

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



**“MODELACIÓN BIDIMENSIONAL DE LA ALTURA DE CARGA  
SOBRE UN VERTEDERO UTILIZANDO EL PROGRAMA IBER  
V2.4.3 COMPARANDO CON UN MÉTODO TRADICIONAL”**

**APLICACIÓN: “PRESA MIRAFLORES”**

**Por:**

**MARCELO JAVIER VACAFLOR BUENO**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de INGENIERÍA CIVIL.

**SEMESTRE - I - 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“MODELACIÓN BIDIMENSIONAL DE LA ALTURA DE CARGA  
SOBRE UN VERTEDERO UTILIZANDO EL PROGRAMA IBER  
V2.4.3 COMPARANDO CON UN MÉTODO TRADICIONAL”**

**APLICACIÓN: “PRESA MIRAFLORES”**

**Por:**

**MARCELO JAVIER VACAFLOR BUENO**

**SEMESTRE - I - 2019**

**TARIJA - BOLIVIA**

-----  
M. Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez G.  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

-----  
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

-----  
M. Sc. Ing. Moisés Perales Avilés

-----  
M. Sc. Ing. Oscar Ricaldi Torrez

-----  
M. Sc. Ing. Ivar Colodro Mendivil

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

### **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios, por bríndame una nueva oportunidad en la vida.

A mi directora de tesis Ing. María Zurita Morales, quien ha contribuido en mi formación profesional, además de su valiosa colaboración, orientación y apoyo en la elaboración de este trabajo.

A mi madre, por alentarme en cada paso que sigo.

Al Ing. Gery Bueno, quien con su conocimiento ha contribuido en mi formación profesional, al mismo tiempo su colaboración y orientación en la elaboración de este trabajo.

A Karencita, a quien admiro y estimo mucho, sin su ayuda esto no sería posible.

A los que fueron mis compañeros en la universidad, de los cuales guardo un gran recuerdo.

### **DEDICATORIA:**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mi madre Ing. Nilda Bueno Arce, quien me dio la vida y me educó con valores y principios siendo un pilar fundamental para mi formación personal y profesional y a quienes como los consejeros y guías supieron dirigirme por el buen camino correcto.

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

RESUMEN

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO I CONSIDERACIONES GENERALES..... 1**

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	PROBLEMÁTICA.....	2
1.2.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2.2	Formulación del problema.....	3
1.2.3	Sistematización del problema.....	3
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1	Justificación académica.....	4
1.3.2	Justificación técnica.....	4
1.3.3	Justificación social.....	4
1.4	ALCANCE.....	4
1.4.1	Metodología.....	5
1.5	OBJETIVOS.....	7
1.5.1	Objetivo general.....	7
1.5.2	Objetivos específicos.....	7

### **CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA**

2.1	UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PRESA.....	8
2.2	CONCEPTO DE FLUIDO.....	11
2.2.1	Según el tipo de movimiento.....	11
2.2.2	Según el espacio.....	11
2.2.3	Según el tiempo.....	12

2.3	LAS PRESAS .....	12
2.3.1	Presas de materiales sueltos .....	13
2.3.2	Elementos de una presa de tierra.....	13
2.3.3	Clasificación de los embalses.....	14
2.4	VERTEDERO DE EXCEDENCIAS .....	16
2.4.1	Tipos de vertederos .....	17
2.4.2	La estructura de control.....	19
2.4.3	Canal de descarga.....	19
2.4.4	Velocidades .....	20
2.4.5	Bordo libre .....	22
2.4.6	Rugosidad.....	23
2.5	MODELO BIDIMENSIONAL IBER .....	26
2.5.1	Características .....	26
2.5.2	Módulo hidrodinámico.....	28
2.5.3	Esquemas numéricos.....	32
2.5.4	Volúmenes finitos en IBER .....	33
2.5.5	Condición de Courant-Friedrichs Levy (CFL).....	35
2.5.6	MALLA DE CÁLCULO .....	36
2.5.7	Pre-proceso.....	42
2.5.8	Post-proceso .....	43
2.5.9	Limitaciones IBER.....	43
2.5.10	Ventajas de IBER.....	43
<b>CAPÍTULO III MÉTODO TRADICIONAL .....</b>		<b>46</b>
3.1	LAMINACIÓN .....	46
3.1.1	Parámetros de diseño.....	49



3.1.2	Hidrograma unitario adimensional del SCS.....	51
3.1.3	Procedimiento de laminación.....	58
3.1.4	Curva auxiliar de laminación.....	58
3.1.5	Planilla de laminación.....	59
3.1.6	Longitud del vertedero.....	61
3.1.7	Hidrograma de entrada e hidrograma de salida.....	61
3.1.8	Caudal máximo de salida.....	62
3.1.9	Altura máxima sobre el vertedero.....	62
3.2	<b>CANAL DE DESCARGA.....</b>	<b>62</b>
3.2.1	Parámetros de diseño.....	62
3.2.2	Diseño del canal de descarga.....	63
	<b>CAPÍTULO IV MODELACIÓN BIDIMENSIONAL CON IBER.....</b>	<b>66</b>
4.1	<b>GENERALIDADES. VERTEDERO DE EXCEDENCIAS.....</b>	<b>66</b>
4.2	<b>DATOS PARA LA MODELACIÓN.....</b>	<b>68</b>
4.2.1	Procesamiento de la información topográfica.....	68
4.3	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>70</b>
4.3.1	Creación del proyecto.....	71
4.3.2	Generar la superficie.....	73
4.3.3	Discretización espacial o malla de cálculo.....	75
4.3.4	Validación del modelo.....	77
4.3.5	Condiciones de contorno.....	81
4.3.6	Rugosidad.....	86
4.3.7	Datos del problema.....	88
4.3.8	Ejecución del cálculo.....	91
4.3.9	Visualización de resultados.....	92

<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	97
5.2 RECOMENDACIONES .....	99

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA

ANEXO 2: ESTUDIO HIDROLÓGICO PRESA MIRAFLORES

ANEXO 3: TOPOGRAFÍA DEL VASO DE ALMACENAMIENTO

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de Chuquisaca, provincia Nor Cinti .....	9
Figura 2.2. Fotografía satelital presa Miraflores .....	10
Figura 2.3. Flujo uniforme .....	11
Figura 2.4. Esquema de una presa de tierra .....	13
Figura 2.5. Presa Miraflores.....	15
Figura 2.6. Vertedor en presa de tierra.....	16
Figura 2.7. Vertedor de caída recta y descarga directa .....	18
Figura 2.8. Vertedor de cimacio con canal lateral .....	18
Figura 2.9. Principales características de un canal de descarga .....	20
Figura 2.10. Bordo libre .....	22
Figura 2.11. Módulos de cálculo.....	27
Figura 2.12. Ejemplo de fricción de fondo .....	31
Figura 2.13. Elemento de longitud $\Delta x$ .....	34
Figura 2.14. Elemento de longitud $\Delta x$ donde $QL > QR$ .....	35
Figura 2.15. Elemento de longitud $\Delta x$ .....	35
Figura 2.16. Ejemplo de mallas no estructuradas .....	37
Figura 2.17. Ejemplo de malla estructurada.....	37
Figura 2.18. Representación de un elemento .....	38
Figura 2.19. Ecuaciones de aguas someras en 2D .....	39
Figura 2.20. Metodología de cálculo con IBER.....	45
Figura 3.1. Obtención del Hidrograma de entrada.....	47
Figura 3.2. Construcción del vertedero Creager .....	49
Figura 3.3. Vertedero de la presa Miraflores .....	50
Figura 3.4. Hidrograma Unitario Adimensional del SCS .....	52
Figura 3.5. Curvas Precipitación-Duración-Frecuencia.....	55
Figura 3.6. Hidrograma de Entrada.....	57
Figura 3.7. Gráfico auxiliar para la laminación .....	59
Figura 3.8. Operación de laminación de crecidas .....	61
Figura 4.1. Construcción del vertedero de excedencias.....	66
Figura 4.2. Construcción del vertedero tipo Creager .....	67

Figura 4.3. Vista satelital del Vertedero de excedencias .....	67
Figura 4.4. Vertedero de excedencias y canal de descarga en formato CAD .....	68
Figura 4.5. Vista en planta vertedero de excedencias .....	69
Figura 4.6. Perfil longitudinal del vertedero .....	70
Figura 4.7. Perfil longitudinal del canal de descarga .....	70
Figura 4.8. Mediciones del caudal sobre la cresta del vertedero .....	79
Figura 4.9. Curva de calibración .....	80
Figura 4.10. Modelación para el caudal medido .....	80
Figura 4.11. Hidrogramas de Salida T = 1000 años.....	84
Figura 4.12. Hidrograma de salida T = 10000 años.....	85
Figura 4.13. Tirante máximo T=1000 años.....	94
Figura 4.14. Tirante máximo T=10000 años.....	95
Figura 4.15. Velocidad máxima T=1000 años .....	96
Figura 4.16. Velocidad máxima T=10000 años .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Velocidades permisibles según CBH 1987 en (m/s).....	21
Tabla 2.2. Velocidad máxima admisible en m/s .....	21
Tabla 2.3. Coeficiente de rugosidad n para terreno natural .....	24
Tabla 2.4. Coeficientes de rugosidad n para canales revestidos .....	25
Tabla 3.1. Tiempo de concentración.....	53
Tabla 3.2. Precipitaciones máximas en 24 hrs. en mm .....	54
Tabla 3.3. Precipitaciones máximas probables para diferentes periodos de retorno .....	54
Tabla 3.4. Precipitaciones según duración y periodo de retorno .....	55
Tabla 3.5. Tormenta de proyecto .....	56
Tabla 3.6. Hietograma de precipitación .....	56
Tabla 3.7. Convolución para un periodo de retorno de 1000 años .....	57
Tabla 3.8. Curva auxiliar para laminación .....	58
Tabla 3.9. Planilla de laminación.....	59
Tabla 3.10. Altura de diseño del vertedero de excedencias .....	62
Tabla 3.11. Planilla de tramos fijos.....	64
Tabla 3.12. Altura de las paredes del canal.....	65
Tabla 4.1. Mediciones de caudal y alturas de carga.....	78
Tabla 4.2. Comparación altura de carga medida - Altura de carga modelada .....	78
Tabla 4.3. Hidrogramas de salida.....	83

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Relleno y Compactado de Espaldón (Aguas Abajo) .....	105
Fotografía 2. Relleno y Compactado de Espaldón (Aguas Arriba) .....	405
Fotografía 3. Provisión y Colocado Geo textil (Aguas Arriba) .....	106
Fotografía 4. Provisión y Colocado de Geo textil (Aguas Abajo) .....	106
Fotografía 5. Vista Núcleo de Arcilla y Espaldones .....	107
Fotografía 6. Relleno y Compactado Núcleo de Arcilla .....	107
Fotografía 7. Construcción del Perfil Creager .....	108
Fotografía 8. Construcción del Vertedero de excedencias vista aguas arriba.....	108
Fotografía 9. Vertedero de excedencias y Canal de descarga .....	109
Fotografía 10. Rip Rap talud aguas arriba .....	109
Fotografía 11. Desfogue Aguas abajo de la Presa.....	110
Fotografía 12. Coronamiento de la Presa.....	110
Fotografía 13. Presa Miraflores.....	111
Fotografía 14. Vertedero de excedencias .....	112
Fotografía 15. Canal de descarga .....	113
Fotografía 16. Disipador de energía al inicio del canal de descarga.....	113
Fotografía 17. Salida del vertido aguas abajo de la presa .....	114
Fotografía 18. Lecho rocoso aguas abajo.....	115