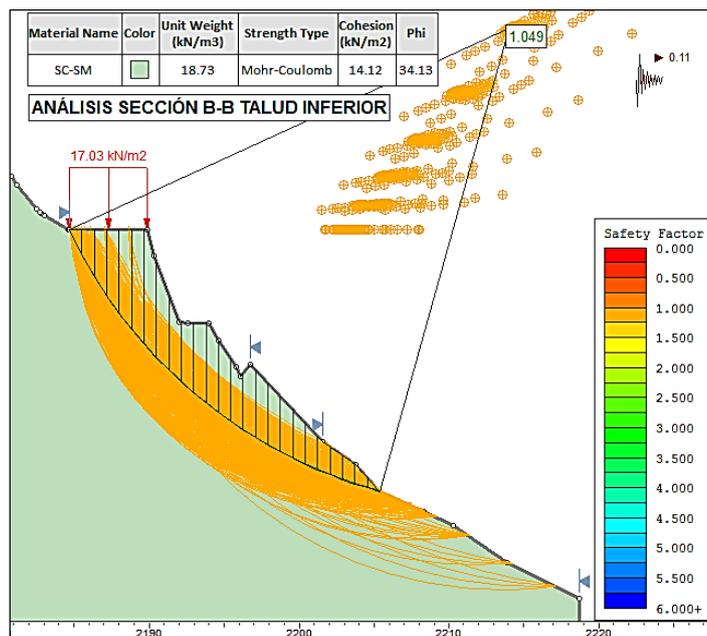


Figura 106: Talud inferior, Superficie de falla crítica, Seudoestático - Saturado

En la Tabla N° 12, se aprecia el resumen total de los F.S. de la sección B-B, analizados con diferentes métodos de cálculo, en la escala de talud inferior, en dos condiciones (estático, pseudoestático) y en dos escenarios (seco y saturado).

Tabla 12: Resumen de análisis del F.S., escala talud inferior, sección B-B.

TALUD SECCIÓN B-B				
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD INFERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.251	1.229	1.071	1.049
Spencer	1.242	1.222	1.066	1.042
Morgenstern-Price	1.242	1.221	1.063	1.042

En la siguiente Figura 107, se aprecia el resumen total de los Factores de Seguridad, analizados con diferentes métodos de cálculo, en diferentes escalas, (talud superior e inferior) en diferentes condiciones (estático, pseudoestático) y en diferentes escenarios (seco y saturado).

TALUD SECCIÓN B-B								
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD SUPERIOR				ESCALA TALUD INFERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO		ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.512	1.479	1.275	1.247	1.251	1.229	1.071	1.049
Spencer	1.506	1.474	1.271	1.243	1.242	1.222	1.066	1.042
Morgenstern-Price	1.502	1.469	1.269	1.240	1.242	1.221	1.063	1.042

Figura 107: Resumen total del análisis del Factor de Seguridad, sección B-B.

4.13. ANALISIS, SECCIÓN C-C, ESCALA TALUD SUPERIOR

En la Figura 108, se aprecia la sección transversal del corte C-C, realizado con el software CivilCAD 3D.



Figura 108: Sección del corte C-C.

4.13.1. Condición Estática – Escenario Seco.

- i. Se importa la geometría del terreno, de la sección transversal del CivilCAD 3D (formato dxf.) al Slide, Figura 109.

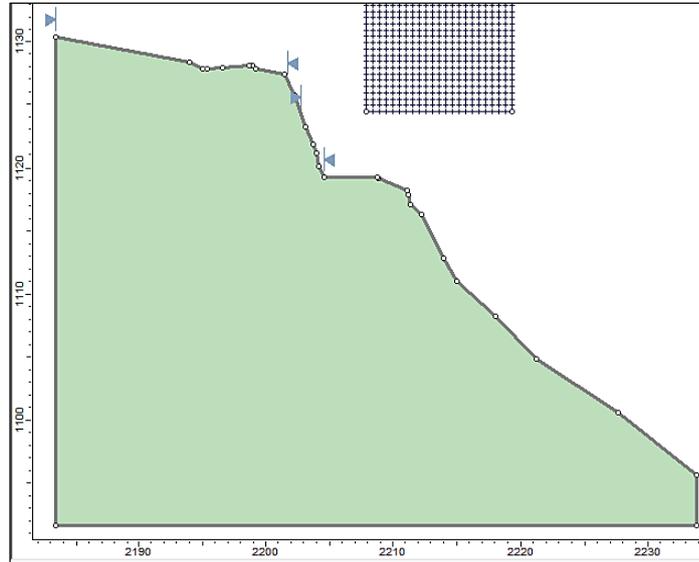


Figura 109: Sección transversal C-C, importado del CivilCAD 3D.

- iii. interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su F.S., ver Figura 110.

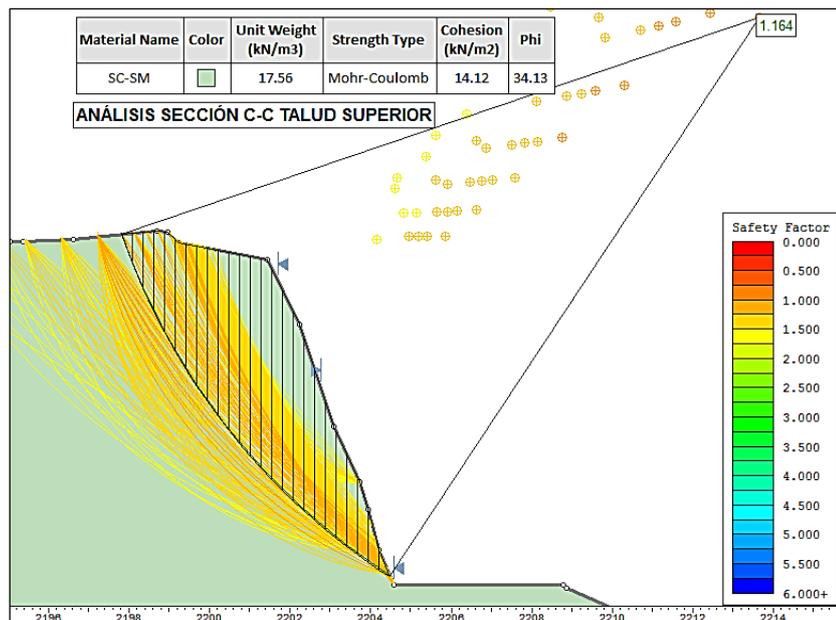


Figura 110: Talud superior, superficie de falla crítica, Estático - Seco.

4.13.2. Condición Estática – Escenario Saturado.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 111.

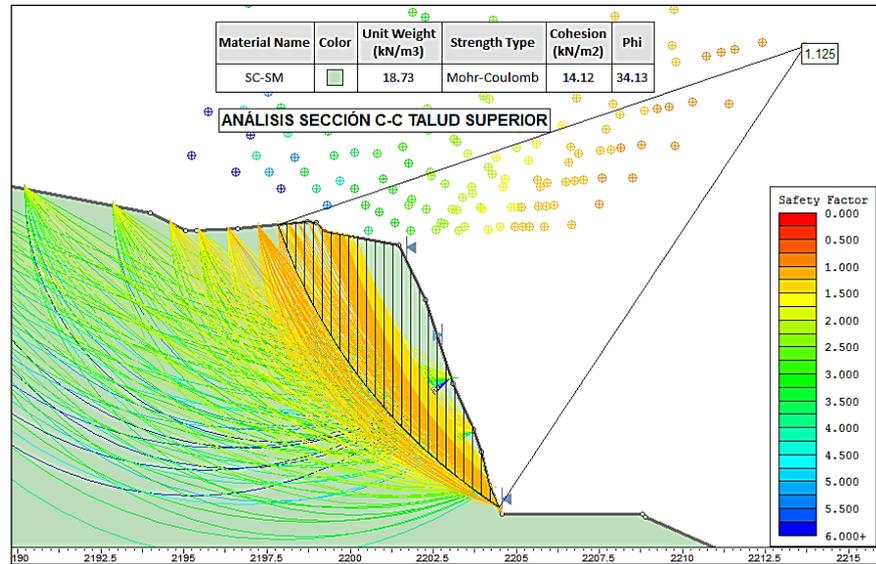


Figura 111: Talud superior, superficie de falla crítica, Estático - Saturado.

4.13.3. Condición Seudoestático – Escenario Seco.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 112.

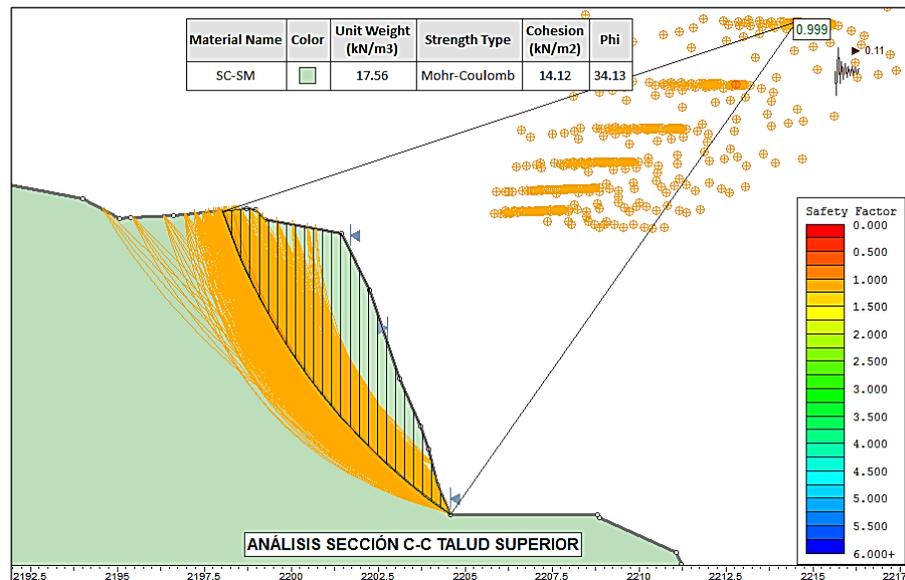


Figura 112: Talud superior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Seco.

4.13.4. Condición Seudoestático – Escenario Saturado.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 113.

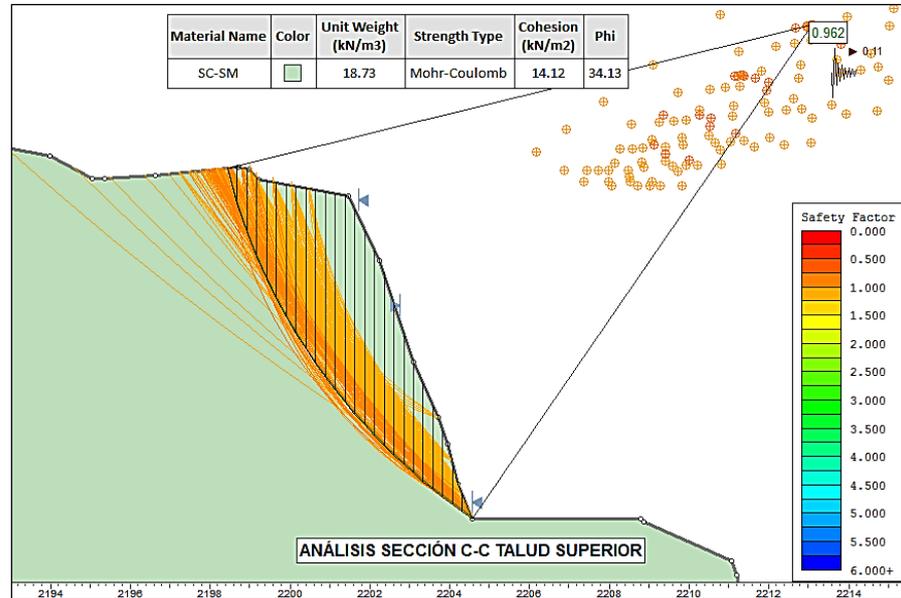


Figura 113: Talud superior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Saturado

En la Tabla N° 13, se aprecia el resumen total de los F.S. de la sección C-C, analizados con diferentes métodos de cálculo, en la escala de talud superior, en dos condiciones (estático, seudoestático) y en dos escenarios (seco y saturado).

Tabla 13: Resumen de análisis del F.S., escala talud superior, sección C-C.

TALUD SECCIÓN C-C				
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD SUPERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.124	1.088	0.999	0.966
Spencer	1.164	1.125	0.994	0.962
Morgenstern-Price	1.165	1.126	0.993	0.953

4.14. ANÁLISIS, SECCIÓN C-C, ESCALA TALUD INFERIOR.

Análisis del F.S., aplicando carga vehicular, y carga sísmica en el talud inferior, de la sección C-C.

4.14.1. Condición Estática – Escenario Seco.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 120.

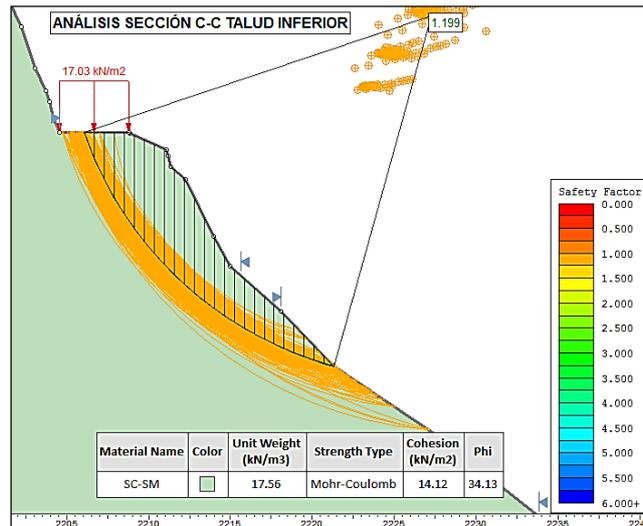


Figura 114: Talud inferior, superficie de falla crítica, Estático - Seco.

4.14.2. Condición Estática – Escenario Saturado.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 121.

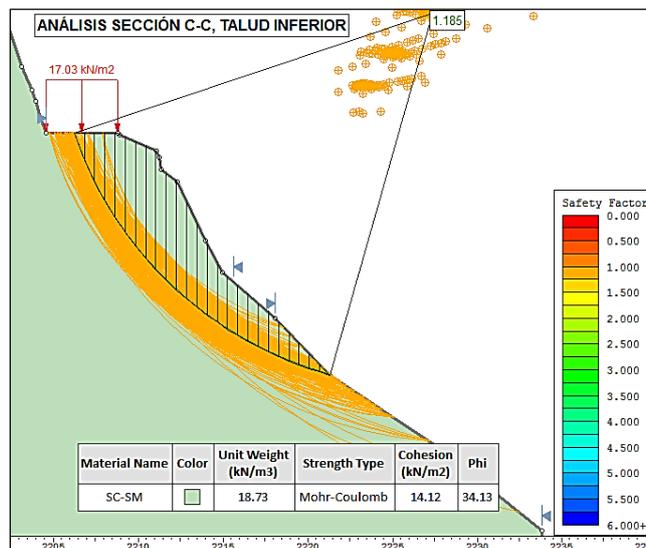


Figura 115: Talud inferior, superficie de falla crítica, Estático - Saturado.

4.14.3. Condición Seudoestático – Escenario Seco.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 122.

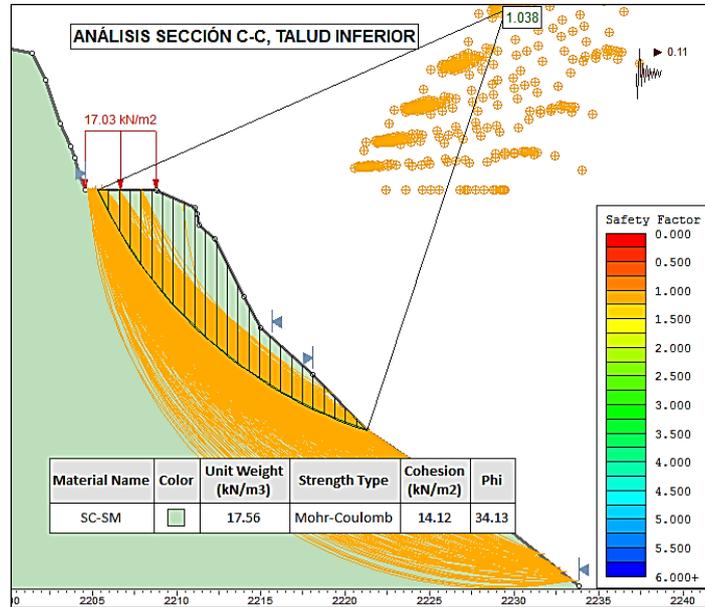


Figura 116: Talud inferior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Seco.

4.14.4. Condición Seudoestático – Escenario Saturado.

Interpretación de resultados, es aquí donde se aprecia la geometría de falla crítica y su factor de seguridad, ver Figura 123.

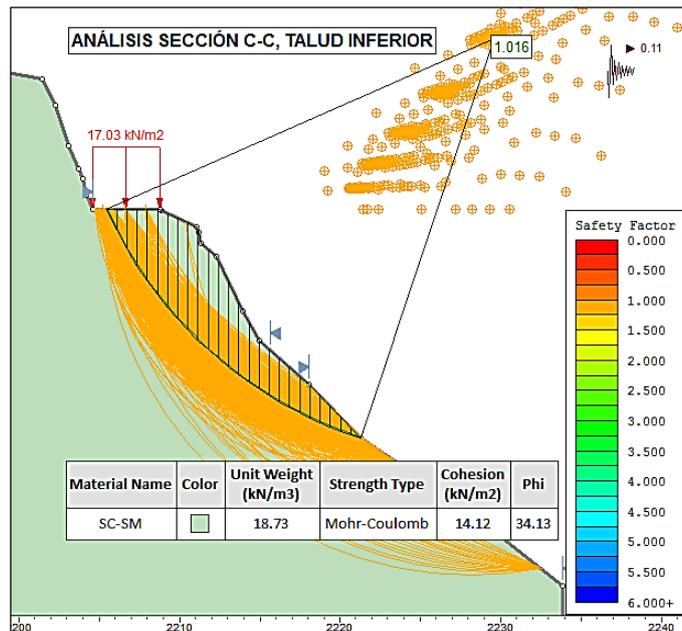


Figura 117: Talud inferior, superficie de falla crítica, Seudoestático - Saturado.

En la Tabla N° 14, se aprecia el resumen total de los F.S. de la sección C-C, analizados con diferentes métodos de cálculo, en la escala de talud inferior, en dos condiciones (estático, pseudoestático) y en dos escenarios (seco y saturado).

Tabla 14: Resumen de análisis del F.S., escala talud inferior, sección C-C.

TALUD SECCIÓN C-C				
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD INFERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.211	1.185	1.043	1.017
Spencer	1.199	1.174	1.038	1.016
Morgenstern-Price	1.201	1.175	1.036	1.011

En la siguiente Figura 118, se aprecia el resumen total de los Factores de Seguridad, analizados con diferentes métodos de cálculo, en diferentes escalas, (talud superior e inferior) en diferentes condiciones (estático, pseudoestático) y en diferentes escenarios (seco y saturado).

TALUD SECCIÓN C-C								
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD SUPERIOR				ESCALA TALUD INFERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO		ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.124	1.088	0.999	0.966	1.211	1.185	1.043	1.017
Spencer	1.164	1.125	0.994	0.962	1.199	1.174	1.038	1.016
Morgenstern-Price	1.165	1.126	0.993	0.953	1.201	1.175	1.036	1.011

Figura 118: Resumen total del análisis del Factor de Seguridad, sección B-B.

4.15. ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Se realizó el análisis del Sector la Esperanza de las tres secciones (A-A, B-B, C-C) con el objetivo de conocer como varía el Factor de Seguridad, aplicado en diferentes condiciones (Estático y Seudoestático), y escenarios (Seco y Saturado), siendo la más crítica la condición Seudoestático – Saturado.

Así mismo se realizó el cálculo con diferentes métodos (Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern-Price), con el objetivo de conocer en cuánto varían los resultados.

De los análisis obtenidos en cada sección se puede apreciar que hay una similitud de resultados entre Spencer y Morgenstern-Price, esto es debido a que ambos aplican la misma cantidad de fuerzas actuantes por cada dovela para el cálculo del F.S.

Para realizar la estabilización del talud del sector La Esperanza, se trabajó con los cálculos realizados por Spencer ya que son los más precisos y usados en el medio, para realizar estabilizaciones de taludes, así mismo se eligió las condiciones y escenarios más críticos que son Seudoestático y Saturado.

4.16. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUD, FACTOR TÉCNICO

Para realizar la estabilidad de talud, analizando la parte técnica se trabajó con la **sección A-A**, escala talud superior, $L = 18$ m.

Así mismo se trabajó con un Factor de Seguridad mínimo de diseño de 1.25 para sollicitaciones sísmicas, según (27) la norma técnica (CE.020 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES, 2012, p. 6)

Se propuso tres alternativas para la estabilidad de talud:

- ✓ Muro en voladizo
- ✓ Muro Ciclópeo
- ✓ Muro de gaviones

Con los datos analizados anteriormente⁸, conocemos el F.S. más crítico en condiciones Seudoestática – Saturado, ver cuadro N° 15.

Tabla 15: Factor de Seguridad más crítico, Sección A-A talud superior

TALUD SECCIÓN A-A	
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD SUPERIOR
	SEUDOESTÁTICO
	SATURADO
Spencer	1.013

Para el diseño de muros de contención se trabajó en base a la (27) Norma Normal CE 020 Estabilización de Suelos y Taludes, cumpliendo con los factores de seguridad por volteo y desplazamiento como mínimo de 2.0 y 1.5 respectivamente.

4.16.1. Estabilidad de talud, muro en voladizo, sección A-A.

Con el F.S. más crítico y su geometría de falla conocida, ver Figura 119 y/o ANEXO N° 3, Se procedió a realizar el análisis para su estabilidad de talud utilizando como primera alternativa el muro en voladizo.

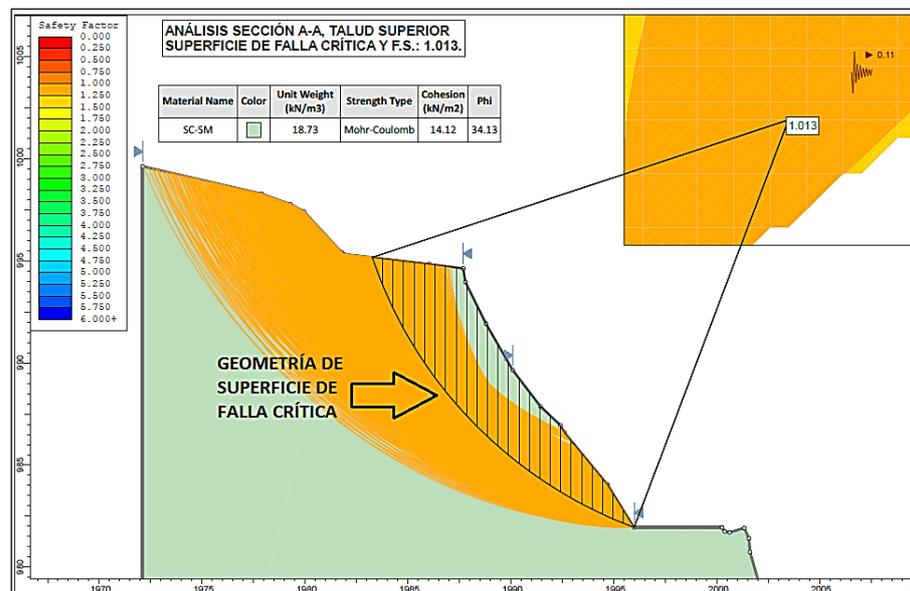


Figura 119: Geometría de superficie de falla y F.S. crítico de la sección A-A.

⁸ Para apreciar los datos analizados remitirse al Capítulo III – 3.11.4.

Para el diseño del muro en voladizo, según la (27) Normal CE 020 Estabilización de Suelos y Taludes, se cumplió con los factores de seguridad por volteo y desplazamiento como mínimo de 2.0 y 1.5 respectivamente.

Como resultado final del análisis según la Figura 119, se diseñó un muro en voladizo de 5m de altura, ver ANEXO N° 4, con el fin de aumentar su factor de seguridad a un Mínimo de 1.25.

Realizado el diseño del muro en voladizo, se procedió a cargar dicho diseño al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 120 y/o ANEXO N° 5 , analizando el muro en voladizo de H= 5m, nos dio un F.S. de 1.264, cumpliendo con la norma CE. 020.

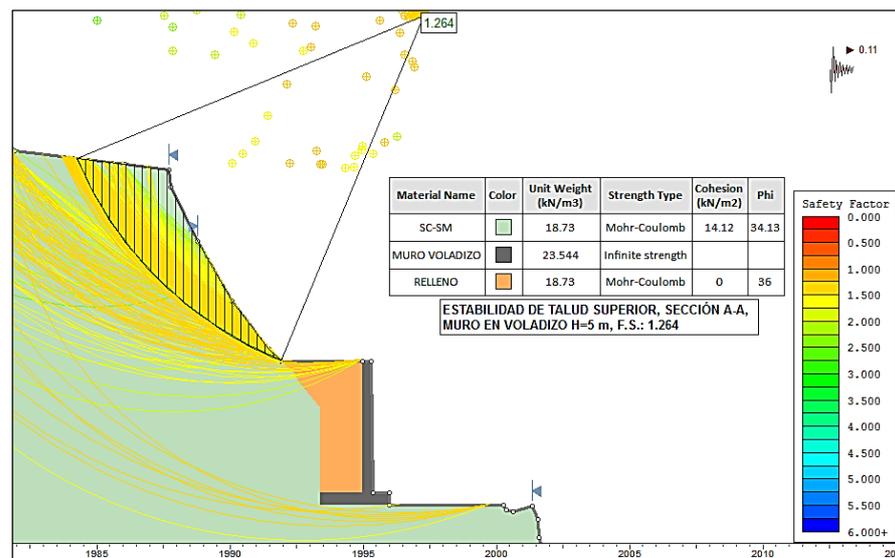


Figura 120: Estabilidad de talud superior con muro en voladizo, Sección A-A.

4.16.2. Estabilidad de talud, muro ciclópeo, sección A-A.

De la misma manera se diseñó un muro de gravedad de concreto ciclópeo con una altura de 5m, cumpliendo con los factores de seguridad mínimo por volteo y desplazamiento, ver ANEXO N° 6, con el objetivo de estabilizar dicho talud con un F.S. de diseño mínimo de 1.25.

Realizado el diseño del muro ciclópeo, se procedió a cargar dicho diseño al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 121 y/o ANEXO N° 7 , analizando el muro en voladizo de H= 5m, nos dio un F.S. de 1.252, cumpliendo con la norma CE. 020.

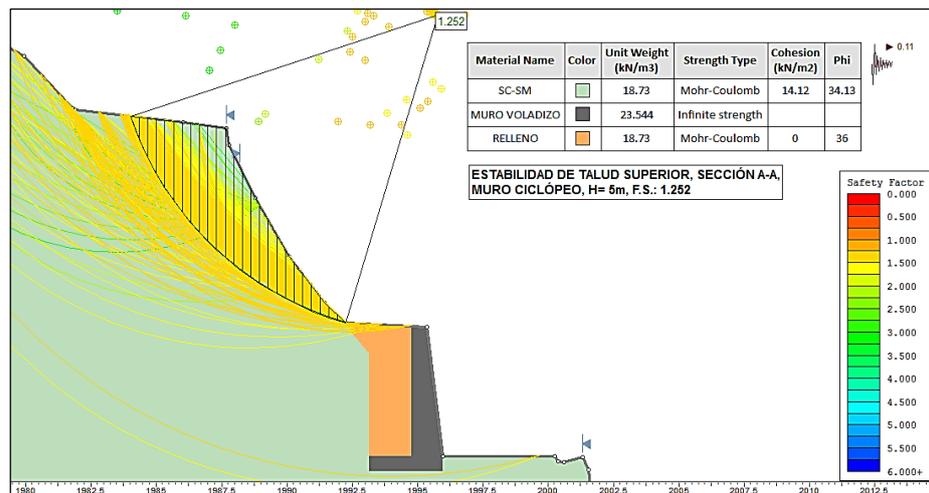


Figura 121: Estabilidad de talud superior con muro ciclópeo, Sección A-A.

4.16.3. Estabilidad de talud, muro de gaviones, sección A-A.

De la misma manera se diseñó el muro de gaviones, usando el software Geo5 2017, con una altura de 5m, cumpliendo con los factores de seguridad mínimo por volteo y desplazamiento, ver ANEXO N° 8 con el objetivo de estabilizar dicho talud con un F.S. de diseño mínimo de 1.25.

Realizado el diseño del muro de gaviones, se procedió a cargar dicho diseño al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 122 y/o ANEXO N° 9 , analizando el muro de gaviones, H= 5m, nos dio un F.S. de 1.255, cumpliendo con la norma CE. 020.

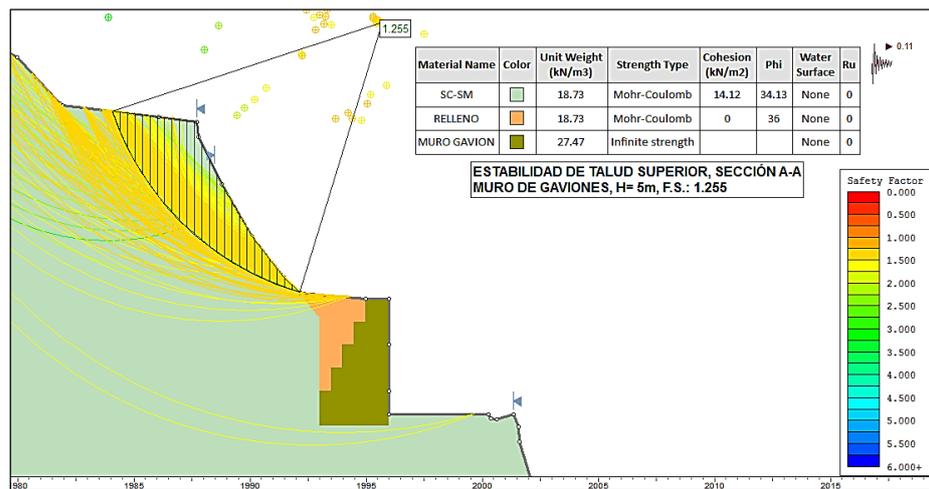


Figura 122: Estabilidad de talud superior con muro de gaviones, Sección A-A.

4.17. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUD, FACTOR ECONÓMICO

Con el objetivo de saber qué tipo de muro de contención es más económico para su construcción, se realizó el metrado y posteriormente el presupuesto por metro lineal de los tres muros estudiados anteriormente, de la sección A-A, talud superior.

4.17.1. Factor económico, muro en voladizo

Se realizó el metrado por metro lineal del muro de contención en voladizo, de la sección A-A, talud superior, ver ANEXO N° 10.

Una vez realizado el metrado del muro por metro lineal se procedió a realizar el presupuesto, ver ANEXO N° 11 , siendo la suma total de **3,363.68 Nuevos Soles.**

4.17.2. Factor económico, muro ciclópeo

De la misma manera, se realizó el metrado por metro lineal del muro ciclópeo, de la sección A-A, talud superior, ver ANEXO N° 10.

Una vez realizado el metrado del muro por metro lineal se procedió a realizar el presupuesto, ver ANEXO N° 11 , siendo la suma total de **2,541.73 Nuevos Soles.**

4.17.3. Factor económico, muro de gaviones

De la misma manera, se realizó el metrado por metro lineal del muro de gaviones, de la sección A-A, talud superior, ver ANEXO N° 10.

Una vez realizado el metrado del muro por metro lineal se procedió a realizar el presupuesto, ver ANEXO N° 11, siendo la suma total de **1,858.82 Nuevos Soles.**

4.18. ESTABILIZACIÓN DE TALUD SUPERIOR

Habiendo realizado el análisis de estabilidad de la sección A-A, talud superior, pudimos obtener información relevante sobre qué tipo de muro de contención es el más viable técnica y económicamente, pero aparte de definir qué tipo de muro de contención es mejor técnica y económicamente, tenemos que ver otros aspectos como la accesibilidad al talud y materiales presentes en el campo para su ejecución, por ejemplo canteras de piedras para trabajar con muro de gaviones siendo éste el más económico.

Analizando la cantidad de material (cantera de piedras) presentes en el sector La Esperanza, existe material suficiente para estabilizar el talud superior tanto en la sección A-A, B-B y C-C, con muros tipo gaviones siendo ésta la más económica para su ejecución, a continuación se detallan las secciones estabilizadas con muro tipo gavión.

4.18.1. Estabilidad de talud, sección B-B

En el ANEXO N° 12, se puede apreciar la geometría de superficie de falla crítica y su F.S. del talud superior, sección B-B, L=5.5 m.

Se realizó el diseño del muro de gaviones, para luego proceder a cargar al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 123 y/o ANEXO N° 12, analizando el muro de gaviones, H= 2m, nos dio un F.S. de 1.297, cumpliendo con la norma CE. 020.

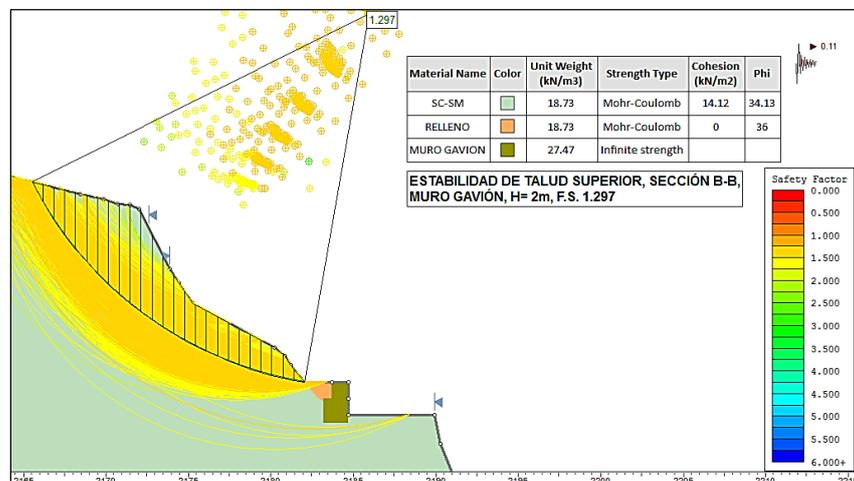


Figura 123: Estabilidad de talud superior con muro de gaviones, Sección B-B.

4.18.2. Estabilidad de talud, sección C-C

En el ANEXO N° 13, se puede apreciar la geometría de superficie de falla crítica y su F.S. del talud superior, sección C-C, L = 17.50 m

Se realizó el diseño del muro de gaviones, para luego proceder a cargar al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 124 y/o ANEXO N° 13, analizando el muro de gaviones, H= 4m, nos dio un F.S. de 1.291, cumpliendo con la norma CE. 020.

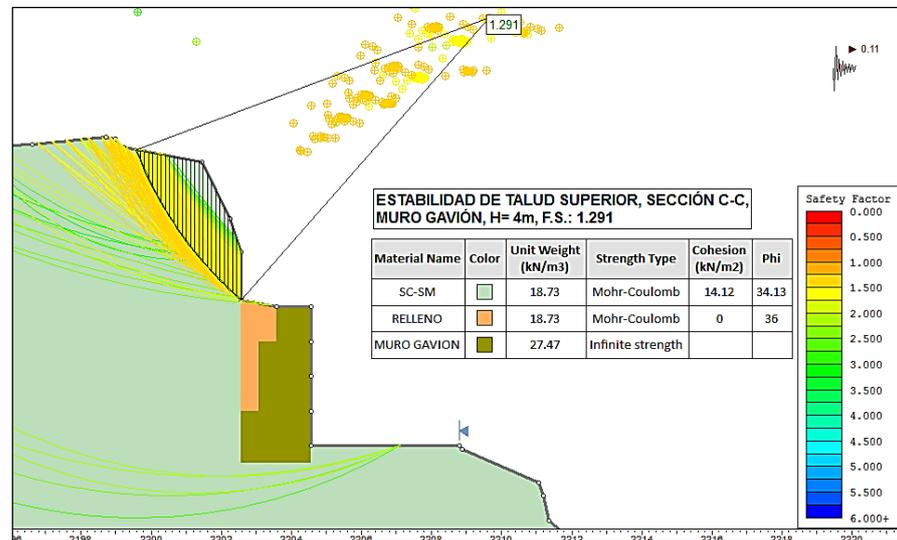


Figura 124: Estabilidad de talud superior con muro de gaviones, Sección C-C.

4.19. ESTABILIZACIÓN DE TALUD INFERIOR

Habiendo propuesto la estabilización del talud superior con muro de gaviones, tenemos que analizar el estado de la cantera de piedras presentes en el lugar y alrededores, con la finalidad de que si podemos seguir proponiendo muro de gaviones en el talud inferior.

Habiendo analizado a grosso modo la cantera, no existe suficiente piedra para abastecer la construcción de muros de gaviones de 8 y 6 metros de altura respectivamente ya que esas son las medidas para que dicho talud sea estable, pero si alcanza para la construcción de un muro de 2.5m en

el tercer nivel, a continuación se detalla dichas estabilizaciones en el talud inferior, los muros del talud inferior tienen una $L = 21$ m.

4.19.1. Estabilidad de talud, sección A-A

En el ANEXO N° 14, se puede apreciar la geometría de superficie de falla crítica y su F.S. del talud inferior, sección A-A.

Se realizó el diseño de 2 muros de contención en voladizo, para luego proceder a cargar al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 125 y/o ANEXO N° 14, analizando los muros en voladizo de altura, $H= 8$ m y 6m respectivamente, nos dio un F.S. de 1.25, cumpliendo con la norma CE. 020.

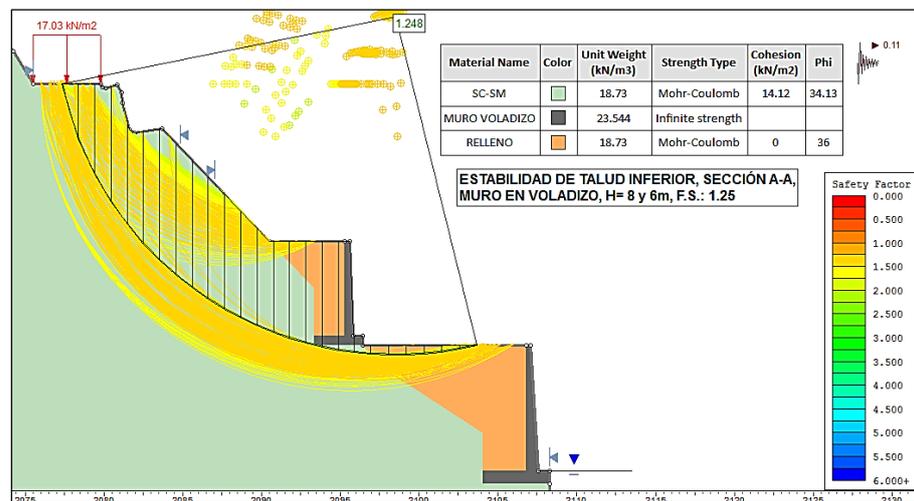


Figura 125: Estabilidad de talud inferior con muros en voladizo, Sección A-A.

4.19.2. Estabilidad de talud, sección B-B

En el ANEXO N° 15, se puede apreciar la geometría de superficie de falla crítica y su F.S. del talud inferior, sección B-B.

Se realizó el diseño de 3 muros de contención (2 en voladizo y 1 de gaviones), para luego proceder a cargar al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 126 y/o ANEXO N° 15, analizando los muros en voladizo de altura, $H= 8$ m y 6m y muro de gaviones, $H=2.5$ m, nos dio un F.S. de 1.251, cumpliendo con la norma CE. 020.

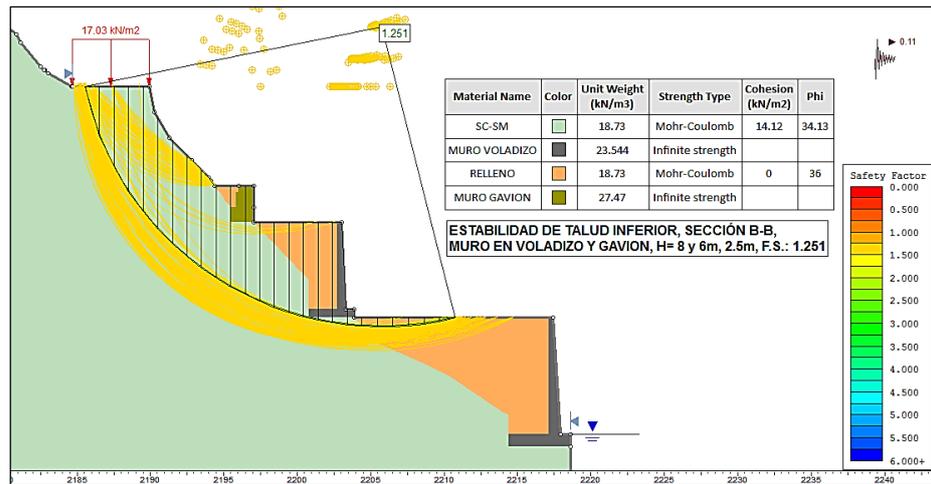


Figura 126: Estabilidad de talud inferior con muros en voladizo y gaviones, Sección B-B.

4.19.3. Estabilidad de talud, sección C-C

En el ANEXO N° 16, se puede apreciar la geometría de superficie de falla crítica y su F.S. del talud inferior, sección C-C.

Se realizó el diseño de 3 muros de contención (2 en voladizo y 1 de gaviones), para luego proceder a cargar al software Slide para ver si cumple con el factor de seguridad de diseño, ver Figura 127 y/o ANEXO N° 16, analizando los muros en voladizo de altura, H= 8m y 6m y muro de gaviones, H=2.5m, nos dio un F.S. de 1.25, cumpliendo con la norma CE. 020.

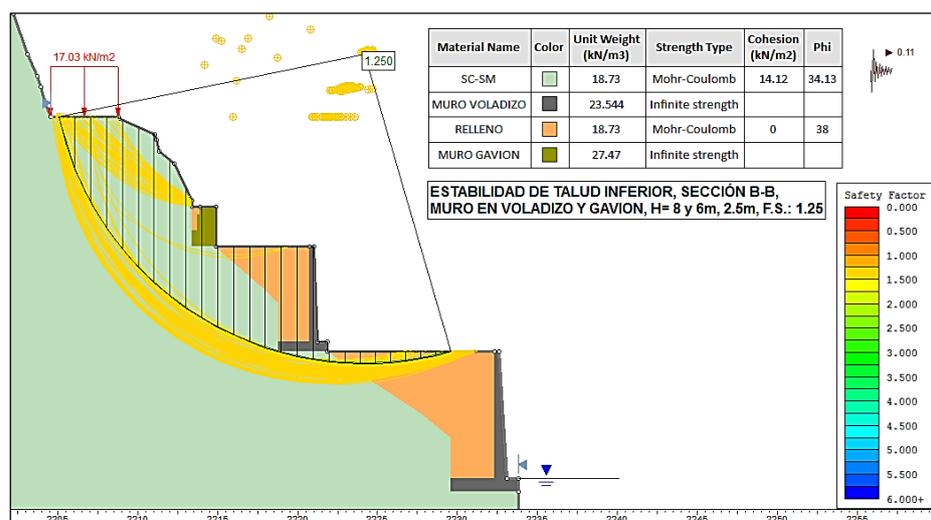


Figura 127: Estabilidad de talud inferior con muros en voladizo y gaviones, Sección C-C.

CAPITULO V: RESULTADOS

- Mediante un ensayo de análisis granulométrico de la muestra realizada en el corte de talud se obtuvo como resultado un suelo: **SC – SM** (arena arcillosa y limosa).
- Mediante un ensayo de corte directo de la muestra realizada en el corte de talud se obtuvo como resultado un ángulo de fricción de $\phi = 30.02^\circ$ y una cohesión de **C = 8.829 kN/m²**.
- Se realizó un ensayo Proctor Estándar con el fin de obtener peso específico seco de **17.56 kN/m³** y saturado de **18.73 kN/m³**.
- Se realizó el análisis del Factor de Seguridad mínimo de la sección A-A, talud superior, en condiciones estático y seudoestático, en escenario seco y saturado, con diferentes métodos de cálculos.

TALUD SECCIÓN A-A				
METODO DE CÁLCULO	ESCALA TALUD SUPERIOR			
	ESTÁTICO		SEUDOESTÁTICO	
	SECO	SATURADO	SECO	SATURADO
Bishop Simplificado	1.211	1.180	1.044	1.014
Spencer	1.206	1.174	1.040	1.013
Morgenstern-Price	1.204	1.171	1.039	1.009

- Se realizó la comparación de la estabilidad de talud, parte técnica de la sección A-A, en condiciones seudoestático, saturado, aplicando 3 muros de contención (muro en voladizo, ciclópeo y gaviones).

TALUD SECCIÓN A-A		
TIPO DE MURO	F.S. DISEÑO ≥ 1.25	ESCALA TALUD SUPERIOR
		SEUDOESTÁTICO
		SATURADO
Voladizo	1.264	1.013
Ciclópeo	1.252	1.013
Gaviones	1.255	1.013

- Se realizó la comparación de la estabilidad de talud, parte económica de la sección A-A por metro lineal, aplicando 3 muros de contención (muro en voladizo, ciclópeo y gaviones).

TALUD SUPERIOR SECCIÓN A-A	
TIPO DE MURO	PRESUPUESTO POR METRO LINEAL (S/.)
Voladizo	3,363.68
Ciclópeo	2,541.73
Gaviones	1,858.82

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados de la presente investigación ángulo de fricción de $\phi = 30.02^\circ$ y una cohesión de $C = 8.829 \text{ kN/m}^2$, pueden ser usados en otras investigaciones, siempre y cuando dichas investigaciones sean estudiadas y/o analizadas en zona tropical con un tipo de suelo presente de **SC – SM** (arena arcillosa y limosa).
- Las muestras tomadas en la presente investigación no fueron suficientes, ya que dichos resultados nos generó incertidumbre en los parámetros de ensayos, llevándonos a realizar un análisis de sensibilidad y calibración de datos, “debido al número insuficiente de ensayos” (Hidalgo & Pacheco, 2011).
- Si se hubiera realizado varios ensayos, así mismo realizado ensayos de corte directo in situ a gran escala, no hubiera sido necesario realizar un análisis de sensibilidad, sino un análisis probabilístico.
- Los instrumentos utilizados en los ensayos de laboratorio fueron válidos ya que se realizaron en la Universidad Nacional de Ingeniería, siendo ésta validada por los profesionales encargados y por el Ingeniero Dionicio Milla Simón, así mismo el procedimiento para obtener la estabilización de talud fue suficiente ya que se aplicó el software Slide, dándonos resultados de manera completa y rápida.
- Al comparar las hipótesis planteadas en la presente investigación con los resultados obtenidos se puede apreciar que se aceptan, en el caso de las propiedades físicas del suelo, depende de los parámetros que nos brinde el tipo de suelo para realizar el análisis y estabilidad de talud, así mismo al diseñar un muro de contención para su estabilización es importante elegir el mejor muro ya sea técnicamente y económicamente.

CONCLUSIONES

1. Analizando los resultados de las muestras realizadas en el laboratorio de suelos, se concluye que el ángulo de fricción es de **34.13°**, la cohesión de **14.12 kN/m²**, el peso específico seco de **17.56 kN/m³** y peso específico saturado de **18.73 kN/m³**.
2. La muestra analizada en el sector la esperanza presenta una textura conformada por material gravoso, arenoso y arcilloso.
3. Analizados las diferentes geometrías de superficie de falla presentes en el talud del sector la esperanza , se llega a la conclusión de que la condición más desfavorable y crítica es la Seudoestática – Saturada, ya que presentan los Factores de Seguridad más bajos, así mismo, el F.S. depende del relieve del terreno y de los parámetros del suelo.
4. Del análisis realizado en la estabilidad de talud superior, sección A-A, parte técnica, se llega a la conclusión de que técnicamente, es mejor, el muro en voladizo ya que presenta un F.S. de 1.264 siendo ésta mayor que el Factor de Seguridad de diseño en solicitaciones sísmicas de 1.25 que propone la Norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, así mismo habiéndose realizado una comparación económica entre los tres muros de contención (voladizo, ciclópeo y gaviones), se llega a la conclusión de que el muro más económico es el de gaviones con un presupuesto de 1,858.82 Nuevos Soles por metro lineal.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los estudiantes que quieran realizar investigaciones en taludes, que al momento de realizar los ensayos de laboratorio sean de acuerdo al tipo de suelo, ya que si existe la presencia de bolonerías de gran tamaño, es necesario realizar un ensayo de corte directo a gran escala (métrica) como el ensayo de corte directo in-situ, ya que dicho ensayo les dará resultados más confiables y disminuirá la discrepancia en los parámetros de ensayos.
2. Se recomienda que al momento de obtener los resultados de los ensayos de laboratorio como el ángulo de fricción y cohesión, tener en cuenta el criterio para usarlos en los análisis de estabilidad de talud, analizando y/o comparando los resultados con la textura y estructura del perfil de terreno.
3. Se recomienda a los estudiantes y/o profesionales de Ing. Civil, que si desean usar el software Slide para realizar sus análisis de estabilidad de talud, tener conocimiento básico de mecánica de suelos, el cómo obtener el ángulo de fricción, cohesión y peso específico, así mismo que los resultados del factor de seguridad dados por el Slide, sean a los que se presenta en la realidad; de esta manera estaremos dominando al software y no que el software nos domine.
4. Se recomienda que para la estabilidad del talud en general, usar muros tipo gaviones en la parte superior del talud, y muros en voladizo en la parte inferior, presente en las tres secciones, así mismo usar muros tipo gaviones en la parte inferior pero solamente entre la sección B-B y C-C, ya que la sección A-A, no requiere muro de gaviones ya que cumple con el F.S. de diseño mayor a 1.25, así mismo que al momento de definir los muros de contención a usar para su estabilidad, no basarse solamente en el factor técnico y económico, sino también en otros factores como la accesibilidad para su construcción, así mismo tener presente la cantidad de material (rocas) presente en las canteras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Balderas, México: Limusa.
2. Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos, Tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. Balderas, México: Limusa.
3. González, L., Ortuño, L., Ferrer, M., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson.
4. Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de Carreteras, Volumen: II*. Alicante: Contratista de Obras S.A.
5. Hang, S. (25 de Agosto de 2014). *Blog UCC*. Obtenido de http://blog.ucc.edu.ar/edafologia/files/2014/08/Teorico-2_Propiedades-fisicas_ucc_14.pdf
6. Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la Republica.
7. Carrasco, J., & Ortiz, M. (2008). *Propiedades Físicas del Suelo*. Chillán, Chile: Hirzel.
8. Berry, P., & Reid, D. (1995). *Mecánica de Suelos*. Universidad de Salford: Departamento de Ing. Civil.
9. Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima Edición*. Santa Fe, México: Cengage Learnig Editores.
10. Hernández, J. (2008). *Características Físicas y Propiedades Mecánicas de los Suelos y sus Métodos de Medición*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
11. Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California: International Thomson Editores, S.A.
12. Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Publicaciones UIS.
13. Contramestre, H., & González, O. (2007). *Análisis Comparativo de Sistemas de Estabilización de Taludes Bajo en Concepto de Suelos Reforzados, Comparando los Sistemas Tierra Armada y Terramesh System Para un Talud Ubicado en Granjerías de la Trinidad, Caracas, Edo. Miranda*. Tesis de pregrado: Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
14. Jiménez, J. (2005). *Análisis de la Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera Mediante un SIG en la Cuenca Vertiente al Envase de Rules, Granada*. Tesis Doctoral: Universidad de Granada.

15. Alcántara, I. (1999). *¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
16. Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la empresa Estudios y Poryectos Técnicos Industriales S.A. (EPTISA). (1986). *Manual de Taludes*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
17. Corrales, C. (2 de Abril de 2013). *Estabilidad de Taludes*. Obtenido de <http://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/>
18. Hidalgo, C., & Pacheco, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en geotécnica: La teoría. *Ingenierías Universidad de Medellín.*, 71-72.
19. Murcia, U. d. (17 de Setiembre de 2008). *OpenCourseWare de la Universidad de Murcia*. Obtenido de <http://ocw.um.es/ciencias/modelizacion-de-sistemas-ambientales/material-de-clase-1/msa-cap-06.pdf>
20. Sanhueza, C., & Rodríguez, L. (7 de Enero de 2013). *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000100003
21. Krishna, A. (2006). *Slope Stability Evaluations by Limit Equilibrium and Finite Methods*. Tesis Doctoral: Universidad de Noruega de Ciencias y Tecnología, Noruega.
22. Suárez , J. (5 de Mayo de 2005). *Erosión.com.co*. Obtenido de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
23. Castillo, J., & Alva, J. (1993). *Peligro Sísmico en el Perú*. Lima: UNI.
24. Reglamento Nacional de Edificaciones. (2016). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima: El Peruano.
25. Rocscience Inc. (04 de Mayo de 2017). *Rocscience*. Obtenido de <https://www.rocscience.com/>
26. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos*. Lima: El Peruano.
27. Reglamento Nacional de Edificaciones. (2012). *Norma Técnica CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes*. Lima: El Peruano.

ANEXOS