

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



TOMO I

**“ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE TALUDES DEL
TRAMO SANTA ANA-YESERA NORTE EN FUNCIÓN AL FACTOR DE
SEGURIDAD”**

Por:

JOSÉ ALEJANDRO FLORES IRIARTE

Proyecto de Ingeniería Civil II CIV-502 presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II / GESTIÓN 2019

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



TOMO II

**“ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE TALUDES DEL
TRAMO SANTA ANA-YESERA NORTE EN FUNCIÓN AL FACTOR DE
SEGURIDAD”**

Por:

JOSÉ ALEJANDRO FLORES IRIARTE

Proyecto de Ingeniería Civil II CIV-502 presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II / GESTIÓN 2019

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres, quienes son los coautores y responsables de mis logros y éxitos, personas que con sus sabias enseñanzas me guían e iluminan mis pasos a seguir.

ÍNDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4 HIPÓTESIS.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 ALCANCE DEL ESTUDIO.....	4

CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES DE LOS TALUDES

	Pág.
2.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS TALUDES.....	5
2.1.1 Generalidades.....	5
2.1.2 Características de los taludes.....	6
2.1.2.1 Definición de taludes.....	6
2.1.2.2 Componentes de un talud.....	8
2.1.2.3 Taludes en vías de comunicación.....	10
2.1.3 Propiedades de los taludes.....	12
2.1.3.1 Cohesión.....	12
2.1.3.2 Fricción interna.....	13
2.1.3.3 Resistencia al corte	14

2.4.2.1	Deslizamiento rotacional.....	29
2.4.2.2	Deslizamiento traslacional.....	30
2.4.3	Derrumbes y caídas.....	30
2.4.4	Deslizamientos no directamente asociados a la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.....	31
2.5	PROTECCIÓN DE TALUDES.....	31
2.5.1	Definición de protección de taludes.....	31
2.5.2	Tipos de obras de protección.....	32
2.5.2.1	Hormigón lanzado.....	33
2.5.2.2	Protección con mallas de acero.....	39
2.5.2.3	Vegetación.....	47
2.5.2.4	Muros masivos rígidos.....	52
2.5.2.5	Muros masivos flexibles.....	54
2.5.2.6	Tierra reforzada.....	55
2.5.2.7	Estructuras ancladas.....	56
2.5.2.8	Estructuras enterradas.....	57
2.5.2.9	Impermeabilización de bermas.....	58
2.5.2.10	Geomantas para el control de erosión.....	59
2.6	MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	62
2.6.1	Método Janbú.....	62
2.6.1.1	Formulación del método de Janbú.....	62
2.6.2	Método Fellenius.....	63
2.6.2.1	Formulación del método de Fellenius.....	63
2.6.3	Método Morgenstern-Price.....	64
2.6.4	Slide v6.0 (software).....	64

CAPÍTULO III
APLICACIÓN PRÁCTICA

	Pág.
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	66
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	67
3.3 METODOLOGÍA.....	68
3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LOS TALUDES.....	68
3.5 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
3.5.1 Trabajo de campo.....	73
3.5.1.1 Ubicación de los tramos de estudio.....	74
3.5.1.2 Levantamiento topográfico.....	75
3.5.1.3 Recolección de muestras.....	77
3.5.2 Trabajo de laboratorio.....	80
3.5.3 Trabajo de gabinete.....	86
3.5.3.1 Resultados de laboratorio.....	86
3.5.3.2 Ejemplos de cálculo de factor de seguridad manualmente.....	89
3.5.3.3 Ejemplo de cálculo de factor de seguridad con programa Slide v6.0.....	92
3.5.3.4 Resultados factor de seguridad con programa Slide v6.0.....	98
3.5.3.5 Comparación método manual y método computacional.....	98

CAPÍTULO IV
**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA LA
PROTECCIÓN DE LOS TALUDES**

	Pág.
4.1 POSIBLES ACTUACIONES.....	99
4.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN.....	99
4.2.1 Alternativas inviables técnica o económicamente.....	100
4.2.2 Alternativas posibles.....	100
4.2.3 Análisis de alternativas de protección.....	101

4.2.3.1 Soil Nailing.....	101
4.2.3.2 Malla TT reforzada.....	105
4.2.3.3 Tecco	109
4.2.3.4 Red de cables TD-15.....	113
4.3.3.5 Red de cables continua.....	116
4.1.3.6 Impermeabilización de bermas.....	120
4.1.3.7 Mallas doble torsión GalMac® 4R.....	121
4.1.3.8 Geomantas de control de erosión.....	123
4.3 ELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	128
4.3.1 Talud N° 1 – Progresiva Km 3+200.....	129
4.3.1.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	129
4.3.1.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R...	130
4.3.2 Talud N° 2 – Progresiva Km 5+300.....	131
4.3.2.1 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R...	131
4.3.3 Talud N° 3 – Progresiva Km 5+820.....	132
4.3.3.1 Sistema de estabilización mallas MacMat® R3	133
4.3.4 Talud N° 4 – Progresiva Km 7+880.....	134
4.3.4.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	134
4.3.4.2 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1-GalMac® 4R...	135
4.3.5 Talud N° 5 – Progresiva Km 12+080.....	136
4.3.5.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	136
4.3.5.2 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1-GalMac® 4R...	137
4.3.6 Talud N° 6 – Progresiva Km 12+860.....	138
4.3.6.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	138
4.3.6.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R...	139
4.3.7 Talud N° 7 – Progresiva Km 15+320.....	140
4.3.7.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	140
4.3.7.2 Sistema de estabilización mallas MacMat® R1-GalMac® 4R...	141
4.3.8 Talud N° 8 – Progresiva Km 16+480.....	142
4.3.8.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	142

4.3.8.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R....	143
4.3.9 Talud N° 9 – Progresiva Km 18+960.....	144
4.3.9.1 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	144
4.3.9.2 Sistema de estabilización mallas doble torsión GalMac® 4R....	145
4.3.10 Talud N° 10 – Progresiva Km 19+907.....	146
4.3.10.1 Sistema de estabilización mallas MacMat® R3.....	146
4.3.10.2 Sistema de estabilización mediante movimiento de tierras.....	147
4.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	150

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
5.1 CONCLUSIONES.....	154
5.2 RECOMENDACIONES.....	154

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

ANEXO B: PESO ESPECÍFICO RELATIVO

ANEXO C: CORTE DIRECTO

ANEXO D: TRABAJO DE GABINETE

ANEXO E: PRESUPUESTOS

ANEXO F: PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2. 1 Taludes naturales o laderas y artificiales.....	7
Figura 2. 2 Nomenclatura de taludes y laderas.....	8
Figura 2. 3 Inclinación de un talud.....	9
Figura 2. 4 Nomenclatura usada para describir taludes.....	10
Figura 2. 5 Signos de deslizamiento superficial o Creep.....	26
Figura 2. 6 Falla descrita en una ladera natural.....	27
Figura 2. 7 Flujo en materiales secos.....	28
Figura 2. 8 Flujo en materiales húmedos.....	28
Figura 2. 9 Deslizamiento rotacional típico.....	29
Figura 2. 10 Deslizamiento traslacional.....	30
Figura 2. 11 Estabilización usando ganchos en la malla.....	41
Figura 2. 12 Instalación de mallas en caídos.....	43
Figura 2. 13 Malla de triple torsión.....	44
Figura 2. 14 Anclaje con varillas en forma de “T”.....	46
Figura 2. 15 Anclaje con placa de acero.....	46
Figura 2. 16 Tipos de amarre.....	47
Figura 2. 17 Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles.....	49
Figura 2. 18 Tipos de anclaje de la superficie de falla por acción de las raíces.....	50
Figura 2. 19 Esquema de muros rígidos.....	53
Figura 2. 20 Esquema de muros flexibles.....	54
Figura 2. 21 Esquema de estructuras de tierra reforzada.....	55
Figura 2. 22 Esquema de estructuras ancladas.....	56
Figura 2. 23 Esquema de estructuras enterradas.....	57
Figura 2. 24 Geomantas MacMat®.....	61
Figura 2. 25 Inicio del programa Slide v6.0.....	65
Figura 3. 1 Ubicación geográfica.....	66
Figura 3. 2 Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	67

Figura 3. 3 Relevamiento taludes estudiados.....	75
Figura 3. 4 Abaco Janbú	90
Figura 3. 5 Características del proyecto.....	93
Figura 3. 6 Introducción de coordenadas del perfil del talud.....	93
Figura 3. 7 Propiedades de los materiales.....	94
Figura 3. 8 Análisis del talud.....	94
Figura 3. 9 Interpretación de los resultados.....	95
Figura 3. 10 Informe y cálculos realizados por el programa.....	95
Figura 3. 11 Propiedades de soportes.....	96
Figura 3. 12 Colocado de soportes.....	96
Figura 3. 13 Análisis de resultados con refuerzos.....	97
Figura 3. 14 Informe y cálculos realizados por el programa.....	97
Figura 4. 1 Vista de perfil.....	103
Figura 4. 2 Vista frontal.....	103
Figura 4. 3 Detalle malla.....	106
Figura 4. 4 Detalle bulones.....	106
Figura 4. 5 Detalle placa hexagonal.....	106
Figura 4. 6 Detalle malla.....	107
Figura 4. 7 Placa de fijación.....	110
Figura 4. 8 Placa de amarre.....	110
Figura 4. 9 Detalle anclajes perimetrales GA-7001.....	111
Figura 4. 10 Detalle anclajes perimetrales GA-7001.....	111
Figura 4. 11 Detalle grilletes.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2. 1 Cohesión de algunos suelos.....	12
Tabla 2. 2 Ángulo de fricción interna de algunos suelos.....	13
Tabla 2. 3 Rango de valores para ángulos de fricción.....	13
Tabla 2. 4 Peso específicos de sólidos de algunos suelos.....	16
Tabla 2. 5 Peso específicos de sólidos de algunos suelos.....	16
Tabla 2. 6 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	19
Tabla 2. 7 Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes.....	20
Tabla 2. 8 Características hormigón lanzado.....	33
Tabla 2. 9 Especificaciones de la malla para control de caídos.....	45
Tabla 2. 10 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta.....	52
Tabla 2. 11 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido.....	53
Tabla 2. 12 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro flexible.....	54
Tabla 2. 13 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de tierra reforzada.....	55
Tabla 2. 14 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura anclada.....	56
Tabla 2. 15 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura enterrada.....	57
Tabla 2. 16 Características del suelo para mezcla de suelo cemento.....	58
Tabla 2. 17 Proporciones de cemento de acuerdo al tipo de suelo.....	59
Tabla 3. 1 Relevamiento tramo en estudio.....	74
Tabla 3. 2 Levamiento topográfico.....	77
Tabla 3. 3 Clasificación de suelos.....	86
Tabla 3. 4 Cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico.....	88
Tabla 3.5 Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad.....	89
Tabla 3. 6 Factor de seguridad más desfavorable con programa Slide v6.0.....	98
Tabla 3. 7 Resultados obtenidos manualmente y con software Slide v6.0.....	98
Tabla 4. 1 Características Soil Nailing.....	101
Tabla 4. 2 Características anclajes Titan.....	102
Tabla 4. 3 Características anclajes Gewi.....	102
Tabla 4. 4 Características malla.....	103

Tabla 4. 5 Factor de seguridad con refuerzo Soil Nailing más desfavorable con programa Slide v6.0.....	104
Tabla 4. 6 Características malla triple torsión reforzada.....	105
Tabla 4. 7 Características malla triple torsión reforzada.....	106
Tabla 4. 8 Factor de seguridad con refuerzo malla TT reforzada más desfavorable con programa Slide v6.0.....	108
Tabla 4. 9 Características Tecco.....	109
Tabla 4. 10 Características malla romboidal Tecco G – 65.....	110
Tabla 4. 11 Características anclajes interiores.....	110
Tabla 4. 12 Características anclajes perimetrales.....	111
Tabla 4.13 Factor de seguridad con refuerzo malla Tecco más desfavorable con programa Slide v6.0.....	113
Tabla 4. 14 Características red de cables.....	113
Tabla 4. 15 Características red de cables.....	115
Tabla 4. 16 Factor de seguridad con refuerzo red de cables TD-15 más desfavorable con programa Slide v6.0.....	116
Tabla 4. 17 Características red de cables continua.....	116
Tabla 4. 18 Características malla de simple torsión Deltax G80.....	118
Tabla 4. 19 Factor de seguridad con refuerzo red de cables continua más desfavorable con programa Slide v6.0.....	119
Tabla 4. 20 Factor de seguridad con impermeabilización de bermas más desfavorable con programa Slide v6.0.....	120
Tabla 4. 21 Características malla GalMac® 4R.....	121
Tabla 4. 22 Factor de seguridad con refuerzo GalMac® 4R más desfavorable con programa Slide v6.0.....	123
Tabla 4. 23 Características malla MacMat® R1 - GalMac®.....	123
Tabla 4. 24 Factor de seguridad con refuerzo MacMat® R1 - GalMac® más desfavorable con programa Slide v6.0.....	125
Tabla 4. 25 Características malla MacMat® R3.....	126
Tabla 4. 26 Factor de seguridad con refuerzo MacMat® R3 más desfavorable	

con programa Slide v6.0.....	127
Tabla 4. 27 Elección de alternativas.....	128
Tabla 4. 28 Factor de seguridad con las alternativas propuestas.....	148
Tabla 4. 29 Tipo de refuerzo para cada talud según tipo de suelos.....	149
Tabla 4. 30 Lista de ítems a utilizar en el proyecto.....	150
Tabla 4. 31 Precio unitario por ítem.....	150
Tabla 4. 32 Cómputos métricos por talud.....	151
Tabla 4. 33 Costos por cada talud.....	152
Tabla 4. 34 Cómputos métricos por cada ítem.....	153
Tabla 4. 35 Presupuesto general	153

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 2. 1 Limpieza de talud con aire comprimido.....	37
Fotografía 2. 2 Aplicación de hormigón lanzado.....	38
Fotografía 2. 3 Protección con malla.....	42
Fotografía 2. 4 Estabilización con mallas.....	43
Fotografía 2. 5 Colocación de anclas en T.....	45
Fotografía 3. 1 Talud N° 1.....	69
Fotografía 3. 2 Talud N° 2.....	70
Fotografía 3. 3 Talud N° 3.....	70
Fotografía 3. 4 Talud N° 4.....	70
Fotografía 3. 5 Talud N° 5.....	71
Fotografía 3. 6 Talud N° 6.....	71
Fotografía 3. 7 Talud N° 7.....	71
Fotografía 3. 8 Talud N° 8.....	72
Fotografía 3. 9 Talud N° 9.....	72
Fotografía 3. 10 Talud N° 10.....	72
Fotografía 3. 11 Estación Total Sokkia set 5x, levantamiento topográfico talud N° 1.....	76
Fotografía 3. 12 Levantamiento topográfico talud N° 2.....	76
Fotografía 3. 13 Levantamiento topográfico talud N° 10.....	76
Fotografía 3. 14 Recolección de muestras cabeza talud N° 1.....	78
Fotografía 3. 15 Recolección de muestras cuerpo talud N° 2.....	78
Fotografía 3. 16 Recolección de muestras pie talud N° 7.....	79
Fotografía 3. 17 Recolección de muestras pie talud N° 8.....	79
Fotografía 3. 18 Cuarteando la muestra.....	81
Fotografía 3. 19 Granulometría suelos granulares.....	81
Fotografía 3. 20 Copa de Casagrande con ranurador laminar.....	82
Fotografía 3. 21 Suelo no plástico talud N° 6.....	82
Fotografía 3. 22 Instrumental necesario para (LP).....	83
Fotografía 3. 23 Instrumental necesario para P.E. relativo.....	84

Fotografía 3. 24 Realizando práctica de P.E. relativo.....	84
Fotografía 3. 25 Instrumental necesario para corte directo.....	85
Fotografía 3. 26 Muestra después del ensayo.....	85
Fotografía 4. 1 Movimiento de tierras.....	130
Fotografía 4. 2 Mallas doble torsión GalMac® 4R.....	130
Fotografía 4. 3 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.....	132
Fotografía 4. 4 Mallas MacMat® R3.....	133
Fotografía 4. 5 Movimiento de tierras.....	135
Fotografía 4. 6 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.....	135
Fotografía 4. 7 Movimiento de tierras.....	137
Fotografía 4. 8 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.....	137
Fotografía 4. 9 Movimiento de tierras.....	139
Fotografía 4. 10 Mallas doble torsión GalMac® 4R.....	139
Fotografía 4. 11 Movimiento de tierras.....	141
Fotografía 4. 12 Mallas MacMat® R1 - GalMac® 4R.....	141
Fotografía 4. 13 Movimiento de tierras.....	143
Fotografía 4. 14 Mallas doble torsión GalMac® 4R.....	143
Fotografía 4. 15 Movimiento de tierras.....	145
Fotografía 4. 16 Mallas doble torsión GalMac® 4R.....	145
Fotografía 4. 17 Mallas MacMat® R3.....	147
Fotografía 4. 18 Movimiento de tierras.....	147