

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**TRABAJO DIRIGIDO**

“MODELO DE ESTABILIDAD DE TALUDES COMPARANDO LOS  
MÉTODOS BISHOP SIMPLIFICADO VS. TABLAS DE JANBÚ  
APLICADOS AL TRAMO SAN LORENZO – COCHAS  
(VARIANTE FALDA LA QUEÑUA)“

*Por:*

***JOEL ALBARO MORA BALDIVIEZO***

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

Octubre 2013

**TARIJA-BOLIVIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo única responsabilidad del autor.

**Dedicatoria:**

A Dios Señor y Salvador de mi vida

A Mis padres: Santiago Mora L.  
Paulina Baldviezo G.

A Mis hermanos: Omar, Franklin.

A mi profesor guía: Msc. Ing. Mabel Zambrana

Principalmente a mi gran apoyo:

María del Carmen.

Y mi adorada hijita: María Victoria.

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos.....	2
	1.3.1 Objetivo General.....	2
	1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4	Alcance.....	4
1.5	Metodología de estudio.....	5

## **CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES SOBRE TALUDES EN CARRETERAS:**

2.1	Generalidades.....	6
2.2	Clasificación De Los Taludes.....	6
	2.2.1 Talud Natural.....	7
	2.2.2 Talud Artificial.....	7
2.3	Tipos De Fallas De Taludes Más Comunes.....	8
	2.3.1 Clasificación Del Tipo De Fallas De Taludes.....	8
	2.3.1.1 Caídas O Desprendimientos.....	11
	2.3.1.1.1 Caída Libre.....	11
	2.3.1.1.2 Volcadura.....	11
	2.3.1.2 Derrumbes.....	12
	2.3.1.2.1 Derrumbes Planares.....	13
	2.3.1.2.2 Derrumbes Rotacionales.....	15
	2.3.1.2.3 Desparramamiento Lateral y Falla Progresiva.....	16
	2.3.1.2.4 Deslizamiento De Escombros.....	17
	2.3.1.3 Avalanchas o Flujo De Escombros.....	18
	2.3.1.4 Repteo.....	19
2.4	Deslizamiento o Movimiento de las masas inestables Típicas.....	20
	2.4.1 Principales métodos de análisis.....	24

	2.4.1.1 Método de Fellenius.....	25
	2.4.1.2 Método de Bishop simplificado.....	28
	2.4.1.3 Método de Janbu.....	30
	2.4.1.4 Método de Spencer.....	32
	2.4.1.5 Método de Morgenstern y Price.....	33
	2.4.1.6 Método de Sarma.....	33
2.5	Características más importantes del suelo.....	38
	2.5.1 Conceptualización de suelos inestables y estables.....	38
	2.5.1.1 Suelos inestables.....	38
	2.5.2.2 Suelos estables.....	38
2.6	Factores de inestabilidad.....	38
	2.6.1 Factor geología de la región.....	39
	2.6.1.1 Arcillas Plásticas.....	41
	2.6.1.2 Arenas.....	41
	2.6.1.3 Sismicidad.....	41
	2.6.1.4 Taludes escarpados.....	42
	2.6.1.5 Acantilados y bancos bajo la acción de corrientes de quebradas.....	42
	2.6.1.6 Áreas de concentración de drenaje y filtración.....	42
	2.6.1.7 Áreas de terreno ondulado.....	43
	2.6.1.8 Áreas de concentración de fracturas.....	43
	2.6.2 Factor Topografía y estabilidad.....	44
	2.6.2.1 Efecto de la resistencia del suelo y la pendiente del talud.....	44
	2.6.3 Factor Pluviosidad.....	44
	2.6.4 Factor Erosión.....	44
	2.6.5 Factor Viento.....	49
	2.6.6 Factor Sobrecargas.....	50
2.7	Características de los taludes de carreteras.....	50
	2.7.1 Fallas de Taludes en carreteras.....	51

2.7.1.1 Fallas de talud de corte.....	52
2.7.1.2 Fallas de talud de relleno.....	53

### **CAPÍTULO III TÉCNICAS DE PROTECCION DE TALUDES.**

3.1	Técnica de revegetación con Hidrosiembra.....	55
3.2	Protección contra desprendimientos (Barreras).....	56
3.2.1	Barreras fijas.....	58
3.2.2	Barreras dinámicas.....	59
3.3	Estructuras de contención o anclaje.....	61
3.3.1	Muros rígidos.....	61
3.3.1.1	Muro reforzado.....	62
3.3.1.2	Muro concreto simple.....	65
3.3.1.3	Muro de concreto ciclópeo.....	67
3.3.2	Muros masivos flexibles.....	74
3.3.2.1	Gaviones.....	74
3.3.2.2	Criba.....	78
3.3.2.3	Llantas (Neusol.....	81
3.3.2.4	Piedra – Pedraplen.....	83
3.3.3	Estructuras De Tierra Reforzada.....	84
3.3.3.1	Refuerzo con tiras metálicas.....	85
3.3.3.2	Refuerzo con Geotextil.....	87
3.3.3.3	Refuerzo con malla.....	90
3.3.4	Estructuras ancladas.....	91
3.3.4.1	Anclajes y pernos individuales.....	92
3.3.4.2	Muros anclados.....	94
3.3.4.3	Pilotillos tipo raíz o Soil Nailing (Rootpiles).....	95
3.3.5	Estructuras enterradas.....	97
3.3.5.1	Tablestacas.....	97
3.3.5.2	Pilotes.....	98
3.3.5.3	Pilas o Caissons.....	100

## **CAPÍTULO IV      APLICACIÓN PRÁCTICA:**

4.1	Ubicación del talud para estudio.....	102
4.2	Tramo en estudio.....	103
4.3	Características de los taludes de la zona de ensayos.....	105
4.3.1	Perforaciones.....	106
4.3.2	Ensayos de Campo.....	107
4.3.3	Muestreo.....	107
4.3.4	Instrumentación.....	107
4.3.4.1	Inclinómetros.....	107
4.3.5	Ensayos de Laboratorio.....	108
4.3.5.1	Ensayos de Clasificación.....	109
4.3.5.1.1	Límites de Atterberg.....	109
4.3.5.1.2	Granulometría por tamizado.....	114
4.3.5.2	Ensayos de Resistencia.....	117
4.3.5.2.1	Proctor Modificado T-180.....	117
4.3.5.2.2	Relación de Soporte de California (C.B.R.).....	122
4.3.5.2.3	Compresión Triaxial.....	132
4.4	Evaluación de la estabilidad de un Talud.....	136
4.5	Concepto de Factor de Seguridad (F.S.).....	136
4.6	Determinación de la resistencia del suelo.....	139
4.6.1	Comportamiento suelo drenado vs. no drenado.....	139
4.7	Resistencia al corte en arcillas sobreconsolidadas.....	140
4.7.1	Resistencia al corte en limos y arcillas blandas.....	140
4.7.2	Resistencia al corte en suelos granulares.....	141
4.8	Ángulo de fricción interna.....	142
4.9	Cohesión.....	143
4.9.1	Cohesión aparente.....	143
4.10	Círculo de Morh.....	143
4.11	Medición de la resistencia al cortante.....	145

## **CAPÍTULO V RESULTADO DEL ANÁLISIS DE TALUDES:**

5.1	Recopilación de datos de Campo.....	148
5.1.1	Análisis del suelo.....	149
5.1.2	Resultados de los ensayos de laboratorio.....	154
5.2	Altura crítica del talud.....	155
5.3	Cálculo de FS mediante el método Bishop Simplificado.....	158
5.3.1	Cálculo del FS mediante el programa Slide 6.0 de Rocscience....	159
5.4	Cálculo de FS mediante el método de Tablas de Janbú.....	227
5.4.1	Resultados del F.S. método de Tablas de Janbú.....	241
5.5	Resumen y análisis de resultados.....	242
5.5.1	Comparación de los diversos métodos.....	245
5.6	Prevención, Estabilización y diseño.....	246
5.6.1	Solución a la Inestabilidad.....	247
5.6.1.1	Modificación de la topografía.....	247
5.7	Cómputos métricos.....	249
5.7.1	Principios Generales para realizar el Cómputo .....	250
5.7.2	Técnicas del Cómputo.....	251
5.7.3	Recomendaciones para realizar el Cómputo métrico.....	251
5.8	Análisis unitario de costos.....	258
5.8.1	La estructura del costo.....	258
5.8.1.1	Materiales.....	258
5.8.1.2	Mano de obra.....	259
5.8.1.3	Herramienta maquinaria y equipo.....	259
5.8.1.4	Recargos.....	260
5.8.1.5	Gastos generales y administrativos.....	261
5.8.1.6	Utilidad.....	262
5.8.1.7	Impuestos a las transacciones.....	262
5.8.2	Ítem: Instalación de Faenas (Movilización).....	264
5.8.3	Ítem: Replanteo y Trazado de la Obra.....	265
5.8.3	Ítem: Movimiento y Transporte de Tierra con Maquinaria.....	266



5.9	Presupuesto General .....	267
-----	---------------------------	-----

## **CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

6.1	Conclusiones.....	269
6.1.1	El problema real.....	270
6.1.2	La cuestión del Factor de Seguridad.....	272
6.2	Recomendaciones.....	274

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

**ANEXO I ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS**

**ANEXO II EXPLICACIÓN DE MANEJO DEL PROGRAMA SLIDE 6.0**

**ANEXO III MEMORIA FOTOGRÁFICA**

**ANEXO IV CRITERIOS AMBIENTALES DE DISEÑO EN LA  
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES (NORMA DE LA ABC)**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2A Clasificación de Fallas según Hunt (1984).....	10
Tabla 2B Dimensiones típicas de un movimiento de talud.....	22
Tabla 3A Valores nominales de sobrecargas.....	48
Tabla 4A Coordenadas del tramo en estudio.....	102
Tabla 4B valores de carga unitaria.....	122
Tabla 4C valores de penetración del laboratorio de SEDECA.....	125
Tabla 4D Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas (Hoek y Bray, 1981).....	134
Tabla 4F Resistencias típicas de rocas en N /mm <sup>2</sup> .....	135
Tabla 4H Ángulos de fricción típicos de rocas (Wyllie 1996).....	135
Tabla 4I Características física típicas de diversos suelos.....	139
Tabla 4J Resistencia al corte Terzagui y Peck.....	141
Tabla 4K Propiedades típicas de los suelos compactados (NAVFAC 1971).....	147
Tabla 5A Datos de los taludes.....	148
Tabla 5B Datos talud 1 6+620.....	155
Tabla 5C Datos talud 2 17+600.....	156
Tabla 5D Datos talud 3 26+080.....	157
Tabla 5E Resultado de cálculo mediante las Tablas de Janbú.....	242
Tabla 5F Resumen de Resultados por los dos métodos propuestos.....	243
Tabla 5G Factores de Seguridad de cada uno de los taludes en estudio .....	245
Tabla 5H Comparación de los resultados de cálculo de factor de seguridad para varios métodos. (Fredlund y Krahn, 1977).....	246
Tabla 5I Esquema de la estructura de costos .....	263

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2A Ladera o Talud Natural.....	7
Fotografía 2B Talud Artificial.....	7
Fotografía 2C Taludes de Excavación .....	8
Fotografía 2D Un derrumbe.....	12
Fotografía 2E Flujo de Escombros.....	18
Fotografía 2F Degradación por erosión.....	48
Fotografía 3A Técnica de la Hidrosiembra.....	55
Fotografía 3B Barreras Fija y Dinámica.....	56
Fotografía 3C Malla Metálica de Protección Dinámica.....	57
Fotografía 3D Barrera Fija.....	58
Fotografía 3E Malla Dinámica.....	60
Fotografía 3F Freno de fricción Antes y después de la Absorción de Impacto....	60
Fotografía 3G Muro de Contención de Hormigón Simple o sin Refuerzo.....	66
Fotografía 3H Construcción de un Muro de Hormigón Ciclópeo.....	68
Fotografía 3I Muro de Gaviones.....	56
Fotografía 3J Muros Criba.....	57
Fotografía 3K Construcción Muro Masivo Neusol.....	58
Fotografía 3L Construcción de Muro con Cintas Metálicas.....	86
Fotografía 3M Detalle de las cintas Metálicas.....	86
Fotografía 3N Muro con Refuerzo de Geotextil.....	88
Fotografía 3O Geotextiles.....	89
Fotografía 3P Geomalla.....	90
Fotografía 3Q Malla de Fibra Sintética.....	91
Fotografía 3R Perno Anclado con Malla Dinámica .....	93
Fotografía 3S Muro Anclado.....	95
Fotografía 4A Características de la zona.....	105
Fotografía 4B talud con escorrentía superficial.....	106
Fotografía 4C Lecturación del inclinometro.....	108

Fotografía 4D Equipo de Casagrande.....	110
Fotografía 4F Ensayo de Límites de Atterberg.....	110
Fotografía 4G Lavado del material.....	114
Fotografía 4H Serie de tamices necesarios para el ensayo.....	116
Fotografía 4I Lavado del material.....	116
Fotografía 4J Preparación del molde.....	120
Fotografía 4K extendido de la Muestra para humedecer y homogeneizar.....	120
Fotografía 4L Compactación en tres capas.....	121
Fotografía 4M Pesado del Material + Molde y su posterior Extracción.....	121
Fotografía 4N Medición de la Expansión.....	126
Fotografía 4O Traslado de las muestras al instrumento C.B.R.....	127
Fotografía 4OA Pesas collarines para direccionar el pistón del instrumento.....	127
Fotografía 4P Calibración de los instrumentos.....	127
Fotografía 4Q puesta en cero del Instrumento C.B.R. antes de comenzar el ensayo.....	129
Fotografía 4R Especialista del Laboratorio Corriendo el Ensayo.....	130
Fotografía 4S Lecturando y anotando los valores del Ensayo.....	131
Fotografía 4T Molde después del Ensayo con la correspondiente marca de penetración del Pistón.....	131
Fotografía 4U Equipo para ensayo Triaxial en suelos.....	132
Fotografía 5A Talud 1 progresiva 6+620.....	150
Fotografía 5B Talud 2 progresiva 17+600.....	150
Fotografía 5C Talud 3 progresiva 26+080 (en una curva).....	151
Fotografía 5D Extracción de muestras.....	151
Fotografía 5E Medición de la altura del talud.....	152
Fotografía 5F Cargado del material.....	153
Fotografía 5G Capsulas de muestra para obtener la humedad natural.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2A Esquema clasificación de Taludes.....	6
Figura 2B Esquema de una Caída Libre.....	11
Figura 2C Esquema de una Volcadura.....	11
Figura 2D a) Deslizamiento planar en macizo rocoso.....	13
Figura 2E b) Deslizamiento en forma de cuña.....	14
Figura 2F Derrumbe rotacional múltiple.....	15
Figura 2G Desparramamiento lateral.....	17
Figura 2H Deslizamiento de Escombros.....	17
Figura 2I Esquema de un proceso de Reptación.....	19
Figura 2J Nomenclatura de un Deslizamiento.....	20
Figura 2K Dimensiones típicas de un movimiento de talud.....	22
Figura 2L Formulación del método de Fellenius.....	26
Figura 2M Formulación del método de Bishop simplificado.....	29
Figura 2N Formulación del método de Janbú.....	31
Figura 2O Formulación del método de Spencer.....	32
Figura 2P Formulación del método de Morgenstern y Price.....	33
Figura 2Q Formulación del método de SARMA.....	34
Figura 2R Comparación de los factores de seguridad de un talud analizado por varios Métodos.....	35
Figura 2S Comparación de factores de seguridad en una excavación vertical aplicando varios métodos.....	36
Figura 2T Mapa Geológico de Tarija.....	39
Figura 2U Mapa Geológico variante falda la Queñua.....	40
Figura 2V Consecuencias de la modificación de la topografía por una Carretera	50
Figura 3A Esquema de Talud con Protección Dinámica.....	59
Figura 3B Esquema típico de un muro rígido con su sistema de Subdrenaje.....	61
Figura 3C Esquema de un Muro Reforzado.....	62
Figura 3D Esquema de un muro de contención de Hormigón Simple.....	65

Figura 3E Esquema de un muro de concreto ciclópeo.....	67
Figura 3F Esquema Típico de Muro de Gaviones.....	75
Figura 3G Esquema general de los Muros Masivos Criba.....	78
Figura 3H Esquema Muro Masivo con llantas.....	81
Figura 3I Esquema de un muro de piedra o Pedraplén.....	83
Figura 3J Esquema de un muro con refuerzo de tiras metálicas.....	85
Figura 3K Esquema de un Muro con Geotextil.....	87
Figura 3L Pernos para Anclaje Individual.....	92
Figura 3M Esquema de la estructura anclada con Pernos.....	93
Figura 3N Esquema de un Muro Anclado.....	94
Figura 3O Esquema Raíces de micro pilotes (Root-piles) Lizzi 1977.....	96
Figura 3P Esquema Constructivo Tablestacas Ancladas.....	97
Figura 3Q Esquema Estructura enterrada usando Pilotes.....	99
Figura 3R Esquema de Pilas de gran diámetro o Caisons.....	100
Figura 3S Sistema de grupos de pilas para conformar muros de contención.....	101
Figura 4A Ubicación del Proyecto Dentro del Contexto Nacional.....	103
Figura 4B Ubicación del Proyecto Dentro del Contexto Regional.....	104
Figura 4C Bloque en plano inclinado y diagrama de fuerzas.....	137
Figura 4D Ejemplo diagrama talud aplicando el método de Bishop.....	138
Figura 4E Envoltente de falla y círculo de Mohr.....	145
Figura 5A Tramo en estudio y perfil longitudinal.....	149
Figura 5B Método de Bishop Simplificado.....	158
Figura 5C Logo Programa SLIDE 6.0 de Rocscience .....	159
Figura 5D Opciones del proyecto.....	160
Figura 5F Opciones del proyecto Métodos.....	160
Figura 5G Pantalla principal.....	161
Figura 5H definiendo propiedades del suelo.....	162
Figura 5I opción de colocado de anclajes.....	162
Figura 5J Opciones de Superficie.....	163
Figura 5K Resultados del cálculo.....	163

Figura 5L verificando resultados por dovela.....	164
Figura 5M Valores de los diferentes factores de seguridad.....	164
Figura 5N Obtención del mínimo valor de F.S.....	165
Figura 5O Datos de Esfuerzos en dovela N°3.....	165
Figura 5P Presentación de los Resultados del Cálculo.....	166
Figura 5Q Coordenada X0 para el Círculo Crítico (Janbú 1968).....	228
Figura 5R Coordenada Y0 para el Círculo Crítico (Janbú 1968).....	229
Figura 5S Factor de reducción por carga adicional para tablas de Janbú.....	231
Figura 5T Factor de reducción por sumergencia ( $\mu w$ ) e infiltración ( $\mu'w$ ).....	232
Figura 5U Factor de reducción por grieta de tracción sin presión hidrostática en la grieta. (Janbú, 1968).....	233
Figura 5V Factor de reducción por grieta de tracción con presión hidrostática en la grieta.....	234
Figura 5W Número de estabilidad.....	236
Figura 5X Esquema y ecuaciones del Número de estabilidad Ncf.....	238
Figura 5Y Número de estabilidad Ncf.....	239
Figura 5S Figura 5Z Coordenadas del centro del círculo crítico (suelos con $\varphi > 0$ ).....	240
Figura 5AA Modificación de la topografía mediante un corte de talud.....	248