

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DIRIGIDO

**ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE UNA PRESA DE GRAVEDAD Y SUS
OBRAS COMPLEMENTARIAS Y CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO
POTENCIAL DE ROTURA CONSIDERANDO UN ESCENARIO DE ROTURA
ENCADENADA (EFECTO DOMINÓ) CASO
PRESA VUELTA DE TIRO - TARIJA**

Postulante:

Joaquín Arce Perales

Tutor:

Ing. Moisés Perales Avilés

TARIJA – BOLIVIA

Vº Bº

Ing. Moisés Perales Avilés

TUTOR

Ing. Ernesto Álvarez G.

FACULTAD DE CS. Y TECNOLOGÍA

MSc. Lic. Marlene Hoyos M.

**DIRECTORA EDUCACIÓN
VIRTUAL Y A DISTANCIA**

Aprobada por:

Ing. Dimar Fernández Sulca

Ing. Daniel Renán PaniQue Lazcano

El tribunal calificador de la presente tesis, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en la misma, siendo únicamente responsabilidad del autor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Sistematización del problema.....	2
1.4 Objetivos de la investigación.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Justificación de la investigación.....	3
1.5.1 Justificación académica.....	3
1.5.2 Justificación técnica.....	4
1.5.3 Justificación social.....	4
1.6 Hipótesis de trabajo.....	5
1.6.1 Hipótesis de primer grado.....	5
1.6.2 Hipótesis de segundo grado.....	5
1.6.3 Hipótesis de tercer grado.....	5
2. SEGURIDAD DE PRESAS	6
2.1 La seguridad como exigencia primaria.....	7
2.2 Concepto de riesgo.....	9
2.3 Cuantificación de la seguridad.....	9
2.4 Niveles de seguridad y riesgo aceptables.....	11
2.4.1 Fiabilidad.....	11
2.4.2 Probabilidad.....	11
2.4.3 La incertidumbre en el análisis de seguridad.....	12
2.4.4 Análisis de Riesgo.....	13
2.4.5 Escenario de sollicitación.....	13
2.5 Necesidad de reglamentos, normativas y/o guías técnicas para el análisis de la seguridad de presas.....	13
2.5.1 Revisión de algunas legislaciones y metodologías para evaluar la seguridad de presas.....	14
2.5.1.1 Estados Unidos.....	14
2.5.1.2 Reino Unido.....	17

2.5.1.3	Noruega.....	18
2.5.1.4	Suecia.....	18
2.5.1.5	China.....	19
2.5.1.6	Austria.....	19
2.5.1.7	Alemania.....	20
2.5.2	Legislación de seguridad de presas en España.....	20
2.5.2.1	Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de Presas (1967).....	21
2.5.2.2	Reglamento Técnico para la Seguridad de Presas (1996).....	26
2.5.2.3	Guías Técnicas de Seguridad de Presas	27
2.5.3	Clasificación de presas (Organismo regulador de seguridad de presas ORSEP – Argentina)	27
2.5.3.1	Finalidad.....	27
2.5.3.2	Alcance	28
2.5.3.3	Criterio adoptado.....	28
2.5.3.4	Sistema de Clasificación	28
2.5.3.5	Caracterización de las Categorías.....	29
2.5.3.6	Consideraciones conceptuales para la estimación de las consecuencias incrementales.	31
2.6	Clasificación de una presa en función del riesgo potencial de rotura (Normativa Española) – Clasificación utilizada en el presente trabajo	34
2.6.1	Ámbito de aplicación.....	35
2.6.1.1	Criterios para la definición de categorías	35
2.6.1.2	Consideraciones y criterios básicos para la clasificación:	36
2.6.2	Metodología empleada para la clasificación.....	36
2.6.2.1	Riesgos potenciales para vidas humanas. Población en riesgo.....	37
2.6.2.2	Servicios esenciales	38
2.6.2.3	Daños materiales	39
2.6.2.4	Daños medioambientales.....	41
2.6.2.5	Otras afecciones	42

2.6.2.6	Escenarios de rotura.....	42
2.6.2.7	Rotura individual de presas.....	44
2.6.2.8	Rotura encadenada de presas (efecto dominó).....	44
2.6.2.9	Métodos para el estudio de la inundación consecuencia de la rotura de una presa 46	
2.6.2.10	Método completo (modelos hidráulicos completos).....	47
2.6.2.11	Método simplificado de modelización.....	47
2.6.2.12	Método mixto hidrológico-hidráulico.....	48
2.6.2.13	Método simplificado de las curvas envolventes.....	49
2.6.2.14	Forma y dimensiones de la brecha de rotura. Tiempos de rotura.....	50
2.7	Limitaciones en la Aplicación.....	51
3.	ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DE LA PRESA VUELTA DE TIRO.....	53
3.1	Datos generales de la presa y del sistema.....	53
3.1.1	Ubicación.....	53
3.1.2	Accesos	54
3.1.3	Antecedentes.....	55
3.2	Estado actual de la presa y del embalse.....	55
3.2.1	Cuerpo de la presa.....	56
3.2.2	Vertedor de excedencias.....	59
3.2.3	Obra de toma y desfogue de fondo.....	60
3.2.4	Filtraciones.....	61
3.2.5	Vaso de almacenamiento	62
3.2.6	Sistema de riego.....	63
3.3	Gestión del sistema de riego.....	64
3.3.1	Producción agrícola.....	64
3.3.2	Organización.....	70
3.3.3	Derechos al agua.....	73
3.3.4	Distribución.....	76
3.3.5	Operación.....	76
3.3.6	Mantenimiento.....	77
3.3.7	Evaluación de la gestión de riego.....	78

3.3.8	Análisis de la sustentabilidad del sistema de riego y recomendaciones	79
3.4	Cuenca de aporte	80
3.4.1	Características morfológicas de la cuenca	80
3.4.2	Volumen medio anual transcurrido	87
3.4.3	Estimación de crecidas	92
3.4.4	Laminación de crecidas	99
3.4.5	Producción de sedimentos de la cuenca	103
3.4.5.1	Eficiencia de retención.....	103
3.4.5.2	Modelo de Djorovic.....	105
3.5	Estabilidad de la presa en condiciones actuales	108
3.5.1	Verificación de la capacidad del vertedero de excedencias	108
3.5.2	Ancho del aliviadero y altura de los peldaños.....	109
3.5.3	Verificación de la estabilidad de la presa	111
3.5.3.1	Conclusiones del análisis de estabilidad	113
3.5.4	Análisis de la calidad de los materiales de construcción	114
4.	CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA PRESA VUELTA DE TIRO.....	115
4.1	Escenarios de riesgo aguas abajo en casos de rebalse o colapso	127
4.1.1	Área de influencia de la presa aguas abajo.....	127
4.1.2	Capacidad de sectores críticos en el río.....	127
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
5.1	Conclusiones.....	129
5.2	Recomendaciones	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Clasificación de Presas.....	28
Cuadro 2.2 Tabla de clasificación de los daños materiales propuesta por el reglamento técnico de clasificación de España.....	40
Cuadro 2.3 Clasificación de daños potenciales propuesta para Bolivia.....	40
Cuadro 3.1 Ubicación de la presa Vuelta de Tiro.....	54
Cuadro 3.2 Niveles Característicos embalse Vuelta de Tiro.....	59
Cuadro 3.3 Volúmenes característicos embalse Vuelta de Tiro.....	63
Cuadro 3.4 Rendimiento y producción de cultivos bajo riego.....	65
Cuadro 3.5 Calendario agrícola.....	66
Cuadro 3.6 Precios de la producción agrícola.....	69
Cuadro 3.7. Área regada del sistema de riego.....	70
Cuadro 3.8. Cargos actuales de la organización de riego.....	71
Cuadro 3.9 Padrón de usuarios Vuelta de Tiros.....	74
Cuadro 3.10 Evaluación de las condiciones de gestión del.....	78
Cuadro 3.11 Parámetros morfométricos de la cuenca Vuelta de Tiro.....	82
Cuadro 3.12 Parámetros morfométricos de la cuenca Casa Vieja.....	85
Cuadro 3.13 Registro de precipitaciones mensuales de la estación Yesera Norte.....	88
Cuadro 3.14 Estaciones hidrométricas en el departamento de Tarija.....	88
Cuadro 3.15 Caudales medios mensuales cuencas de referencias.....	90
Cuadro 3.16 Coeficiente de distribución mensual para la estación hidrométrica de Santa Ana.....	90
Cuadro 3.17 Caudales medios mensuales.....	91
Cuadro 3.18 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Yesera Norte.....	92
Cuadro 3.19 Tormenta de proyecto para diferentes periodos de retorno [Vuelta de Tiro].....	94
Cuadro 3.20 Tormenta de proyecto para diferentes periodos de retorno [Casa Vieja].....	95
Cuadro 3.21 Resumen de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.....	98
Cuadro 3.22 Resumen resultados Laminación.....	102
Cuadro 3.23 Valores de los coeficientes de la ecuación de Djorovic.....	106
Cuadro 3.24 Niveles de agua sobre el vertedero de excedencias para crecidas de diferentes periodos de retorno.....	108
Cuadro 3.25 Alturas del peldaño óptimas en términos de disipación de energía obtenidas de la relación propuesta por Tozzi (1992) y Ohtsu et al (2004).....	109

Cuadro 3.26 Características de la presa Vuelta de Tiro.....	111
Cuadro 3.27 Fuerzas actuantes en el cuerpo de la presa.....	112
Cuadro 4.1 Resultado clasificación.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista satelital de la presa Vuelta de Tiro y Casas Viejas y su cuenca de aporte	2
Figura 1.2 Vista del cuerpo de la presa Vuelta de Tiro desde el estribo izquierdo	4
Figura 2.1 Proceso de clasificación.....	43
Figura 3.1 Perfil cimacio.....	57
Figura 3.2 Ubicación de la Presa Vuelta de Tiros y el área regable del sistema.....	69
Figura 3.3 Calificación de la gestión del Sistema.....	78
Figura 3.4 Vista satelital de la presa Vuelta de Tiro y la cuenca de aporte.....	81
Figura 3.5 Perfil del cauce principal cuenca Vuelta de Tiro.....	83
Figura 3.6 Perfil de la cuenca Vuelta de Tiro.....	84
Figura 3.7 Curva hipsométrica cuenca Vuelta de Tiro.....	84
Figura 3.8 Perfil del cauce principal cuenca Casa Vieja	86
Figura 3.9 Perfil de la cuenca Casa Vieja.....	87
Figura 3.10 Curva hipsométrica cuenca Casa Vieja.....	87
Figura 3.11 Caudales Específicos Medios Anuales vs Precipitación Media.....	89
Figura 3.12 Curvas P-D-F para la estación de Yesera Norte	94
Figura 3.13 Esquema hidrológico utilizado.....	96
Figura 3.14 Hidrograma de salida para un periodo de retorno de 1000 años [Casa Vieja].....	97
Figura 3.15 Tabla de resultados T = 1000 años [Casa Vieja].....	97
Figura 3.16 Hidrograma de salida para un periodo de retorno de 1000 años [Vuelta de Tiro].....	98
Figura 3.17 Tabla de resultados T = 1000 años [Vuelta de Tiro].....	98
Figura 3.18 Curva de descarga del vertedero [Casa Vieja]	100
Figura 3.19 Curva de descarga del vertedero [Vuelta de Tiro]	101
Figura 3.20 Hidrograma de entrada y salida para un periodo de retorno de 1000 años [Casa Vieja]	101
Figura 3.21 Tabla de resultados para T = 1000 años [Casa Vieja].....	101
Figura 3.22 Hidrograma de entrada y salida para un periodo de retorno de 1000 años [Vuelta de Tiro].....	102
Figura 3.23 Tabla de resultados para T = 1000 años [Vuelta de Tiro].....	102
Figura 3.24 Curvas de eficiencia de retención de sedimentos según Brune.....	104
Figura 3.26 Regiones de flujo rasante sobre un aliviadero escalonado	110

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Ficha Resumen
Anexo 2	Planilla de clasificación
Anexo 3	Datos climáticos
Anexo 4	Caudales máximos
Anexo 5	Laminación
Anexo 6	Estabilidad
Anexos 7	Registro fotográfico