

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD DE TALUDES GEO/SLOPE
APLICANDO AL TRAMO PADCAYA - RÍO NEGRO”**

Por:

EDWIN NOEL ANDIA MANUEL

Proyecto de grado presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil

SEMESTRE II – 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIAS:

A mi MAMÁ, por ser esa persona admirable, luchadora, ejemplo de vida y superación, por su apoyo y amor, por su tiempo y paciencia, por ser mi estabilidad y fortaleza. Por ser todo, gracias Mamá.

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Situación problemática.....	4
1.3.1. Problema	5
1.3.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	5
1.4. Delimitación.....	5
1.4.1. Temporal	5
1.4.2. Espacial	5
1.5. Justificación.....	6
1.6. Objetivos	7
1.6.1. Objetivo general.....	7
1.6.2. Objetivos específicos	7
1.7. Unidad de estudio y decisión muestral.....	7
1.7.1. Unidad de estudio.....	7
1.7.2. Población.....	7
1.7.3. Muestra.....	8
1.7.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	9
1.8. Métodos y técnicas empleadas.....	9
1.8.1. Métodos.....	9
1.8.1.1. Listado de actividades a realizar	9
1.8.2. Técnicas.....	9
1.8.2.1 Esquema de actividades en función a la perspectiva	10
1.9. Procesamiento de la información.....	11
1.10. Alcance del estudio	11

CAPÍTULO II
INDICADORES GENERALES
DE LOS TALUDES (ESFUERZO-DEFORMACIÓN)
Y SU ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

	Página
2.1. Indicadores, antecedentes y potenciales de áreas propensas a movimiento en masa en laderas	12
2.1.1. Indicadores antecedentes.....	12
2.1.2. Indicadores potenciales	12
2.2. Talud	13
2.3. Partes de un talud	13
2.3.1. Pie, pata o base.....	13
2.3.2. Cabeza, cresta, cima o escarpe.....	14
2.3.3. Altura.....	14
2.3.4. Altura de nivel freático.....	14
2.3.5. Pendiente.....	14
2.4. Tipos de falla más comunes	15
2.4.1. Falla por deslizamiento superficial.....	15
2.4.2. Deslizamiento en laderas naturales sobre superficies de falla preexistentes	16
2.4.3. Falla por movimiento del cuerpo de talud.....	16
2.4.4. Falla por flujos	16
2.4.5. Fallas por erosión	17
2.4.6. Falla por licuación.....	17
2.5. Factores que producen fallas de estabilidad.....	18
2.6. Medidas de protección superficial	19
2.6.1. Instalación de mallas metálicas.....	19
2.6.2. Gunitado de taludes (Hormigón proyectado a presión)	21
2.6.2.1. Tipos de hormigón proyectado.....	22
2.6.3. Construcción de muros de revestimiento a pie del talud.....	22
2.6.4. Implantaciones de materiales geotextiles.....	22
2.6.4.1. Geotextiles para muros de contención y taludes.....	23

2.6.4.1.1. Los geotextiles	23
2.6.4.1.2. Las geomallas.....	24
2.6.4.1.3. Las fibras de refuerzo.....	24
2.6.5. Impermeabilización.....	25
2.6.5.1. Estabilizaciones y protecciones superficiales de taludes	25
2.6.5.1.1. Protección de erosión	25
2.6.6. Siembra de especies que contribuyen a reforzar el terreno superficial en taludes excavados en suelos	26
2.6.6.1. Fajinas vivas.....	26
2.6.6.2. Fajinas mixtas.....	27
2.6.6.3. Paquetes de matorral	28
2.7. Esfuerzo.....	30
2.7.1. Tracción.....	30
2.7.2. Compresión.....	30
2.7.3. Corte	30
2.8. Deformación.....	31
2.8.1. Tipos de deformación	31
2.9. Diagrama esfuerzo-deformación.....	32
2.10. Teoría del estado crítico o esfuerzo residual.....	34
2.11. Suelos residuales	34
2.12. Ensayo corte directo.....	34
2.13. Gráficas que se esperan en cierto tipo de suelos.....	38
2.14. Estabilidad de taludes.....	40
2.15. Métodos de análisis	41
2.15.1 Método de Fallenius.....	41
2.15.2 Método de Bishop	43
2.15.3. Método de las dovelas o rebanadas.....	44
2.15.4. Método de Morgenstern y Price.....	45
2.15.5. Método de Janbu simplificado	45

2.16. Factor de seguridad	51
2.16.1. Factores de seguridad por corte mínimo	52
2.17. Clasificación de los suelos	55
2.17.1. Gruesos.....	55
2.17.2. Finos.....	55
2.18. Cohesión.....	56
2.19. Ángulo de fricción.....	56
2. 20. Programa de cómputo GeoStudio 2018	59
2.20.1. Análisis de estabilidad de pendiente	60
2.20.2. Formulación integral.....	61
2.20.3. Aplicaciones típicas	61
2.20.4. Una elección de muchos métodos de análisis	61
2.20.5. Introducción	62
2.20.6. Método del equilibrio límite (MEL).....	63
2.20.7. Características del programa.....	63
2.20.8. Métodos de análisis.....	63
2.20.9. Geometría y estratigrafía:.....	63
2.20.10. Superficies de deslizamiento:.....	64
2.20.11. Presión hidrostática.....	64
2.20.12. Propiedades de los suelos.....	65
2.20.13. Tipos de cargas.....	65

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

	Página
3.1. Ubicación	66
3.2. Características generales del área del proyecto.....	67
3.3. Identificación de taludes críticos.....	67
3.3.1. Descripción de los tramos en estudio.....	68

3.4. Levantamiento topográfico	70
3.5. Recolección de muestras	72
3.6. Ensayo de caracterización de los agregados	74
3.7. Granulometría	74
3.7.1. Ensayo de laboratorio análisis granulométrico	75
3.8. Límites de Atterberg	76
3.8.1. Límite líquido.....	76
3.8.2. Límite plástico.....	78
3.8.3. Ensayo de laboratorio análisis de límite líquido	79
3.8.4. Ensayo de laboratorio análisis de límite plástico	80
3.9. Contenido de humedad.....	80
3.9.1. Ensayo de laboratorio análisis de contenido de humedad.....	81
3.10. Peso específico.....	82
3.10.1. Ensayo de laboratorio análisis de peso específico	83
3.11. Corte directo.....	85
3.11.1. Ensayo de laboratorio análisis de esfuerzo cortante	87
3.12. Tabla de resultado de laboratorio.....	90

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

	Página
4.1. Ejemplos de cálculo del factor de seguridad de forma manual.....	91
4.1.1. Método de Bishop	91
4.1.2. Método de Janbu	93
4.1.3. Método de Fallenius.....	96
4.2. Aplicación del programa Geo/Slope en el talud N°1 (ejemplo)	98
4.3. Análisis de estabilidad de taludes por diferentes métodos aplicando el programa Geo/Slope (Talud N°1).....	112
4.4. Análisis de estabilidad de taludes por diferentes métodos aplicando el programa Geo/Slope (Talud N°2).....	118

4.5. Análisis de estabilidad de taludes por diferentes métodos aplicando el programa Geo/Slope (Talud N°3).....	125
4.6. Análisis de estabilidad de taludes por diferentes métodos aplicando el programa Geo/Slope (Talud N°4).....	132
4.7. Análisis de estabilidad de taludes por diferentes métodos aplicando el programa Geo/Slope (Talud N°5).....	139
4.8. Análisis y resultados	146
4.8.1. Talud N°1	147
4.8.2. Talud N°2.....	149
4.8.3. Talud N°3.....	150
4.8.4. Talud N°4.....	151
4.8.5. Talud N°5.....	153
4.9. Análisis de cada método de estabilidad para los diferentes tipos de suelos en el tramo.....	154
4.9.1. Análisis del método de Fallenius para el talud N°1 y N°2.....	154
4.9.2. Análisis del método de Bishop para el talud N°2 y N°3.....	159
4.9.3. Análisis del método de Morgenstern-Price para el talud N°4 y N°5	163

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	168
5.2. Recomendaciones.....	169

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Anexo 2. FOTOGRAFÍAS

Anexo 3. PLANOS

Anexo 4. MANUAL DEL PROGRAMA GEO/SLOPE

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Nivel de confianza	8
Tabla 1.2. Resumen a realizar	9
Tabla 2.1. Cargas consideradas en el ensayo corte directo	35
Tabla 2.2. Factor de corrección F_0 en el método de Janbu.....	46
Tabla 2.3. Tablas de estabilidad para suelos cohesivos ($\phi = 0$) de acuerdo a Janbu	47
Tabla 2.4. Tablas de estabilidad para suelos cohesivos ($\phi = 0$) de acuerdo a Janbu	48
Tabla 2.5. De estabilidad para suelos no cohesivos $\phi > 0$ de acuerdo a Janbu (1968) ...	48
Tabla 2.6. Métodos de análisis universales.....	49
Tabla 2.7. Factores de seguridad por corte mínimos	53
Tabla 2.8. Valoración de la estabilidad.....	54
Tabla 2.9. Escalas recomendadas para la zonificación de amenazas por deslizamientos	55
Tabla 2.10. Valores de cohesión por tipo de suelo	57
Tabla 2.11. Valores de cohesión y ángulo de fricción interna en suelos	57
Tabla 2.12. Valores típicos de ángulo de fricción y cohesión de suelos y rocas	58
Tabla 2.13. Valores del ángulo de fricción	58
Tabla 2.14. Valores representativos para el ángulo de fricción interna ϕ	59
Tabla 3.1. Identificación de rasgos característicos que indican la posibilidad de un derrumbe	67
Tabla 3.2. Valoración de la estabilidad.....	68
Tabla 3.3. Referencia levantamiento topográfico	72
Tabla 3.4. Tabla de muestras y resultados en laboratorio.....	75
Tabla 3.5. Muestras y resultados límite líquido	79
Tabla 3.6. Muestras y resultados límite plástico	80
Tabla 3.7. Muestras y resultados contenido de humedad.....	81
Tabla 3.8. Tipos de temperatura y muestra en el frasco 1.....	83
Tabla 3.9. Tipos de temperatura y muestra en el frasco 2.....	84
Tabla 3.10. Muestras y resultados peso específico	85
Tabla 3.11. Muestras y resultados análisis esfuerzo cortante	87
Tabla 3.12. Esfuerzos normales y cortantes corte directo.....	88
Tabla 3.13. Resultado cohesión y ángulo de fricción corte directo	88

Tabla 3.14. Tabla de resultados de laboratorio para la aplicación al programa Geo/Slope.....	90
Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del talud N°1	91
Tabla 4.2. Tabla procedimiento de cálculo manual para el FS. del talud N°1.....	92
Tabla 4.3. Factor de seguridad talud N°1.....	93
Tabla 4.4. Ábaco método Janbu.....	93
Tabla 4.5. Propiedades mecánicas del talud N°3	94
Tabla 4.6. Tabla procedimiento de cálculo manual para el FS. del talud N°3.....	94
Tabla 4.7. Factor de seguridad talud N°3.....	95
Tabla 4.8. Propiedades mecánicas del talud N°4	96
Tabla 4.9. Tabla procedimiento de cálculo manual para el FS. del talud N°4.....	97
Tabla 4.10. Tabla general de resultados del cálculo manual talud N°4	97
Tabla 4.11. Puntos exportados de civil 3D para graficar en Geo/Slope (Talud N°1)...	103
Tabla 4.12. Características mecánicas del suelo (Talud N°1).....	104
Tabla 4.13. Puntos exportados de civil 3D para graficar en Geo/Slope (Talud N°2)...	118
Tabla 4.14. Características mecánicas del suelo (Talud N°2).....	118
Tabla 4.15. Puntos exportados de civil 3D para graficar en Geo/Slope (Talud N°3)...	125
Tabla 4.16. Características mecánicas del suelo (Talud N°3).....	125
Tabla 4.17. Puntos exportados de civil 3D para graficar en Geo/Slope (Talud N°4)...	132
Tabla 4.18. Características mecánicas del suelo (Talud N°4).....	132
Tabla 4.19. Puntos exportados de civil 3D para graficar en Geo/Slope (Talud N°5)...	139
Tabla 4.20. Características mecánicas del suelo (Talud N°5).....	139
Tabla 4.21. Tabla de métodos y resultados del factor de seguridad con el programa Geo/Slope.....	146
Tabla 4.22. Comparación de resultados obtenidos de forma manual y con el programa Geo/Slope.....	147
Tabla 4.23. Valores de caracterización del talud N°1 y talud N°2	155
Tabla 4.24. Valores de caracterización del talud N°2 y talud N°3	159
Tabla 4.25. Valores de caracterización del talud N°4 y talud N°5	163

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Deslizamiento de talud en la localidad de Guayabillas	2
Figura 1.2. Reporte de condición de la ruta Tarija-Villa Montes	3
Figura 1.3. Deslizamiento sector Angosto ruta Tarija-Villa Montes	4
Figura 1.4. Deslizamiento presentado en la carretera Padcaya-Río negro.....	5
Figura 2.1. Partes generales de un talud o ladera.....	13
Figura 2.2. Partes generales de un talud o ladera.....	14
Figura 2.3. Falla por deslizamiento superficial.....	15
Figura 2.4. Falla por movimiento del cuerpo del talud.....	16
Figura 2.5. Talud sometido a lluvia	17
Figura 2.6. Variación de la geometría de un talud por erosión.....	17
Figura 2.7. Falla por flujos de materiales húmedos	18
Figura 2.8. Estabilización usando anclajes en la malla.....	20
Figura 2.9. Colocación de malla	20
Figura 2.10. Técnica de hormigón proyectado.....	21
Figura 2.11. Detalle de protección del pie de un revestimiento de bloques de concreto.....	22
Figura 2.12. Geotextil taludes	23
Figura 2.13. Protección de los taludes (Impermeabilización).....	25
Figura 2.14. Fajinas Vivas	27
Figura 2.15. Vista lateral de fajina mixta revegetada.....	28
Figura 2.16. Paquete de matorral	29
Figura 2.17. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	32
Figura 2.18. Relación esfuerzo – deformación	33
Figura 2.19. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	34
Figura 2.20. Esfuerzo cortante " τ " vs Deformación " δ " de 1 y 2 Kg.....	36
Figura 2.21. Esfuerzo cortante " τ " vs Deformación " δ " de 4 Kg.....	37
Figura 2.22. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	37
Figura 2.23. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	38
Figura 2.24. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	39
Figura 2.25. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	39
Figura 2.26. Esfuerzo cortante " τ " vs Esfuerzo normal " σ "	40

Figura 2.27. Equilibrio límite con el método de Fallenius.....	42
Figura 2.28. Esquema de fuerzas actuantes en las dovelas método Bishop.....	43
Figura 2.29. Portada GeoStudio.....	59
Figura 2.30. Características Geo/Slope.....	60
Figura 3.1. Mapa político de Tarija.....	66
Figura 3.2. Imagen satelital Google Earth	66
Figura 3.3. Ubicación de los taludes en estudio.....	69
Figura 3.4. Levantamiento topográfico estación total Sokkia Set 5x	70
Figura 3.5. Levantamiento topográfico talud N°4	71
Figura 3.6. Levantamiento topográfico talud N°1	71
Figura 3.7. Extracción de muestra talud N°1 (cabeza).....	73
Figura 3.8. Extracción de muestra talud N°5 (cabeza).....	73
Figura 3.9. Ensayo granulométrico del talud N°(4-1).....	75
Figura 3.10. Curva granulométrica	76
Figura 3.11. Ensayo limite líquido del talud N°(1-2)	77
Figura 3.12. Ensayo limite plástico del talud N°(3-1)	78
Figura 3.13. Línea de tendencia límite líquido	79
Figura 3.14. Ensayo contenido de humedad del talud N°(5-3).....	81
Figura 3.15. Ensayo contenido de humedad del talud N°(3-3).....	83
Figura 3.16. Curva de calibración del frasco 1 peso específico.....	84
Figura 3.17. Curva de calibración del frasco 2 peso específico.....	84
Figura 3.18. Realizando el molde de muestra para el ensayo de corte directo	86
Figura 3.19. Sincronizando el equipo de corte directo.....	86
Figura 3.20. Envoltentes de falla corte directo.....	88
Figura 3.21. Curva carga y deformación corte directo.....	89
Figura 3.22. Curva de carga y deformación corte directo.....	89
Figura 4.1. Perfil de la sección transversal talud N°1	92
Figura 4.2. Perfil de la sección transversal talud N°3	94
Figura 4.3. Perfil de la sección transversal talud N°4.....	96
Figura 4.4. Interfaz del programa Geo/Slope.....	98
Figura 4.5. Sistema de unidades y plantilla.....	99
Figura 4.6. Creación del proyecto y autor.....	100
Figura 4.7. Análisis Slope/W (Equilibrio límite).....	100

Figura 4.8. Tipos de análisis	101
Figura 4.9. Selección del tipo de análisis de deslizamiento.....	102
Figura 4.10. Dibujo de ejes cartesianos	102
Figura 4.11. Dibujo de contornos.....	104
Figura 4.12. Adición de las características mecánicas en cada extracto.....	105
Figura 4.13. Selección de superficie de falla	105
Figura 4.14. Faja de entrada y salida.....	106
Figura 4.15. Inicio de análisis de cálculo.....	107
Figura 4.16. Factor de seguridad.....	108
Figura 4.17. Factor de seguridad vs lambda	109
Figura 4.18. Esfuerzos cortantes	109
Figura 4.19. Esfuerzos normales.....	110
Figura 4.20. Esfuerzos mixtos.....	110
Figura 4.21. Diagrama de cuerpo libre (rebanada)	111
Figura 4.22. Estabilidad de talud N°1 método Morgenstern-Price	112
Figura 4.23. Estabilidad de talud N°1 método Spencer	113
Figura 4.24. Estabilidad de talud N°1 Janbu.....	114
Figura 4.25. Estabilidad de talud N°1 método Janbu generalizado	115
Figura 4.26. Estabilidad de talud N°1 método Fallenius	116
Figura 4.27. Estabilidad de talud N°1 método Bishop sup. de falla (grilla y radio).....	117
Figura 4.28. Estabilidad de talud N°2 método Bishop.....	119
Figura 4.29. Estabilidad de talud N°2 método Morgenstern-Price	120
Figura 4.30. Estabilidad de talud N°2 método Janbu.....	121
Figura 4.31. Estabilidad de talud N°2 método Spencer	122
Figura 4.32. Estabilidad de talud N°2 método Janbu generalizado	123
Figura 4.33. Estabilidad de talud N°2 método Fallenius	124
Figura 4.34. Estabilidad de talud N°3 método Bishop.....	126
Figura 4.35. Estabilidad de talud N°3 método Janbu.....	127
Figura 4.36. Estabilidad de talud N°3 método Spencer	128
Figura 4.37. Estabilidad de talud N°3 método Morgenstern-Price	129
Figura 4.38. Estabilidad de talud N°3 método Janbu generalizado	130
Figura 4.39. Estabilidad de talud N°3 método Fallenius	131
Figura 4.40. Estabilidad de talud N°4 método Bishop.....	133

Figura 4.41. Estabilidad de talud N°4 método Morgenstern-Price	134
Figura 4.42. Estabilidad de talud N°4 método Spencer	135
Figura 4.43. Estabilidad de talud N°4 método Janbu.....	136
Figura 4.44. Estabilidad de talud N°4 método Janbu generalizado	137
Figura 4.45. Estabilidad de talud N°4 método Fallenius	138
Figura 4.46. Estabilidad de talud N°5 método Bishop.....	140
Figura 4.47. Estabilidad de talud N°5 método Janbu.....	141
Figura 4.48. Estabilidad de talud N°5 método Spencer	142
Figura 4.49. Estabilidad de talud N°5 método Morgenstern-Price	143
Figura 4.50. Estabilidad de talud N°5 método Janbu generalizado	144
Figura 4.51. Estabilidad de talud N°5 método Fallenius	145
Figura 4.52. Estabilidad de talud N°1 (cabeza) método Fallenius.....	157
Figura 4.53. Diagrama de cuerpo libre de la dovela	157
Figura 4.54. Estabilidad de talud N°2 (cuerpo) método Fallenius.....	158
Figura 4.55. Diagrama de cuerpo libre de la dovela	158
Figura 4.56. Estabilidad de talud N°2 (cabeza) método Bishop.....	161
Figura 4.57. Diagrama de cuerpo libre de la dovela	161
Figura 4.58. Estabilidad de talud N°3 (pie) método Bishop.....	162
Figura 4.59. Diagrama de cuerpo libre de la dovela	162
Figura 4.60. Estabilidad de talud N°4 (pie) método Morgenstern-Price	165
Figura 4.61. Diagrama de cuerpo libre de la dovela	165
Figura 4.62. Estabilidad de talud N°5 (pie) método Morgenstern-Price	166
Figura 4.63. Diagrama de cuerpo libre de la dovela	166