

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“Análisis de la incidencia del agua en la estabilidad de taludes
en la ciudad de Tarija”**

Por:

JEFFERSON BORJA PAITA

Proyecto presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2025

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“Análisis de la incidencia del agua en la estabilidad de taludes
en la ciudad de Tarija”**

Por:

JEFFERSON BORJA PAITA

Proyecto elaborado en la asignatura CIV-502

SEMESTRE II - 2025

TARIJA-BOLIVIA

Dedicado:

A mis padres Oscar y Elizabeth, por su infinito cariño, apoyo y ejemplo.

A mis hermanos Dennis, Horacio, y Oscar que en forma gentil y desinteresada me brindaron su total apoyo.

En especial a mi querida tía Margarita Cadena Paita, por sus sinceros deseos de superación, invaluable consejos, pero sobre todo por su infinito amor y apoyo en todo el trayecto de mi vida.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Situación problemática	2
1.4 Problema	3
1.5 Objetivos del proyecto	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos	3
1.6 Tipo de investigación y definición de variables.....	3
1.6.1 Variable independiente	4
1.6.2 Variable dependiente	5
1.7 Unidades de estudio y decisión muestral	5
1.7.1 Unidad de Estudio.....	5
1.7.2 Población.....	5
1.7.3 Muestra	6
1.7.4 Muestreo	6
1.8 Métodos y técnicas empleadas.....	6
1.8.1 Método	6
1.8.2 Técnica.....	7
1.9 Alcance del estudio	7

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL AGUA EN LOS TALUDES

	Página
2.1 Generalidades.....	8
2.1.1 Tipos de taludes	9
2.1.2 Estabilidad de taludes	10
2.1.3 Superficies preferenciales de falla	11
2.1.3.1 Discontinuidades heredadas.....	12
2.1.3.2 Zonas de cambio de permeabilidad.....	12
2.1.3.3 Espejos de falla.....	12
2.2 Equilibrio límite y factor de seguridad	13
2.2.1 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	13
2.2.2 Factor de seguridad.....	15
2.2.3 Métodos de análisis.....	16
2.2.4 Listado de tablas para el cálculo de estabilidad de taludes disponibles en la literatura.....	16
2.2.4.1 Métodos exactos.....	16
2.2.4.2 Métodos no exactos.....	16
2.2.5 Método Ordinario de Fellenius y Janbu.....	19
2.2.5.1 Método de Bishop.....	20
2.2.5.2 Método de Janbú.....	20
2.3 Análisis de lluvias y aguas subterráneas en los taludes	21
2.3.1 Humedad superficial.....	23
2.3.2 Infiltración.....	23

2.3.2.1	Infiltración de cuerpos de agua.....	25
2.3.3	Flujo no saturado.....	26
2.3.4	Presiones de poro negativas.....	27
2.3.5	Nivel freático.....	29
2.3.6	Presión de poros.....	32
2.3.7	Flujo saturado.....	34
2.3.8	Coeficiente de permeabilidad	35
2.3.9	Efectos del agua subterránea.....	36
2.3.9.1	Presiones de poro.....	36
2.3.9.2	Disminución o eliminación de presiones de poro negativas por saturación.....	37
2.3.9.3	Lavado de cementantes.....	37
2.3.9.4	Erosión interna.....	37
2.3.9.5	Erosión por exfiltración.....	37
2.3.9.6	Subpresiones.....	38
2.3.9.7	Aumento de densidad.....	38
2.3.9.8	Fuerzas dinámicas.....	38
2.3.9.9	Grietas por desecación.....	38
2.3.10	Agua superficial o escorrentía.....	38
2.3.11	Erosión.....	39
2.3.12	Efectos hidrológicos de la vegetación.....	39
2.3.12.1	Intercepción de la lluvia.....	40
2.3.12.2	Retención de agua.....	40
2.3.12.3	Acumulación de agua.....	40

2.3.12.4	Gotero o flujo por el follaje.....	41
2.3.12.5	Evapotranspiración.....	41
2.4	Control de aguas superficiales y subterráneas	43
2.4.1	Drenaje superficial	44
2.4.2	Drenaje subterráneo	45
2.4.2.1	Subdrenes 100% sintéticos.....	47
2.4.3	Drenes horizontales o de penetración	48
2.4.3.1	Drenes Californianos.....	50
2.4.3.1.1	Ubicación, perforación y tubería.....	51
2.4.4	Colchones de drenaje	53
2.4.5	Trincheras estabilizadoras.....	54
2.4.6	Pantallas de drenaje.....	55
2.4.7	Galerías de drenaje.....	56
2.4.8	Pozos verticales de drenaje	57
2.4.9	Subdrenaje de estructuras de contención	60
2.4.10	Drenaje por electromosis.....	63
2.5	Estructuras de contención o anclaje.....	63
2.5.1	Tipos de estructura.....	65
2.5.1.1	Muros masivos rígidos.....	65
2.5.1.1	Muros masivos flexibles.....	66
2.5.1.1	Tierra reforzada.....	67
2.5.1.1	Estructuras ancladas.....	68
2.5.1.1	Estructuras enterradas.....	69
2.5.2	Selección del tipo de estructura de contención	71

2.6	Programa Slide 6.0.....	71
2.6.1	Análisis de estabilidad de taludes en 2D.....	71
2.6.2	Análisis de aguas subterráneas.....	72
2.6.3	Análisis probabilístico	72
2.6.4	Análisis de sensibilidad.....	72
2.6.5	Análisis retrospectivos	72
2.6.6	Diversos métodos de búsqueda de superficies de falla	72

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LOS TALUDES EN ESTUDIO

	Página
3.1	Datos generales y ubicación..... 73
3.1.1	Justificación de elección de taludes 74
3.2	Trabajo de laboratorio..... 78
3.2.1	Granulometría 78
3.2.2	Limite líquido (LL) 79
3.2.3	Límite plástico (LP) 81
3.2.4	Peso unitario..... 82
3.2.5	Ensayo de corte directo 83
3.2.5.1	Ventajas del ensayo de corte directo..... 84
3.3	Trabajo de gabinete..... 86
3.4	Análisis de lluvias y escurrimiento 88
3.4.1	Cálculo de Infiltración 96
3.5	Valores para el diseño de los taludes 103

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN DEL PROGRAMA SLIDE Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

	Página
4.1	Análisis del Taludes mediante el programa Slide 6.0..... 106
4.2	Cálculo y análisis de alternativas de los taludes 106
4.2.1	Cálculo y análisis de alternativas del talud 1 (Barrio Miraflores) 107
4.2.1.1	Análisis de alternativas del talud 1.....109
4.2.1.2	Costo económico para la estabilidad del talud 1.....113
4.2.2	Cálculo y análisis de alternativas del talud 2 (Barrio San Blas) 114
4.2.2.1	Análisis de alternativas del talud 2.....116
4.2.2.2	Costo económico para la estabilidad del talud 2.....120
4.2.3	Cálculo y análisis de alternativas del talud 3 (Barrio San Martin) 121
4.2.3.1	Análisis de alternativas del talud 3.....123
4.2.3.2	Costo económico para la estabilidad del talud 3.....127
4.2.4	Cálculo y análisis de alternativas del talud 4 (Barrio Obrajes)..... 128
4.2.4.1	Análisis de alternativas del talud 4.....130
4.2.4.2	Costo económico para la estabilidad del talud 4.....134
4.2.5	Cálculo y análisis de alternativas del talud 5 (Barrio Carlos Wagner) 135
4.2.5.1	Análisis de alternativas del talud 5.....137
4.2.5.2	Costo económico para la estabilidad del talud 5.....141
4.3	Análisis de resultados 142

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	144
5.2 Recomendaciones	145

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 2: CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ANEXO 3: GEOMETRÍA DE LOS TALUDES

ANEXO 4: DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LAS SOLUCIONES

ANEXO 5: CAMBIO DEL NIVEL FREÁTICO EN LOS TALUDES

ANEXO 6: PRECIOS UNITARIOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N°1 Conceptualización de la variable independiente.....	4
Tabla N°2 Conceptualización de la variable dependiente	5
Tabla N°3 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	13
Tabla N°4 Listado de tablas para el cálculo de estabilidad de taludes.....	17
Tabla N°5 Tamaño de poros y permeabilidad (Lee, 1996).....	35
Tabla N°6 Valores de Et/Eo para diversas coberturas vegetales.....	42
Tabla N°7 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido.....	66
Tabla N°8 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible.....	67
Tabla N°9 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de tierra reforzada.....	68
Tabla N°10 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura anclada.....	69
Tabla N°11 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura enterrada.....	70
Tabla N°12 Identificación de los taludes.....	75
Tabla N°13 Granulometría.....	79
Tabla N°14 Límite líquido.....	80
Tabla N°15 Límite plástico.....	81
Tabla N°16 Peso unitario.....	83
Tabla N°17 Cohesión y ángulo de fricción.....	85
Tabla N°18 Recopilación de datos.....	87
Tabla N°19 Datos de la estación El Tejar.....	88
Tabla N°20 Datos Obtenidos de la estación.....	88
Tabla N°21 Lluvias máximas diarias.....	90
Tabla N°22 Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno.....	91
Tabla N°23 Intensidad de la precipitación para diferentes periodo de retorno.....	94
Tabla N°24 Parámetros de infiltración de Green- Ampt para varias clases de suelos...96	
Tabla N°25 Infiltración acumulada del suelo arena limo arcillosa.....	97
Tabla N°26 Tasa de infiltración del suelo arena limo arcillosa.....	98
Tabla N°27 Infiltración acumulada del suelo arcilla ligera con arena.....	99
Tabla N°28 Tasa de infiltración del suelo arcilla ligera con arena.....	100
Tabla N°29 Infiltración acumulada del suelo arcilla ligera.....	101

Tabla N°30 Tasa de infiltración del suelo arcilla ligera.....	102
Tabla N°31 Valores de los diferentes tipos de taludes para el diseño.....	103
Tabla N°32 Factores de seguridad del talud 1.....	112
Tabla N°33 Costo económico del talud 1.....	113
Tabla N°34 Factores de seguridad del talud 2.....	119
Tabla N°35 Costo económico del talud 2.....	120
Tabla N°36 Factores de seguridad del talud 3.....	126
Tabla N°37 Costo económico del talud 3.....	127
Tabla N°38 Factores de seguridad del talud 4.....	133
Tabla N°39 Costo económico del talud 4.....	134
Tabla N°40 Factores de seguridad del talud 5.....	140
Tabla N°41 Costo económico del talud 5.....	141
Tabla N°42 Factores de seguridad de las alternativas propuestas.....	142
Tabla N°43 Comparación de costos de las alternativas.....	143

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N°1 Partes Generales de un talud o ladera.....	8
Figura N°2 Tipos de taludes.....	9
Figura N°3 Métodos de cálculo de taludes.....	18
Figura N°4 Fuerzas que actúan sobre una dovela y los métodos de dovelas.....	19
Figura N°5 Diagrama de un infiltrómetro (Lam,1964).....	24
Figura N°6 Diagrama del avance de un frente húmedo en materiales residuales	26
Figura N°7 Cambios en el grado de saturación y la presión de poros por acción de la lluvia (Geotechnical control Office (1984)).....	28
Figura N°8 Efecto del grado de saturación sobre la presión de poros.....	28
Figura N°9 Efecto de la presión de poros sobre la permeabilidad al flujo no saturado.....	29
Figura N°10 Saturación y niveles freáticos.....	30
Figura N°11 Equipo para detectar ascensos del nivel freático (Geotechnical Control)..	31
Figura N°12 Presión de poros sobre una superficie de falla potencial.....	32
Figura N°13 Presiones de poro sobre una superficie de falla potencial para diferentes condiciones de drenaje (Lembo Fazio y Ribacchi 1988).....	33
Figura N°14 Efecto de la abertura y espaciamiento de las juntas en el coeficiente de permeabilidad K. (Hoek y Bray 1977).....	36
Figura N°15 Esquema del efecto de vegetación sobre el modelo hidrológico.....	41
Figura N°16 Tipos de tejidos en geotextiles.....	46
Figura N°17 Secciones de subdrenes 100% sintéticos.....	47
Figura N°18 Diagrama de un subdrén 100% sintético.....	48

Figura N°19	Esquema general de colocación de un subdrén de penetración.....	49
Figura N°20	Subdrén de penetración diseñado para captar solamente en la punta interior.....	49
Figura N°21	Localización del nivel freático antes y después de la instalación de un dren horizontal.....	51
Figura N°22	Diagrama de un colchón de un drenaje colocado de un terraplén.....	54
Figura N°23	Esquema de una trinchera estabilizadora.....	54
Figura N°24	Ejemplos de subdrenes de pantalla.....	55
Figura N°25	Evolución de la línea de nivel freático al construir una galería de drenaje.....	57
Figura N°26	Construcción de ductos de conexión entre pozos verticales.....	58
Figura N°27	Combinación de pozos verticales y subdrenes horizontales.....	59
Figura N°28	Pozos verticales conectados con ductos horizontales de PVC para desagüe (Colotta, 1988).....	60
Figura N°29	Subdrenaje de muros de contención.....	61
Figura N°30	Líneas de flujo en subdrenes de muros de contención.....	62
Figura N°31	Subdrenaje de un terraplén sobre afloramiento de agua.....	63
Figura N°32	Condiciones de diseño para muros de contención.....	64
Figura N°33	Esquema de muros rígidos	65
Figura N°34	Esquema de muros flexibles.....	66
Figura N°35	Esquema de estructuras de tierra reforzada.....	68
Figura N°36	Esquema de estructuras ancladas.....	69
Figura N°37	Esquema de estructuras enterradas.....	70
Figura N°38	Ubicación geográfica	73

Figura N°39	Distritos de la ciudad de Tarija.....	74
Figura N°40	Barrios de los taludes a analizar.....	77
Figura N°41	Muestra para el ensayo de corte directo.....	85
Figura N°42	Precipitación de lluvias método gráfico.....	92
Figura N°43	Precipitación de lluvias método analítico.....	94
Figura N°44	Intensidad de la precipitación para diferentes periodos de retornos.....	95
Figura N°45	Curva de infiltración acumulada del suelo arena limo arcillosa.....	97
Figura N°46	Curva de la tasa de infiltración del suelo arena limo arcillosa.....	98
Figura N°47	Curva de infiltración acumulada del suelo arcilla ligera con arena.....	99
Figura N°48	Curva de la tasa de infiltración del suelo arcilla ligera con arena.....	100
Figura N°49	Curva de infiltración acumulada del suelo arcilla ligera.....	101
Figura N°50	Curva de la tasa de infiltración del suelo arcilla ligera.....	102
Figura N°51	Factor de seguridad para el talud 1 no saturado método Bishop Simplificado.....	107
Figura N°52	Factor de seguridad para el talud 1 no saturado método Janbú Simplificado.....	108
Figura N°53	Factor de seguridad para el talud 1 saturado método Bishop Simplificado.....	108
Figura N°54	Factor de seguridad para el talud 1 saturado método Janbú Simplificado.....	109
Figura N°55	Alternativa 1(talud 1): Cambio de ángulo de inclinación (talud saturado).....	110
Figura N°56	Alternativa 2(talud 1): Cambio de ángulo de inclinación y control de nivel freático mediante drenaje.....	111

Figura N°57 Alternativa 3(talud 1): Uso de geomalla y refuerzo metálico.....	112
Figura N°58 Factor de seguridad para el talud 2 no saturado método Bishop Simplificado.....	114
Figura N°59 Factor de seguridad para el talud 2 no saturado método Janbú Simplificado.....	115
Figura N°60 Factor de seguridad para el talud 2 saturado método Bishop Simplificado.....	115
Figura N°61 Factor de seguridad para el talud 2 saturado método Janbú Simplificado.....	116
Figura N°62 Alternativa 1(talud 2): Cambio de ángulo de inclinación (talud saturado).....	117
Figura N°63 Alternativa 2(talud 2): Cambio de ángulo de inclinación y control de nivel freático mediante drenaje.....	118
Figura N°64 Alternativa 3(talud 2): Uso de geomalla y refuerzo metálico.....	119
Figura N°65 Factor de seguridad para el talud 3 no saturado método Bishop Simplificado.....	121
Figura N°66 Factor de seguridad para el talud 3 no saturado método Janbú Simplificado.....	122
Figura N°67 Factor de seguridad para el talud 3 saturado método Bishop Simplificado.....	122
Figura N°68 Factor de seguridad para el talud 3 saturado método Janbú Simplificado.....	123
Figura N°69 Alternativa 1(talud 3): Cambio de ángulo de inclinación (talud saturado).....	124
Figura N°70 Alternativa 2(talud 3): Cambio de ángulo de inclinación y control de nivel freático mediante drenaje.....	125

Figura N°71 Alternativa 3(talud 3): Uso de geomalla y refuerzo metálico.....	126
Figura N°72 Factor de seguridad para el talud 4 no saturado método Bishop Simplificado.....	128
Figura N°73 Factor de seguridad para el talud 4 no saturado método Janbú Simplificado.....	129
Figura N°74 Factor de seguridad para el talud 4 saturado método Bishop Simplificado.....	129
Figura N°75 Factor de seguridad para el talud 4 saturado método Janbú Simplificado.....	130
Figura N°76 Alternativa 1(talud 4): Cambio de ángulo de inclinación (talud saturado).....	131
Figura N°77 Alternativa 2(talud 4): Cambio de ángulo de inclinación y control de nivel freático mediante drenaje.....	132
Figura N°78 Alternativa 3(talud 4): Uso de geomalla y refuerzo metálico.....	133
Figura N°79 Factor de seguridad para el talud 5 no saturado método Bishop Simplificado.....	135
Figura N°80 Factor de seguridad para el talud 5 no saturado método Janbú Simplificado.....	136
Figura N°81 Factor de seguridad para el talud 5 saturado Método Bishop Simplificado.....	136
Figura N°82 Factor de seguridad para el talud 5 saturado Método Janbú Simplificado.....	137
Figura N°83 Alternativa 1(talud 5): Cambio de ángulo de inclinación (talud saturado).....	138
Figura N°84 Alternativa 2(talud 5): Cambio de ángulo de inclinación y control de nivel freático mediante drenaje.....	139
Figura N°85 Alternativa 3(talud 5): Uso de geomalla y refuerzo metálico.....	140