

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS



**“OBRAS DE PROTECCIÓN FLUVIAL DE LA QUEBRADA DE
HUAYCO GRANDE, ANÁLISIS DE ZONAS DE INUNDACIÓN”**

Por:

PABLO ALEJANDRO GIRÓN JURADO

SEMESTRE II - 2019

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS

**“OBRAS DE PROTECCIÓN FLUVIAL DE LA QUEBRADA DE
HUAYCO GRANDE, ANÁLISIS DE ZONAS DE INUNDACIÓN”**

Por:

PABLO ALEJANDRO GIRÓN JURADO

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

Msc. Ing. Ernesto Alvarez

Gozalvez.

DECANO

FACULTAD DE CIENCIAS Y

TECNOLOGÍA.

Msc. Lic. Elizabeth Castro

Figueroa

VICEDECANA

FACULTAD DE CIENCIAS Y

TECNOLOGIA

TRIBUNAL:

Msc. Ing. Henry Monzón de los Ríos

Msc. Ing. Jaime Orlando Zenteno Benítez

Msc. Ing. Oscar Ricaldi

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

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Eurania e Ismael quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Esteban y Fernanda por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi abuela Roberta, por cobijarme en sus brazos en los momentos más difíciles y saber que hasta el día de hoy siento todo su amor, que lo llevo en lo más profundo de mi corazón, ¡Muchas gracias viejita!

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 TÍTULO DEL PROYECTO	1
1.2 PLANTEAMIENTO.....	1
1.2.1 Descripción del proyecto	1
1.2.2 Planteamiento del problema	3
1.2.3 Formulación del problema.....	3
1.2.4 Objetivos	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.3.1 Justificación académica	4
1.3.2 Justificación técnica.....	5
1.3.3 Justificación social.....	5
1.3.4 Justificación institucional	5
1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES.....	5
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 INTRODUCCIÓN A LAS INUNDACIONES.....	7
2.1.1 Medidas estructurales	8
2.1.2 Clasificación del tipo de obra	8
2.1.3 Tiempo de retorno	10
2.2 HIDROLOGÍA	11
2.2.1 La cuenca hidrográfica.....	11
2.2.2 Tormenta de diseño	13
2.3 RELACIÓN LLUVIA - ESCORRENTÍA	15
2.3.1 Método racional modificado	15

2.3.2	<i>Hidrograma</i>	18
2.3.3	<i>Método Numero de Curva</i>	22
2.4	MODELACIÓN HIDRÁULICA	26
2.4.1	<i>Introducción</i>	26
2.4.2	<i>Parámetros HEC–RAS para modelación unidimensionales</i>	26
2.4.3	<i>Limitaciones para el modelado en unidimensional</i>	41
2.5	LA SOCAVACIÓN	42
2.5.1	<i>Fórmula planteada por los autores Lischtván–Lebediev</i>	45
2.5.2	<i>Fórmula planteada por el autor Lacey</i>	48
2.5.3	<i>Fórmula planteada por el autor Straub</i>	49
2.5.4	<i>Fórmula planteada por el autor Laursen</i>	49
2.5.5	<i>Fórmula planteada por el autor Blench</i>	51
2.6	GAVIONES TIPO CAJA	52
2.6.1	<i>Dimensiones</i>	53
2.6.2	<i>Fuerzas que interactúan</i>	53
2.6.3	<i>Empuje</i>	54
2.6.4	<i>Estructuras parcialmente sumergidas</i>	55
2.7	ESTRUCTURAS ANTISOCAVANTES: COLCHONETAS.....	56
2.7.1	<i>Dimensiones</i>	57
2.8	GEOTEXILES.....	62
2.9	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	63
2.10	CÓMPUTOS MÉTRICOS	63
2.11	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	64
2.12	ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO	65

2.12.1	<i>El valor Actual Neto</i>	65
2.12.2	<i>La Tasa interna de rendimiento (TIR)</i>	67
2.12.3	<i>El cálculo de la tasa de descuento</i>	68
2.12.4	<i>Razón Beneficio / Costo (B/C)</i>	69
CAPÍTULO III – METODOLOGÍA		70
3.1	PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN.....	70
3.1.1	<i>Trabajo en campo</i>	70
3.1.2	<i>Trabajo en Gabinete</i>	72
3.1.3	<i>Hidrología</i>	73
3.1.4	<i>Tiempo de concentración de la cuenca</i>	73
3.1.5	<i>Tormenta de diseño</i>	73
3.1.6	<i>Cálculo de Caudales</i>	75
3.1.7	<i>Modelamiento hidráulico</i>	79
3.1.8	<i>Resultados de la modelación</i>	85
3.2	MODELACIÓN CON OBRAS DE ESTRUCTURALES.....	85
3.2.1	<i>Primera iteración</i>	85
3.2.2	<i>Segunda y tercera iteración</i>	86
3.2.3	<i>Cálculo de socavación</i>	87
3.2.4	<i>Calculo estructural</i>	87
3.2.5	<i>Diseño del colchón</i>	90
3.2.6	<i>Diseño de geotextiles</i>	91
3.2.7	<i>Cómputos métricos</i>	92
3.2.8	<i>Análisis de precios unitarios</i>	93
3.2.9	<i>Costos</i>	93

3.2.10 <i>Evaluación Económica-Financiera</i>	93
CAPÍTULO IV – APLICACIÓN PRÁCTICA	94
4.1 DATOS GEOMÉTRICOS.....	94
4.2 HIDROLOGÍA	96
4.2.1 <i>Tiempo de concentración de la cuenca</i>	96
4.2.2 <i>Tormenta de diseño, método Gumbel</i>	96
4.3 CÁLCULO DE CAUDALES	98
4.3.1 <i>Método Racional</i>	98
4.3.2 <i>Hidrograma triangular</i>	98
4.3.3 <i>Método número de curva</i>	100
4.3.4 <i>Análisis de resultados: Caudal de diseño</i>	102
4.4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO.....	103
4.5 CÁLCULO DE SOCAVACIÓN.....	108
4.6 CÁLCULO ESTRUCTURAL.....	109
4.6.1 <i>Diseño de Colchonetas</i>	110
4.7 CÓMPUTOS MÉTRICOS	111
4.8 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	111
4.9 COSTOS	112
4.10 EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA	112
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116

Anexos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localización del departamento de Tarija.....	1
Figura 1.2 – Mapa del departamento de Tarija.	2
Figura 2.1 – Inundaciones por lluvias en Bolivia.	7
Figura 2.2 – Presa Rompe picos, Santa Catarina, México.	8
Figura 2.3 - Canalización de cursos de agua en La Paz, Bolivia.	9
Figura 2.4 – Bordo perimetral en el rio San Francisco, Salta, Argentina.	9
Figura 2.5 – Hidrograma unitario sintético (forma triangular)	19
Figura 2.6 – Energía en las secciones 1 y 2.	27
Figura 2.7 – Método de subdivisión de transporte predeterminado.....	29
Figura 2.8 – Ejemplo de cálculo de n_c compuesto.	29
Figura 2.9 – Obtención de energía media de la sección en análisis.....	30
Figura 2.10 – Energía específica en canales abiertos.....	36
Figura 2.11 – Aplicación del método de momento.	38
Figura 2.12 – Efecto de socavación en un muro de gavión.	43
Figura 2.13 – Velocidad de caída (w) para partículas de arena.	51
Figura 2.14 – Colocado de gaviones tipo cajón en márgenes de ríos y quebradas.	52
Figura 2.15 – Esquema de fuerzas que interactúan sobre la estructura.	53
Figura 2.16 – Esquema de colchones.....	56
Figura 2.17 – Velocidad crítica en función de las dimensiones de las piedras.	58
Figura 2.18 – Colapso de colchonetas.....	60
Figura 2.19 – Velocidad máxima admisible por debajo del colchón.....	61
Figura 2.20 – Geosintéticos en base de colchonetas.	62
Figura 3.1 – Esquema de metodología.	70

Figura 3.2 – Levantamiento a detalle con equipo topográfico.....	71
Figura 3.3 – Ensayo de suelos en la quebrada de Huayco Grande.	71
Figura 3.4 – Barra de herramientas AutoCAD Civil 3D.....	72
Figura 3.5 – Exportar datos a HEC RAS.	72
Figura 3.6 – Ubicación de estaciones climatológicas cercanas al área de estudio.....	73
Figura 3.7 – Interface programa HEC-HMS.....	79
Figura 3.8 – Icono del programa HEC RAS 5.0.3.	79
Figura 3.9 – Pantalla de inicio del Hec–Ras 5.0.3.	80
Figura 3.10 – Creación de nuevo proyecto en Her–Ras.....	80
Figura 3.11 – Topografía de la quebrada, importada al Hec–Ras.....	81
Figura 3.12 – Tabla de coeficiente de Manning adoptados.	82
Figura 3.13 – Pantalla de edición de secciones transversales.	82
Figura 3.14 – Edit/Steady flow data.....	83
Figura 3.15 – Steady Flow Boundary Conditions.....	83
Figura 3.16 – Steady Flow Analysis.	84
Figura 3.17 – Ventana de simulación de flujos.....	84
Figura 3.18 – Iconos de resultados.....	85
Figura 3.19 – Inserción de los “levels” en las secciones transversales.	86
Figura 3.20 – Adecuación de la sección topografía progresiva 0+400.	86
Figura 3.21 – Primera hipótesis de carga al muro de gavión.	88
Figura 3.22 – Segunda hipótesis de carga al muro de gavión.	88
Figura 3.23 – Tercera hipótesis de carga al muro de gavión.	89
Figura 3.24 – Geotextiles no tejidos en sistema de drenaje en torrentera.....	91
Figura 4.1 – Delimitación de la cuenca.	94

Figura 4.2 – Curva granulométrica pozo de muestreo 1 y 2.....	95
Figura 4.3 – Precipitación vs Duración.....	97
Figura 4.4 – Hietograma de entrada para un T = 25 años.....	98
Figura 4.5 – Hidrograma triangular para una precipitación equivalente a 10 min.	99
Figura 4.6 – Hidrograma resultante para un periodo de retorno igual a 25 años.....	99
Figura 4.7 – Delimitación de los usos y tipo de suelo.....	100
Figura 4.8 – Hidrograma resultante, HEC HMS.....	102
Figura 4.9 – Simulación de flujo de la progresiva 0+840 a 0+610.....	104
Figura 4.10 – Simulación de flujo de la progresiva 0+500 a 0+210.....	104
Figura 4.11 – Simulación de flujo de la progresiva 0+270 a 0+010.....	105
Figura 4.12 – Vista satelital área de inundación, T = 25 años.....	105
Figura 4.13 – Vista satelital área de inundación, T = 50 años.....	106
Figura 4.14 – Vista satelital área de inundación, T = 500 años.....	106
Figura 4.15 – Vista en XYZ del sector 1 donde se generaban inundaciones.....	107
Figura 4.16 – Vista en XYZ del sector 2 donde se generaban inundaciones.....	107
Figura 4.17 – Vista en XYZ del sector 3 donde se generaban inundaciones.....	108
Figura 4.18 – Dimensiones de colchonetas de gavión.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 – Clasificación de las obras de protección contra inundaciones.	10
Tabla 2.2 – Periodos de retorno sugeridos en obras hidráulicas.	11
Tabla 2.3 – Coeficientes de escurrimiento.	16
Tabla 2.4 – Valores de C_1 en función del relieve para $T=10$ años.	16
Tabla 2.5 – Valores de C_2 en función de la infiltración, $T=10$ años.	17
Tabla 2.6 – Valores de C_3 en función de la cobertura vegetal, $T=10$ años.	17
Tabla 2.7 – Valores del C_4 en función del almacenamiento superficial, $T=10$ años.	17
Tabla 2.8 – Número de curva para condiciones medias de humedad.	24
Tabla 2.9 – Valores de coeficiente de contracción y expansión para flojo subcrítico.	33
Tabla 2.10 – Coeficiente β en función de la probabilidad %.	47
Tabla 2.11 – Coeficiente x en función del tamaño de sedimento	47
Tabla 2.12 – Valores del coeficiente k_1	50
Tabla 2.13 – Dimensiones de gaviones caja con diafragmas.	53
Tabla 3.1 – Tabla para el cálculo de H_{pe}	77
Tabla 4.1 – Características de los sondeos S.P.T. y tipos de suelo.	95
Tabla 4.2 – Capacidad portante en relación a N del ensayo de penetración normal.	96
Tabla 4.3 – Tiempo de concentración de la Cuenca.	96
Tabla 4.4 – Altura de precipitación máxima para diferentes periodos de retorno.	96
Tabla 4.5 – Altura de precipitación máxima (mm).	97
Tabla 4.6 – Alturas de precipitación.	98
Tabla 4.7 – Caudales generados por el método racional.	98
Tabla 4.8 – Caudales máximos, método Hidrograma triangular.	100
Tabla 4.9 – Tipo y uso de suelo para diferentes sectores de la cuenta.	101

Tabla 4.10 – Ponderación del número de curva.....	101
Tabla 4.11 – Potencial máximo.....	101
Tabla 4.12 – Absorción inicial.....	101
Tabla 4.13 – Caudales máximos, HEC-HMS.	102
Tabla 4.14 – Resumen de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.....	103
Tabla 4.15 – Caudales para modelación hidráulica.	103
Tabla 4.16 – Resumen de detalles de alturas de defensivos adoptados.	108
Tabla 4.17 – Resumen de profundidad de socavación.....	109
Tabla 4.18 – Factor de seguridad contra deslizamiento y vuelco.	109
Tabla 4.19 – Factor de seguridad contra deslizamiento y vuelco.	109
Tabla 4.20 – Esfuerzos en la estructura del tipo 1.	109
Tabla 4.21 – Esfuerzos en la estructura del tipo 2.	110
Tabla 4.22 – Cómputos métricos.	111
Tabla 4.23 – Precios unitarios.....	112
Tabla 4.24 – Presupuesto del proyecto.	112