

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS.



**“DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LAS FALLAS EN EL ALIVIADERO DE
LA PRESA “LA HONDURA” Y SUS POSIBLES SOLUCIONES.”**

Por:

EVER EDILIO GONZALES ORTEGA

Semestre II/2016

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS.



**“DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LAS FALLAS EN EL ALIVIADERO DE
LA PRESA “LA HONDURA” Y SUS POSIBLES SOLUCIONES.”**

Por:

EVER EDILIO GONZALES ORTEGA

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/2016

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO.

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS.

**“DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LAS FALLAS EN EL ALIVIADERO DE
LA PRESA “LA HONDURA” Y SUS POSIBLES SOLUCIONES.”**

Por:

EVER EDILIO GONZALES ORTEGA

Proyecto elaborado en la asignatura CIV – 502.

Proyecto de Ingeniería Civil II.

Semestre II/2016

TARIJA-BOLIVIA.

V°B° Ing. Juan Carlos Loza Veléz.

DOCENTE CIV-502

Msc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez.

DECANO FACULTAD

DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.

Msc. Ing. Silvana Paz Ramirez.

VICEDECANA FACULTAD

DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.

TRIBUNAL:

Ing. Ivar Colodro Mendivil.

TRIBUNAL 1

Ing. Jaime Zenteno Benítez.

TRIBUNAL 2

Ing. Henry Monzón de los Ríos.

TRIBUNAL 3

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

DEDICATORIA

A mi abuelita Alejandra que en paz descansa, tú que siempre diste todo de ti para sacar adelante a tus hijos, sé que te hubiera gustado verme y darme un gran abrazo de felicitación, ahora lo haces desde el cielo como un ángel más que Dios puso para mí, a mis padres que me dieron siempre su apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mis padres, por haberme dado siempre un buen ejemplo, por todo su apoyo incondicional, por todos los valores inculcados que me sirvieron de mucho para afrontar esta etapa de la educación superior, gracias a ustedes pude cumplir este gran sueño y meta que me propuse en mi vida, a mis hermanos, a todos los docentes de la carrera que me brindaron sus conocimientos y enseñanzas, al Ingeniero Moisés Perales quien me apoyo en esta última etapa, agradecerle por sus consejos, por su motivación, por su predisposición de compartir todo su conocimiento y experiencia laboral, a mis compañeros y amigos que forme en la carrera y a todas aquellas personas que de alguna manera fueron un apoyo para yo poder cumplir esta meta.

PENSAMIENTO:

Eres capaz de mucho más
de lo que estás pensando,
imaginando o haciendo
ahora.

Myles Munroe

CONTENIDO

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 Selección y definición del tema del proyecto.....	1
1.1.1 Título del proyecto.....	1
1.1.2. Información general de la zona de proyecto.....	1
1.2 El problema de la investigación.....	1
1.2.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2.2 Formulación del problema.....	2
1.2.3 Sistematización del problema.....	3
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4.1 Justificación Académica.....	4
1.4.2 Justificación Técnica.....	4
1.4.3 Justificación Social.....	4
1.4.4 Justificación Institucional.....	5
1.5 MARCO DE REFERENCIA.....	5
1.5.1 Teórico.....	5
1.5.2 Conceptual.....	8
1.5.3 Espacial.....	9
1.5.4 Temporal.....	10
1.6. ALCANCE.....	10

CAPITULO 2 DIAGNÓSTICO TECNICO

2.1 Datos generales de la presa La Hondura.....	12
2.1.1 Ubicación geográfica.....	12
2.1.1.1 Latitud y longitud.....	13
2.1.1.2 Límites territoriales.....	14
2.2 Antecedentes.....	14
2.2.1 Cuerpo de la presa.....	14
2.2.2 Vertedor de excedencias.....	15
2.2.3 Obra de toma.....	18
2.2.4 Vaso de almacenamiento.....	18
2.3 Ficha de la presa La Hondura.....	19
2.3.1 Ubicación.....	19
2.3.2 Datos Generales.....	20
2.3.2.1 Datos Técnicos del Embalse y de la Cuenca.....	20
2.3.2.2 Datos Técnicos de la Presa.....	20
2.3.2.3 Datos Técnicos de la Obra de Excedencia.....	20
2.3.2.4 Datos sobre Sistema de Monitoreo.....	21
2.3.2.5 Datos de Diseño y Construcción.....	21
2.4 Problemas identificados en el aliviadero de excedencias.....	21

CAPITULO 3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

3.1 Análisis hidrológico.....	24
-------------------------------	----

3.1.1 Caracterización morfológica de la cuenca.....	24
3.1.2 Definición de cuenca hidrográfica.....	24
3.1.3 Tiempo de concentración.....	24
3.1.3.1 Validación del tiempo de concentración.....	27
3.1.4 Tormenta de proyecto.....	28
3.1.4.1 Definición de tormenta de proyecto.....	28
3.1.4.2 Tormentas de proyecto a considerar.....	29
3.1.4.3 Variables de la tormenta de proyecto.....	29
3.1.4.4 Precipitación.....	29
3.1.4.5 Ajuste de registros de precipitación.....	30
3.1.4.6 Análisis estadístico de las tormentas.....	30
3.1.4.7 Uso de modelos probabilísticos.....	31
3.1.5 Exceso de precipitación y escorrentía directa.....	31
3.1.5.1 Método SCS para abstracciones.....	32
3.1.5.2 Coeficiente de escorrentía.....	35
3.1.6 Transformación lluvia a escorrentía.....	36
3.1.6.1 La fórmula racional.....	36
3.1.6.2 Hidrograma unitario.....	37
3.1.7 Determinación de la tormenta de diseño.....	39
3.1.7.1 Elementos fundamentales del análisis de las tormentas.....	39
3.1.7.2 Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia.....	41
3.1.7.3 Hietograma de diseño.....	42
3.1.7.4 Precipitación máxima probable.....	44

3.2.7 Flujo en canales con alineamiento no lineal.....	75
3.2.7.1 Pérdida de energía.....	76
3.2.7.2 Sobreelevación.....	78
3.2.7.3 Consideraciones de diseño para flujo supercrítico.....	80

CAPITULO 4. INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1 Introducción.....	83
4.2 Análisis hidrológico.....	83
4.2.1 Características de la cuenca.....	83
4.2.1.1 Propiedades geométricas.....	83
4.2.1.2 Propiedades morfométricas.....	85
4.2.1.3 Propiedades de relieve.	87
4.2.1.4 Tiempo de concentración.....	89
4.2.1.4 Validación del tiempo de concentración.....	90
4.2.2 Información meteorológica del SENAMHI.....	92
4.2.3 Análisis de consistencia de la información.	93
4.2.3 Precipitación máxima.....	96
4.2.3.1 Parámetros estadísticos.....	96
4.2.3.2 Distribución de probabilidad.....	97
4.2.3.3 Precipitación Máxima Probable.	98
4.2.3.4 Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia para la cuenca.....	101
4.2.3.5 Hietogramas de diseño.....	103
4.2.4 Caudal máximo.	106

4.2.4.1	Obtención del número de curva SCS.....	106
4.2.4.2	Método del hidrograma unitario SCS.....	107
4.2.4.3	Método del hidrograma unitario de Clark.	109
4.2.4.4	Método racional.....	110
4.2.4.4	Resumen de caudales máximos de los tres métodos utilizados.....	112
4.2.5	Laminación de crecidas.....	112
4.2.5.1	Método puls modificado.	113
4.2.5.2	Método piscina nivelada.....	115
4.2.5.3	Resumen de los dos métodos utilizados.	115
4.3	Análisis hidráulico.....	117
4.3.1	Periodos de retorno escogidos para la avenida de proyecto y avenida extrema.	117
4.3.2	Análisis hidráulico para avenida de proyecto T=500 años.....	118
4.3.2.1	Sección de control.....	118
4.3.2.2	Transición.....	121
4.3.2.3	Rápida.....	124
4.3.2.4	Modelación de la transición y la rápida con HEC-RAS.....	126
4.3.2.4	Curva.....	128
4.3.2.5	Caídas escalonadas.....	130
4.3.2.6	Salida del aliviadero.....	133
4.3.3	Análisis hidráulico para avenida extrema T=5000 años.....	133
4.3.3.1	Sección de control.....	133
4.3.3.2	Transición.....	135
4.3.3.3	Rápida.....	136

4.3.3.4 Modelación de la transición y la rápida con HEC-RAS.....	138
4.3.3.4 Curva.....	139
4.3.3.4.1 Calculo de la sobreelevación (Δy).....	140
4.3.3.5 Caídas escalonadas.....	140
4.3.3.6 Salida del aliviadero.....	143
4.4 Soluciones hidráulicas planteadas.....	144
4.4.1 Rugosidad artificial intensificada en la rápida.....	144
4.4.1.1 Condiciones de flujo en la rápida sin rugosidad artificial.....	144
4.4.1.2 Obtención de la rugosidad artificial.....	146
4.4.2 Elevación de los muros.....	150
4.4.3 Estructura de disipación de energía.....	153
4.4.3.1 Verificación de los resultados obtenidos por el software.....	156
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1 Introducción.....	163
5.2 Del estudio hidrológico.....	163
5.2.1 Parámetros geométricos de la cuenca.....	163
5.2.2 Tiempo de concentración.....	164
5.2.3 Número de curva.....	165
5.2.4 Información meteorológica empleada.....	165
5.2.5 Precipitación máxima probable.....	166
5.2.6 Validación de la tormenta proyecto.....	167
5.2.7 Caudales máximos.....	169

5.2.8 Laminación.....	170
5.3 Del estudio hidráulico.....	170
5.3.1 Periodos de retorno para las avenidas estudiadas.....	171
5.3.2 Sección vertedora.....	171
5.3.2.1 Altura de los muros en la sección vertedora.....	173
5.3.3 Validación del caudal obtenido en la avenida de proyecto.....	173
5.3.4 Transición.....	175
5.3.5 Rápida.....	176
5.3.6 Curva o alineamiento no lineal.....	177
5.3.6.1 Rugosidad artificial intensificada en la rápida.....	179
5.3.6.2 Sobreelevación de los muros.....	180
5.3.6.3 Caídas escalonadas.....	181
5.3.6.4 Salida del aliviadero.....	181

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	183
RECOMENDACIONES.....	187
BIBLIOGRAFIA	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de la presa La Hondura.....	13
Figura 2.2 Geometría del cuerpo de la presa	14
Figura 2.3 Talud aguas arriba de la presa.....	15
Figura 2.4 Componentes del aliviadero de excedencias.....	16
Figura 2.5 Sobreelevación de los muros laterales.....	17
Figura 2.6 Obra de toma.....	18
Figura 2.7 Vista del vaso de almacenamiento.....	19
Figura 3.1 Variables para el método SCS para abstracciones.	32
Figura 3.2 Hidrograma Unitario.....	38
Figura 3.3 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	42
Figura 3.4 Hietograma de diseño, método Bloques Alternos.	43
Figura 3.5 Partes de un aliviadero.....	47
Figura 3.6 Vertedero en Abanico.....	50
Figura 3.7 Partes de un aliviadero de Abanico.....	51
Figura 3.8 Parámetros que definen el trazado del perfil vertedor.	53
Figura 3.9 Dimensiones en planta.	54
Figura 3.10 Altura de paramento aguas abajo.	55
Figura 3.11 Nomograma para encontrar P1.	56
Figura 3.12 Partes de una transición.	57
Figura 3.13 Perfil longitudinal de la rápida.	60
Figura 3.14 Esquema de rugosidad intensificada Artificial.	62
Figura 3.15 Distribución de aire atrapado en el flujo.	65

Figura 3.16 Posición del salto hidráulico.	70
Figura 3.17 Accesorios del estanque amortiguador.....	72
Figura 3.18 Dimensiones de accesorios Estanque tipo II.....	73
Figura 3.19 Estanque Tipo II.....	75
Figura 3.20 Línea de energía y perfil del flujo a lo largo de una curva.	77
Figura 3.21 Líneas de velocidades hacia adelante en el flujo a lo largo de una curva de 180 °.....	78
Figura 3.22 Planta de instalación de obstáculos en canal curvo.	82
Figura 4.1 Esquema hidrológico utilizado en el HEC-HMS.....	108
Figura 4.2 Hidrograma de entrada y salida metodo Puls Modificado.....	114
Figura 5.3 Tabla de resultados.....	114
Figura 4.4 Sección de control.....	118
Figura 4.5 Dimensiones de la transición.....	121
Figura 4.6 Esquema grafico de conservación de energía para avenida de proyecto.....	124
Figura 4.7 Curva de remanso en la rápida para avenida de proyecto.	125
Figura 4.8 Dimensiones en planta de la curva.....	128
Figura 4.9 Caso de estudio en la curva.....	129
Figura 4.10 Dimensiones de las caídas escalonadas.	130
Figura 4.11 Perfil de flujo en las caídas escalonadas para avenida de proyecto.....	132
Figura 4.12 Curva de descarga de la sección vertedora para avenida extrema.....	134
Figura 4.13 Esquema grafico de conservación de energía para avenida de proyecto.....	136
Figura 4.14 Curva de remanso en la rápida para avenida extrema.	137

Figura 4.15 Perfil de flujo en las caídas escalonadas para avenida de extrema.....	142
Figura 4.16 A cerca de Rápidas V1.0.....	153
Figura 4.17 Datos en el programa Rápidas.	154
Figura 4.18 Planta y perfil transversal de la estructura.....	154
Figura 4.19 Dimensiones de los bloques.....	155
Figura 4.20 Verificación del funcionamiento.	155
Figura 4.21 Curva de remanso en la rampa.	158
Figura 5.1 Ubicación de la transición.....	175
Figura 5.2 Flujo en la transición.....	176
Figura 5.3 Flujo en la rápida.	177
Figura 5.4 Representación del flujo en la curva.	179
Figura 5.5 Elevación de los muros.	181
Figura 5.6 Estructura de disipación escogida.....	182

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Volúmenes característicos presa La Hondura.....	18
Tabla 2.2 Resumen de los problemas identificados en el aliviadero.....	23
Tabla 3.1 Velocidades promedio para calcular el tiempo de concentración.	27
Tabla 3.2 Velocidad en función de la pendiente del cauce.	28
Tabla 3.3 Velocidades para distintas pendientes del cauce principal.....	28
Tabla 3.4. Condiciones de Humedad para el cálculo de CN.....	33
Tabla 3.5 Número de curvas CN para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-cobertura para las cuencas en condiciones II (AMC II)	34
Tabla 3.6 Periodos de retorno recomendados según la categoría de la presa.....	40
Tabla 3.7 Coeficiente k de rugosidad artificial.	64
Tabla 4.1 Clasificación de afluentes según Horton.	86
Tabla 4.2 Estaciones meteorológicas empleadas.	92
Tabla 4.3 Parámetros Estadísticos de las Estaciones.....	97
Tabla 4.4 Resumen de la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov.....	97
Tabla 4.5 Precipitación máxima diaria para diferentes periodos de retorno.....	99
Tabla 4.6 Precipitación máxima horaria para diferentes periodos de retorno.	101
Tabla 4.7 Intensidades máximas para distintas duraciones y distintos periodo de tiempo.	102
Tabla 4.8 Valores de CN para la cuenca de la quebrada Pajchani.....	106
Tabla 4.9 Caudales máximos por el método SCS.....	108
Tabla 4.10 Caudales máximos por el método Clark.....	109
Tabla 4.11 Periodos de retorno adoptados.	118
Tabla 4.12 Valores de coeficientes de Manning para canales revestidos.	122

Tabla 4.13	Tabla de la curva de remanso para avenida de proyecto.	126
Tabla 4.14	Resultados HEC-RAS para avenida de proyecto.....	127
Tabla 4.15	Tabla comparativa de resultados para avenida de proyecto.....	128
Tabla 4.16	Eficiencia de las gradas para avenida de proyecto.....	131
Tabla 4.17	Tirantes en las caídas escalonadas para avenida de proyecto.....	132
Tabla 4.18	Tabla de la curva de remanso para avenida de proyecto.	137
Tabla 4.19	Resultados HEC-RAS para avenida de extrema.	138
Tabla 4.20	Tabla comparativa de resultados para avenida extrema.....	139
Tabla 4.21	Eficiencia de las gradas para avenida de extrema.	141
Tabla 4.22	Tirantes en las caídas escalonadas para avenida extrema.....	142
Tabla 4.23	Curva de remanso sin rugosidad artificial.....	145
Tabla 4.24	Curva de remanso aplicando rugosidad artificial intensificada.....	149
Tabla 4.25	Perfil del flujo en la curva.	151
Tabla 4.26	Perfil de los muros construidos.	151
Tabla 4.27	Perfil de los muros que evitarían el rebalse.	152
Tabla 4.28	Incremento de muro por encima del construido.....	152
Tabla 4.29	Perfil de la trayectoria.	156
Tabla 4.30	Tabla de curva de remanso en la rampa.....	158
Tabla 4.31	Altura del escalón de pozo.	159
Tabla 4.32	Tabla comparativa de estructura de disipación.	162
Tabla 5.1	Causas y soluciones de los problemas identificados.....	182

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 4.1 Perfil del cauce principal de la Cuenca Pajchani.....	88
Gráfica 4.2 Curva Hipsométrica de la Cuenca Pajchani.	89
Gráfica 4.3 Curva doble masa Canasmoro.	94
Gráfica 4.4 Curva doble masa Trancas.	94
Gráfica 4.5 Curva doble masa San Lorenzo.	95
Gráfica 4.6 Curva doble masa Tarija Cancha.	95
Gráfica 4.7 Curva doble masa Tomatas grande.	96
Gráfica 4.8 Curvas Precipitación-Duración-Frecuencia.....	101
Gráfica 4.9 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	103
Gráfica 4.10 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 5 años.....	103
Gráfica 4.11 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 10 años.....	104
Gráfica 4.12 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 50 años.....	104
Gráfica 4.13 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 100 años.....	104
Gráfica 4.14 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 500 años.....	105
Gráfica 4.15 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 1000 años.....	105
Gráfica 4.16 Hietograma de diseño pata un periodo de retorno= 5000 años.....	105
Gráfica 4.17 Hidrogramas de crecida generados por el método SCS.....	108
Gráfica 4.18 Hidrogramas de crecida generados por el método Clark.	109
Gráfica 4.19 Curva Altura-Volumen de vertimiento.....	113
Gráfica 4.20 Hidrograma de entrada y salida método piscina nivelada.....	115
Gráfica 4.21 Curva de descarga de la sección vertedora para avenida de proyecto....	120
Gráfica 4.22 Perfil de la trayectoria.....	157

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 2.1 Ubicación del departamento de Tarija.....	12
Mapa 2.2 Ubicación de la provincia Méndez.....	12
Mapa 2.3 Ubicación de la zona de proyecto.....	13

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. INFORMACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DE LAS ESTACIONES EMPLEADAS

ANEXO B. MEMORIA DE CÁLCULO

ANEXO B.1 CALIBRACIÓN DE LA ECUACIÓN DE INTENSIDAD

ANEXO B.2 ANALISIS HIDROLÓGICO

ANEXO B.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL AMBALSE

ANEXO B.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN HEC-HMS

ANEXO B.5 ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA AVENIDA DE PROYECTO

ANEXO B.6 ANALISIS HIDRAULICO PARA AVENIDA EXTREMA

ANEXO B.7 MODELACIÓN EN HEC-RAS

ANEXO B.8 CÁLCULO HIDRÁULICO DE LAS SOLUCIONES

ANEXO C. MAPAS

ANEXO D. PLANOS