

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO EN LADERAS DE FUERTE  
A MEDIA PENDIENTE EN LA ZONA DE CIENEGUILLAS**

**Por:**

**EDWIN MARTINEZ CRUZ**

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

**Diciembre de 2012**

**TARIJA – BOLIVIA**

**VºBº**

.....  
MSc.Ing. Luis Yurquina Flores

DECANO

FACULTAD DE CIENCIAS

Y TECNOLOGÍA

.....  
MSc.Ing. Clovis Gustavo Succi Aguirre

VICE DECANO

FACULTAD DE CIENCIAS

Y TECNOLOGÍA

APROBADO POR:

TRIBUNALES:

.....  
Ing. Marcelo Humberto Pacheco Núñez

.....  
Ing. Juan Carlos Loza Vélez

.....  
Ing. Henry Monzón de los Ríos

El tribunal Calificado de la presente Tesis, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad de autor.

**DEDICATORIA:**

A nuestro Dios Creador de los cielos y la Tierra y por haber puesto, la Fé y la Sabiduría que me fortalecieron y dieron perseverancia, para poder alcanzar uno de los objetivos más anhelados y primordiales de mi vida.

### **AGRADECIMIENTOS:**

**A mis Padres:** Martín Martínez Condori y Benita Cruz. Gabriel. Por haberme respaldado en todo las situaciones de la vida.

**A mi Hermano:** Javier Martínez C. y a Dixon Martínez C. (+)

**A mis Docentes:** de la carrera de Ingeniería Civil de la U.A.J.M.S. por su paciencia y apoyo prestando en mi formación Profesional.

**PENSAMIENTO:**

“La única ciencia perfecta,

es la ciencia de Dios”

## ÍNDICE

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen

**Página**

### ***INTRODUCCIÓN***

1. <i>JUSTIFICACIÓN</i> .....	1
2. <i>OBJETIVOS</i> .....	2
2.1 Objetivos Generales.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3. Metas y Alcance del proyecto.....	3
4. Información necesaria para el proyecto.....	3

### **CAPÍTULO I**

#### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

1.2 <i>ANTECEDENTES</i> .....	4
1.2.1 Introducción a la Erosión.....	4
1.2.2 Definición de Erosión.....	5
1.2.3 Principales agentes y tipos de Erosión.....	6
1.2.4 Formas de Erosión Hídrica.....	9
1.2.5 Clasificación de la Erosión.....	11
1.2.6 Principios básicos para el control de la Erosión Hídrica.....	13
1.2.7 Causas y Consecuencias de la Erosión Hídrica en Taludes.....	15
1.2.8 Obras para el control de Erosión en Taludes.....	17
1.2.8.1 Canales de conducción.....	17
1.2.8.2 Zanjas de coronación ó contracunetas.....	17
1.2.9 Criterio de diseño de cunetas longitudinales.....	19
1.2.10 Estructuras de Vertimiento.....	20
1.2.11 Disipadores.....	20
1.2.11.1 Canal de Rápidas Lisa.....	20

	<b>Página</b>
1.2.11.2 Canal de Rápidas Escalonadas.....	22
1.2.11.3 Canal de Pantallas Deflectoras (CPD).....	23
1.2.11.4 Canal de Rápidas con Tapa y Columpio (CRTC).....	25
1.2.12 Combinación de Rápidas Lisas y Escalonadas.....	27
1.2.13 Combinación de (CRTC) y (CPC).....	27

## **CAPÍTULO II**

### ***CARACTERÍSTICAS GENERALES EN LA ZONA DE ESTUDIO***

2.1 Localización del proyecto Geográfico y Política.....	28
2.2 Progresivas de la zona de estudio.....	31
2.3 Características socioeconómicas.....	32
2.3.1 Beneficiados.....	32
2.3.2 Transporte y Comunicación.....	32
2.4 Producción Agrícola.....	34
2.4.1 Tamaño y uso de la tierra.....	34
2.5 Identificación del problema.....	35
2.6 Solución del problema.....	35
2.7 Metodología de Análisis en el proyecto.....	35
2.8 <i>TOPOGRAFÍA</i> .....	36
2.8.1 Importancia de la Topografía.....	36
2.8.2 Control Topográfico.....	36
2.8.3 Inspección para el Levantamiento Topográfico.....	38
2.8.4 Aplicación de Software.....	38
2.9 <i>GEOLOGÍA</i> .....	40
2.9.1 Características Geológicas.....	40
2.9.2 Topografía y Estabilidad.....	42
2.9.3 Pluviosidad.....	42
2.10 <i>ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA</i> .....	45
2.10.1 Introducción.....	45
2.10.2 Definición de Hidrología.....	45
2.10.3 Ciclo Hidrológico.....	46

	<b>Página</b>
2.10.4 Aspectos Climáticos Cercanos al proyecto.....	46
2.10.5 Temperatura.....	47
2.10.6 Precipitación.....	47
2.10.7 Datos disponibles de SENAMHI.....	47
2.10.8 Información de la estación meteorológica.....	51
2.10.9 Estudio Hidrológico.....	51
2.10.10 Precipitación Máxima.....	52
2.10.11 Distribución de Probabilidad.....	52
2.11 <i>ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS</i> .....	52
2.11.1 Introducción.....	52
2.11.2 Precipitación Máxima en 24 hrs.....	52
2.11.3 Distribución de Gumbel.....	53
2.11.4 Precipitación Máxima Horaria para periodos de tiempos inferiores a las 24 hrs.....	56
2.11.5 Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (I.D.F).....	57
2.12 <i>CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN</i> .....	58
2.12.1 Definición.....	58
2.12.2 Fórmulas Empíricas para Tiempos de Concentración “Tc”.....	60
2.12.2.1 Fórmula de V.T. CHOW.....	60
2.12.2.2 Fórmula de KIPRISH.....	60
2.12.2.3 Fórmula de Temez para pequeñas cuencas ( $A < 75 \text{ Km}^2$ ).....	60
2.13 <i>ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS</i> .....	61
2.13.1 Introducción.....	61
2.13.2 Método Indirecto.....	62
2.13.3 Método Racional.....	62
2.13.4 Método de Hidrograma Unitario.....	64
2.14 <i>RÁPIDAS INCLINADAS</i> .....	66
2.14.1 Fundamento.....	66
2.14.2 Componentes de una Rápida Inclinada.....	67
2.15 <i>RÁPIDAS ESCALONADAS</i> .....	71

	<b>Página</b>
2.15.1 Fundamento.....	71
2.15.2 Clases de Flujo.....	73

### **CAPÍTULO III**

#### **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

3.1 Norma de diseño: Canal de Pantallas Deflectoras (CPD) y Canal de Rápidas con Tapa y Columpio (CRTC).....	76
3.2 Diseño original: Canal de Pantallas Deflectoras (CPD) (Alternativa 1).....	76
3.2.1 Cálculo de Canal (CPD) (Alternativa 1).....	77
3.2.2 Cálculo de Canal Optimizado (CPD) (Alternativa 2).....	80
3.2.3 Diseño: Canal de Rápidas con Tapa y Columpio (CRTC).....	83
3.2.4 Cálculo de Canal (CRTC).....	84
3.3 Diseño de (CPD) que entrega a (CRTC).....	87
3.4 Diseño de (CRTC) que entrega a (CPD).....	88
3.5 Diseño Hidráulico de un Canal de Rápida Lisa.....	89
3.6 Diseño Hidráulico de un Canal de Rápidas Escalonadas.....	92
3.7 <i>INGENIERÍA PRÁCTICA DEL PROYECTO</i> .....	94
3.7.1 Análisis Hidrológico.....	94
3.7.2 Distribución de Probabilidades.....	95
3.7.3 Cálculo de precipitación máxima diarias para diferentes Periodos de Retorno.....	96
3.7.4 Cálculo de precipitaciones máximas horarias correspondientes a Tiempos (t) inferiores a las diarias.....	97
3.7.5 Cálculo de precipitaciones máximas menores a 2 hrs para diferentes Periodos de Retorno.....	99
3.7.6 Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (I.D.F.).....	102
3.8 Cálculo de Tiempo de Concentración (Prog. 8+040).....	103
3.8.1 Fórmula de V.T. CHOW.....	103
3.8.2 Fórmula de KIPRISH.....	103
3.8.3 Fórmula de TEMEZ para pequeñas cuencas ( $A < 75 \text{ Km}^2$ ).....	103

	<b>Página</b>
3.9 Cálculo de Caudales Máximos (Prog. 8+040).....	105
3.9.1 Método Racional.....	105
3.9.2 Método de Hidrograma Unitario o Triangular.....	107
3.10 Resumen de Caudales Máximos (Prog. 8+040).....	109
3.11 Diseño de Contracuneta (Prog. 8+040).....	110
3.12 Diseño de Transición (Prog. 8+040).....	111
3.13 Diseño: Canal de Rápidas con Tapa y Columpio (CRTC) (Prog. 8+040).....	112
3.14 Cálculo de Tiempo de Concentración (Prog. 10+060).....	115
3.14.1 Fórmula de V.T. CHOW.....	115
3.14.2 Fórmula de KIPRISH.....	115
3.14.3 Fórmula de TEMEZ para pequeñas cuencas ( $A < 75 \text{ Km}^2$ ).....	115
3. 15 Cálculo de Caudales Máximos (Prog. 10+060).....	117
3.15.1 Método Racional.....	117
3.15.2 Método de Hidrograma Unitario o Triangular.....	119
3.16 Resumen de Caudales Máximos (Prog. 10+060).....	121
3.17 Diseño de Contracuneta (Prog. 10+060).....	122
3.18 Diseño de Transición (Prog. 10+060).....	123
3.19 Diseño: Canal de Pantallas Deflectoras (CPD) (Prog. 10+060).....	124
3.20 Cálculo de Tiempo de Concentración (Prog. 10+700).....	128
3.20.1 Fórmula de V.T. CHOW.....	128
3.20.2 Fórmula de KIPRISH.....	128
3.20.3 Fórmula de TEMEZ para pequeñas cuencas ( $A < 75 \text{ Km}^2$ ).....	128
3. 21 Cálculo de Caudales Máximos (Prog. 10+700).....	130
3.21.1 Método Racional.....	130
3.21.2 Método de Hidrograma Unitario o Triangular.....	132
3.22 Resumen de Caudales Máximos (Prog. 10+700).....	134
3.23 Diseño de Contracuneta (Prog. 10+700).....	135
3.24 Diseño de Transición (Prog. 10+700).....	136

	<b>Página</b>
3.25 Diseño: Canal de Pantallas Deflectoras (CPD) que entrega a Canal de Rápidas con Tapa y Columpio (CRTC) (Prog. 10+700).....	137

## **CAPÍTULO IV**

### ***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

4.1 Conclusiones.....	143
4.2 Recomendaciones.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	145
ANEXOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura N° 1 Esquema de deslizamiento en los Taludes.....	6
Figura N° 2 Esquema del daño de la erosión en el Talud.....	17
Figura N° 3 Esquema: Disipador de energía para evitar la erosión.....	17
Figura N° 4 Zanjas de Coronación.....	17
Figura N° 5 Mapa de la Provincia Cercado y la zona de Cieneguillas.....	28
Figura N° 6 Departamento de Tarija y la zona de estudio.....	29
Figura N° 7 Vista Isométrica en 3D en la ubicación del Proyecto Cieneguillas.....	29
Figura N° 8 Ubicación del proyecto con coordenadas Geográfica UTM.....	30
Figura N° 9 Progresivas y Áreas de estudio.....	31
Figura N° 10 Vista Isométrica.....	31
Figura N° 11 Mapa de Vías de Comunicación y Transporte.....	33
Figura N° 12 Mapa de Curvas de nivel sobre el proyecto.....	39
Figura N° 13 Mapa de Erosión Departamento de Tarija.....	43
Figura N° 14 Mapa Geológico de Bolivia.....	43
Figura N° 15 Mapa Geológico en la zona de estudio (satelital).....	44
Figura N° 16 Ciclo Hidrológico.....	46
Figura N° 17 Mapa de Ubicación de las Estaciones Pluviométricas.....	49
Figura N° 18 Mapa de Isoyetas en la Cuenca de Santa Ana.....	50
Figura N° 19 Esquema de una Cuenca Hidrográfica.....	59
Figura N° 20 Esquema del cauce para la determinación de Caudal Máximo.....	63
Figura N° 21 Esquema de un Hidrograma Unitario.....	65
Figura N° 22 Esquema de un Hidrograma Triangular.....	66

	<b>Página</b>
Figura N° 23 Esquema de línea de Energía.....	68
Figura N° 24 Partes de una Rápida Lisa.....	71
Figura N° 25 Esquema de Flujo en una Rápida Lisa.....	71
Figura N° 26 Esquema de Flujo Saltante y Flujo Rasante.....	73
Figura N° 27 Refuerzo estructural sugerido para el (CPD) original.....	79
Figura N° 28 Gráfico Relación Caudal Vs Ancho de Canal (Alternativa 1).....	80
Figura N° 29 Gráfico Relación Caudal Vs Velocidad (Alternativa 1).....	80
Figura N° 30 Diseño geométrico y refuerzo del (CPD) (Optimizado).....	82
Figura N° 31 Gráfico Relación Caudal Vs Ancho de Canal (Alternativa 2).....	83
Figura N° 32 Gráfico Relación Caudal Vs Velocidad (Alternativa 2).....	83
Figura N° 33 Diseño geométrico de CRT.....	86
Figura N° 34 Gráfico Relación Caudal Vs Ancho de Canal (CRTC).....	87
Figura N° 35 Gráfico Relación Caudal Vs Velocidad (CRTC).....	87
Figura N° 36 Transición entre un CRTC y un CPD. Diseño geométrico y refuerzo estructural sugerido.....	89
Figura N° 37 Gráfico de Distribución de Precipitación Máxima Diarias.....	96
Figura N° 38 Gráfico Periodo de Retorno Vs Precipitación Máxima.....	99
Figura N° 39 Gráfico Tiempo Vs Precipitación Máxima.....	99
Figura N° 40 Gráfico Precipitación Máxima Menores a 2 horas.....	100
Figura N° 41 Gráfico Periodo de Retorno Vs Precipitación Máxima.....	101
Figura N° 42 Gráfico de Tiempo (hrs) Vs Precipitación Máxima.....	101
Figura N° 43 Gráfico Intensidades Máxima (I.D.F.).....	102
Figura N° 44 Representación gráfica de Hidrograma Triangular.....	108

Figura N° 45 Comparación de los Métodos: Racional Vs Hidrograma Unitario.....109

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro N° 1 Acción y efectos de la erosión.....	10
Cuadro N° 2 Altura sobre el nivel del mar del Proyecto.....	28
Cuadro N° 3 Progresivas en la Zona de Estudio.....	31
Cuadro N° 4 Comunidades Beneficiadas.....	32
Cuadro N° 5 Uso actual de la Tierra en (Has) .....	34
Cuadro N° 6 Aspectos Climáticos de Cantones Cercanos al Proyecto.....	46
Cuadro N° 7 Ubicación de las estaciones pluviométricas en la Cuenca Santa Ana..	48
Cuadro N° 8 Datos necesarios para el cálculo de Tiempo de Concentración.....	59
Cuadro N° 9 Distribución de Probabilidades.....	95
Cuadro N° 10 Precipitaciones Máxima Diarias.....	97
Cuadro N° 11 Precipitaciones Máximas Horarias.....	98
Cuadro N° 12 Precipitaciones Máximas Horarias Inferiores a 2 Hrs.....	100
Cuadro N° 13 Intensidad Duración y Frecuencia (mm/hr).....	102
Cuadro N° 14 Datos necesarios Tiempo de Concentración “Tc” (Prog. 8+040).....	103
Cuadro N° 15 Resumen de Tiempo de Concentración “Tc” (Prog. 8+040).....	104
Cuadro N° 16 Resumen de Intensidades (Prog. 8+040).....	104
Cuadro N° 17 Resumen de Caudales Método Racional (Prog. 8+040).....	106
Cuadro N° 18 Resumen de Caudales Método de Hidrograma Unitario (Prog. 8+040)..	108
Cuadro N° 19 Resumen de Caudales Máximos.....	109

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Página</b>
Fotografía N° 1 Erosión en Taludes.....	5
Fotografía N° 2 Deslizamiento en Taludes.....	5
Fotografía N° 3 Erosión Fluvial.....	7
Fotografía N° 4 Sin Erosión.....	11
Fotografía N° 5 Erosión Ligera.....	11
Fotografía N° 6 Erosión Moderada.....	12
Fotografía N° 7 Erosión Severa.....	12
Fotografía N° 8 Erosión muy Severa.....	13
Fotografía N° 9 Disipación de energía Natural.....	15
Fotografía N° 10 Estructuras de Disipación Artificial.....	15
Fotografía N° 11 Rápida Lisa de Concreto.....	22
Fotografía N° 12 Rápidas Escalonadas de Concreto.....	23
Fotografía N° 13 Canal de Pantallas Deflectoras (CPD).....	24
Fotografía N° 14 Canal de Rápidas con Tapa y Columpio (CRTC).....	26
Fotografía N° 15 Combinación de (CRTC) y (CPD).....	27
Fotografía N° 16 Rápida Lisa en Funcionamiento.....	70
Fotografía N° 17 Rápida Escalonada en Funcionamiento.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla N° 1 Velocidades Máximas Admisibles para Cunetas.....	18
Tabla N° 2 Velocidad Máxima Permisible en algunos materiales.....	21
Tabla N° 3 Coeficiente de Corrección n de Manning.....	69
Tabla N° 4 Valores de Coeficiente de Escorrentía “C”.....	105

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo I Análisis Topográfico

Anexo II Datos de SENAMHI

Anexo III Cuadro de análisis de CPD y CRTC

Anexo IV Cálculo Estructural

Anexo V Análisis Técnico y Económico

Anexo VI Especificaciones Técnicas

Anexo VII Planos