

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO.SS.**



**“EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA  
QUEBRADA EL MONTE DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

Realizado por:

**ALEJANDRO REY TERRAZAS GALARZA**

Gestión 2011

**TARIJA-BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO.SS.**

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA  
QUEBRADA EL MONTE DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

Realizado por:

**ALEJANDRO REY TERRAZAS GALARZA**

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502**

**Gestión académica II/S 2011**

**TARIJA – BOLIVIA**

## HOJA DE EVALUACIÓN

### EVALUACIÓN CONTINUA:

Fecha de presentación: .....

Calificación numeral: .....

Calificación literal: .....

.....  
Ing. Juan Carlos Loza Vélez

Docente de la materia

### EVALUACIÓN FINAL:

Fecha de presentación y defensa: .....

Calificación numeral: .....

Calificación literal: .....

**VºBº**

-----  
Ing. Juan Carlos Loza Vélez  
DOCENTE DE LA MATERIA

-----  
Ing. Luis A. Yurquina  
DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

-----  
Lic. Gustavo Succi  
VICEDECANO FACULTAD  
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

-----  
Ing. Gloria Isla

-----  
Ing. Jaime Zenteno

-----  
Ing. Oscar Ricaldi



El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme dado la vida.

A mi abuela Mercedes por ser mi ejemplo de lucha incansable.

A mis queridos padres: Julio y Elvira, por el apoyo brindado durante mi vida.

A mis tíos, por la motivación de toda la vida.

A mi hermano Rodrigo y primos, por estar siempre conmigo en todos los momentos.

A todos los docentes que me brindaron sus conocimientos en toda mi carrera.



## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado con todo mi cariño a Dios, por haberme dado tantos regalos entre ellos a mis padres: Julio, Elvira y mi hermano Rodrigo.

Y en especial a mi tío José.

# ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
	Página
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Información sobre la situación actual	2
1.3. Alcance y limitaciones del presente estudio	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>HIDROLOGÍA</b>	6
2.1. Generalidades	6
2.2. Definiciones de la hidrología	6
2.3. El ciclo hidrológico	6
2.3.1. Descripción cualitativa	6
2.3.2. Descripción cuantitativa	7
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>HIDRÁULICA FLUVIAL</b>	9
3.1. Introducción	9
3.2. Hidráulica en canales	9
3.3. Conceptos de hidráulica de canales abiertos	9
3.3.1. Tipos de flujo	9
3.3.2. Distribución de velocidades	10
3.3.3. Rugosidad del canal	10
3.3.4. El flujo gradualmente variado	13

3.3.4.1. Fundamento teórico	13
3.3.4.2. Ecuación dinámica del flujo gradualmente variado	13
3.3.4.3. Tipos de perfil de flujo	17
3.4. Cálculo del perfil de flujo	18
3.4.1. Método directo por pasos	18
3.4.2. Procedimiento de cálculo	20

## **CAPÍTULO 4**

### **INUNDACIONES**

4.1. Zonas inundables	21
4.2. Riesgos	22
4.2.1. Amenazas	22
4.2.2. Vulnerabilidades	22
4.3. Descripción del fenómeno: tipología y formas de manifestación.	22
4.3.1. Según su duración	23
4.3.1.1. Inundaciones rápidas o dinámicas	23
4.3.1.2. Inundaciones lentas o estáticas	23
4.3.2. Según el mecanismo de generación	23
4.3.2.1. Inundaciones pluviales	23
4.3.2.2. Inundaciones fluviales	24
4.3.2.3. Inundaciones por rotura	24
4.4. Criterios recomendados para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o período de retorno de la inundación	25
4.5. Leyenda recomendada para la elaboración de mapas de riesgos de inundación	26

## **CAPÍTULO 5**

### **ESTUDIO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA**

5.1. Microlocalización	27
5.2. Elementos básicos	29
5.2.1. Agua	29
5.2.2. Suelo	29

5.2.3. Clima	33
5.2.4. Hidrografía	33
5.2.5. Vegetación	34
5.2.5. Fauna	34
5.2.7. Población y principales comunidades	34
5.3. Características físicas de la cuenca	35
5.3.1 Área	35
5.3.2. Perímetro	35
5.4. Parámetros geomorfológicos de la cuenca	35
5.4.1. Parámetros de forma	36
5.4.1.1. Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius	36
5.4.1.2. Rectángulo equivalente	37
5.4.2. Otros parámetros asociados a la cuenca	37
5.4.2.1. Ancho promedio	37
5.4.2.2. Longitud axial de la cuenca	37
5.4.3. Parámetros de relieve	38
5.4.3.1. Pendiente de los cauces	38
5.4.3.2. Pendiente de la cuenca	40
5.4.3.3. Relación área-elevación	41
5.4.3.3.1. Curva hipsométrica	42
5.4.3.3.2. Polígono de frecuencias	43
5.4.4. Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	44
5.4.4.1. Longitud mayor del río o longitud del río principal	44
5.4.4.2. Número de orden de un cauce	45
5.4.4.3. Densidad de drenaje	45
<b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES MÁXIMOS</b>	47
6.1. Periodos de retorno	47
6.2. Tiempo de concentración	48
6.3. Tormenta de diseño	50

6.3.1. Introducción	50
6.3.2. Recopilación y procesamiento de datos de lluvia	50
6.4. Curvas precipitación-duración-frecuencia	51
6.5. Estimación de los caudales de avenida	54
6.5.1. Generalidades	54
6.5.2. Software Hec-Hms	54
6.5.2.1. Aplicación del programa Hec-Hms	56
6.6. Resultados	58

## **CAPÍTULO 7**

<b>ESTUDIO DE LA QUEBRADA</b>	59
7.1. Inspección de campo	59
7.1.1. Basura en la quebrada	59
7.2. Topografía	62
7.3. Software HEC-RAS	63
7.4. Características de la quebrada	64
7.5. Resultados de la simulación hidráulica por HEC-RAS	65

## **CAPÍTULO 8**

<b>DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO</b>	66
8.1. Información histórica	66
8.1.1. Informe sobre desastres	67
8.2. Planteamiento del problema	68
8.3. Zonas sometidas a riesgo	70
8.3.1. Generalidades	70
8.4. Elaboración de las curvas de riesgo	71
8.4.1. Descripción general	71
8.4.2. La zona de exclusión	71
8.5. Zonas e instalaciones en las zonas de exclusión y riesgo	73
8.6. Estimación de daños potenciales	74
8.7. Propuesta de solución	75

8.7.1. Resultados	76
-------------------	----

## **CAPÍTULO 9**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	98
---------------------------------------	----

9.1. Conclusiones	98
-------------------	----

9.2. Recomendaciones	100
----------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	101
---------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

### **CAPÍTULO 2 - HIDROLOGÍA**

Figura 2.1. Ciclo hidrológico en forma esquemática	7
Figura 2.2. Distribución del agua de la tierra	8

### **CAPÍTULO 3 - HIDRÁULICA FLUVIAL**

Figura 3.1. Deducción de la ecuación de flujo gradualmente variado	13
Figura 3.2. Tramo del canal para la deducción de los métodos de paso	18

### **CAPÍTULO 5 – ESTUDIO DE LA CUENCA**

Figura 5.1. Localización de la subcuenca El Monte en la cuenca del río Guadalquivir	28
Figura 5.2. Mapa de textura del suelo de la cuenca “El Monte”	32
Figura 5.3. Método de un tramo para la estimación de la pendiente de un cauce	38
Figura 5.4. Método de pendientes compensadas de la pendiente de un cauce	39
Figura 5.5. Perfil del río de la cuenca de la quebrada El Monte	40
Figura 5.6. Representación esquemática de las relaciones área-elevación de una cuenca	41
Figura 5.7. Curva hipsométrica	43
Figura 5.8. Polígono de frecuencias	44
Figura 5.9. Esquema de definición para el número de orden de un río	45

### **CAPÍTULO 6 – DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS**

Figura 6.1. Curva P-D-F para la estación “El Tejar” para un T = 10 años.	51
Figura 6.2. Curva P-D-F para la estación “El Tejar” para un T = 100 años.	52
Figura 6.3. Curva P-D-F para la estación “El Tejar” para un T = 200 años.	52
Figura 6.4. Curva P-D-F para la estación “El Tejar” para un T = 500 años.	53
Figura 6.5. Curva P-D-F para la estación “El Tejar” para un T = 1000 años.	53

## **CAPÍTULO 7 - ESTUDIO DE LA QUEBRADA**

Figura 7.1. Basura en la quebrada El Monte de la ciudad de Tarija	60
Figura 7.2. Croquis de la topografía en el tramo de estudio de la quebrada El Monte	62
Figura 7.3. Gráfica granulométrica de la muestra del suelo	65

## **CAPÍTULO 8 - DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO**

Figura 8.1. Crecida extraordinaria en la quebrada del Monte	66
Figura 8.2. Inundación en la Avenida Los Membrillos	67
Figura 8.3. Situación actual de la quebrada El Monte en el tramo de estudio	77
Figura 8.4. Situación actual con la avenida de $176.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ( $T = 100$ años), de la quebrada El Monte en el tramo de estudio	78
Figura 8.5. Situación con proyecto de la quebrada El Monte en el tramo de estudio	79
Figura 8.6. Situación con proyecto y la avenida de $176.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ( $T = 100$ años), de la quebrada El Monte en el tramo de estudio	80



<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO 2 - HIDROLOGÍA</b>	
Tabla 2.1 Medidas cuantitativas del agua en el planeta	8
<b>CAPÍTULO 3 - HIDRÁULICA FLUVIAL</b>	
Tabla 3.1 Valores del coeficiente de rugosidad de n en excavado y dragado	11
Tabla 3.2 Valores del coeficiente de rugosidad de n en corrientes naturales	12
<b>CAPÍTULO 4 - INUNDACIONES</b>	
Tabla 4.1. Categorías de los periodos de retorno en inundaciones	25
Tabla 4.2. Leyenda recomendada para la elaboración de mapas de riesgos de inundación	26
<b>CAPÍTULO 5 - ESTUDIO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA</b>	
Tabla 5.1. Símbolos en el mapa de textura de suelos	31
Tabla 5.2. Textura de suelos en la cuenca de la Quebrada El Monte	33
Tabla 5.3. Datos de la curva hipsométrica	42
Tabla 5.4. Relación entre la densidad de drenaje y las características del suelo de la cuenca.	46
Tabla 5.5. Clasificación de la densidad de drenaje	46
<b>CAPÍTULO 6 - DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS</b>	
Tabla 6.1. Periodos de retorno para drenaje de carreteras con circulación variable	47
Tabla 6.2. Periodos de retorno para puentes y alcantarrillados	47
Tabla 6.3. Periodos de retorno para áreas que serán protegidas	48
Tabla 6.4. Periodos de retorno para embalses	48
Tabla 6.5. Datos de entrada para el cálculo del tiempo de concentración	48
Tabla 6.6. Características de la estación Pluviométrica “El Tejar”.	50
Tabla 6.7. Resumen de los resultados de caudales máximos	58

## **CAPÍTULO 7 - ESTUDIO DE LA QUEBRADA**

Tabla 7.1. Granulometría de la quebrada El Monte 64

Tabla 7.2. Clasificación de la muestra de la quebrada El Monte 65

## **CAPÍTULO 8 - DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO**

Tabla 8.1. Zonas aledañas y su clasificación en zonas de exclusión y riesgo 74

Tabla 8.2. Áreas inundadas en zonas de exclusión y riesgo 74

Tabla 8.3. Resultados de HEC-RAS en situación actual y ampliando las secciones transversales 81

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

### **ANEXO A. Textos**

- A.1. El Tejar (lluvias máximas en 24 horas)
- A.2. Sistema de simulación hidrológica
- A.3. Modelo del número de curva
- A.4. Aplicación del programa HEC-HMS
- A.5. Aplicación del programa HEC-RAS
- A.6. Encuesta

### **ANEXO B. Fotografías**

- B.1. Fotografías de crecidas ocurridas en la Qda El Monte

### **ANEXO C. Planos de Proyecto**

- Lámina N° 1 - Cuenca hidrográfica
- Lámina N° 2 - Datos de las secciones transversales de la Qda El Monte
- Lámina N° 3 - Resultados de la simulación hidráulica HEC-RAS
- Lámina N° 4 - Comparación de resultados gráficos HEC-RAS
- Lámina N° 5 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 10 años
- Lámina N° 6 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 100 años
- Lámina N° 7 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 200 años
- Lámina N° 8 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 500 años
- Lámina N° 9 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 1000 años
- Lámina N° 10 - Puentes HEC-RAS
- Lámina N° 11 - Envolventes de riesgo de inundación
- Lámina N° 12 - Instalaciones críticas