

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS**



**"ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESAS DE TIERRA
CASO DE ESTUDIO: PRESA LAS TIPAS, COLPANA Y
LA ESCUELA"**

Por:

BRAYAN ARIEL HUANCA CHOQUECHAMBI

**Trabajo de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar
el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil**

Semestre I – 2022

Tarija - Bolivia

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS**

**"ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESAS DE TIERRA
CASO DE ESTUDIO: PRESA LAS TIPAS, COLPANA Y
LA ESCUELA"**

Por:

BRAYAN ARIEL HUANCA CHOQUECHAMBI

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

Semestre I – 2022

Tarija – Bolivia

DEDICATORIA

A Dios creador de los cielos y la Tierra, por su amor y bondad infinita, también de manera especial a mi madre, cuya bendición a diario a lo largo de mi vida me cuida y me lleva por el camino del bien. Por eso te dedico este trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento Del Problema.....	2
1.3 Hipótesis	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5 Justificación	3
1.5.1 Justificación Científica	3
1.5.2 Justificación Técnica	3
1.5.3 Justificación Social.....	3
1.5.4 Justificación Económica.....	4
1.6 Delimitación.....	4
1.6.1 Limite Sustantivo.....	4
1.6.2 Límite Temporal	4
1.6.3 Límite Geográfico.....	4
1.7 Alcance Del Trabajo	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco Histórico	9
2.2 Marco Legal y Normativo.....	11
2.2.1 Instrucción Para el Proyecto, Construcción y Explotación de Presas (1967). 11	
2.2.2 Reglamento Técnico Para la Seguridad de Presas (1996)	12
2.2.3 Guías Técnicas de Seguridad de Presas.....	13

2.2.4	Tipo de Solicitaciones del Proyecto	14
2.3	Marco Referencial.....	16
2.3.1	Características del Flujo a Través de un Medio Poroso	16
2.3.2	Teoría de las Redes de Flujo.....	24
2.3.3	Resistencia Cortante del Suelo	32
2.3.4	Estabilidad de Taludes.....	33
2.3.5	Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes	34
2.3.6	Análisis de Estabilidad	43
2.3.7	Etapas de Operación.....	44
2.3.8	Etapas de Desembalse Rápido	45
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO		46
3.1	Tipo de Investigación.....	46
3.2	Operacionalización de Variables	46
3.3	Metodología Para la Selección de las Presas de estudio.....	47
3.4	Metodología Para Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial	48
3.4.1	Criterios Para la Definición de Categorías	48
3.5	Metodología Para el Análisis de Escenarios de Rotura	49
3.6	Métodos Para el Estudio de Inundación Consecuencia de la Rotura de Presa	51
3.6.1	Método mixto hidrológico-hidráulico	51
3.6.2	Tiempos Forma y Dimensiones de la Rotura.	52
3.7	Metodología Para la Estimación del Caudal de Avenida máxima.....	53
3.8	Metodología para la estimación de parámetros del suelo	53
3.8.1	Ensayos de Laboratorio Para la Clasificación del Suelo	54
3.9	Metodología de Aplicación del Software Slide 6.0	60

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
4.1 Selección de las Presas de Estudio.....	61
4.2 Reconocimiento de las Presas.....	65
4.3 Descripción de las Presas de Estudio.....	65
4.4 Recopilación de Información de las Presas de Estudio	66
4.5 Estimación de Parámetros de Suelos para el cuerpo de la presa.....	67
4.5.1 Determinación de Puntos de Muestreo.....	68
4.5.2 Toma de Muestras	68
4.5.3 Envío de Muestras al Laboratorio	68
4.5.4 Ensayos de Laboratorio de Suelos.....	69
4.5.5 Resultados de Laboratorio.....	69
4.5.6 Análisis de datos.....	71
4.6 Aplicación del Software.....	73
CAPÍTULO 5. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	74
5.1 Clasificación de las Presas de Estudio en Función del Riesgo Potencial	74
5.1.1 Caudal Punta de la Onda de Rotura.....	74
5.1.2 Resultados de Clasificación de las Presas de Estudio	78
5.2 Situaciones de Proyecto	78
5.2.1 Geometría de la Presa.....	78
5.2.2 Materiales	80
5.2.3 Acciones a Considerar	81
5.3 Análisis de Estabilidad De Taludes con el Software Slide	83
5.3.2 Situaciones Accidentales	101
5.3.3 Situaciones Extremas.....	106

5.4	Comprobación de estabilidad de taludes.....	111
5.5	Análisis de Resultados	113
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		119
6.1	Conclusiones	119
6.2	Recomendaciones	120
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.....		123

ANEXOS

ANEXO 1.	FICHAS DE REGISTRO DE LAS PRESAS DE ESTUDIO
ANEXO 2.	ESTUDIO DE SUELOS
ANEXO 3.	CÁLCULO DE AVENIDA EXTREMA
ANEXO 4.	CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL
ANEXO 5.	RED DE FLUJO
ANEXO 6.	ESTABILIDAD DE TALUDES
ANEXO 7.	CALCULO DEL DREN
ANEXO 8.	DOSIER FOTOGRÁFICO

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. 1 Ubicación de las presas de estudio ámbito nacional	5
Mapa 1. 2 Ubicación de las presas de estudio ámbito municipal	6
Mapa 1. 3 Ubicación de la presa Colpana y presa Las Tipas	6
Mapa 1. 4 Mapa de ubicación presa La Escuela.....	7
Mapa 5. 1 Mapa inundación por rotura de presas, presa Las Tipas	75
Mapa 5. 2 Mapa inundación por rotura de presa, presa Colpana	76
Mapa 5. 3 Mapa inundación por rotura de presa, presa La escuela.....	77
Mapa 5. 4 Mapa de zonificación sísmica Bolivia según observatorio de San Calixto.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Ubicación de las presas de estudio	7
Tabla 2. 1 Coeficientes de seguridad mínimos recomendados según categoría de la presa. 14	
Tabla 2. 2 Condiciones de entrada de la línea de corriente superior. LCS.....	26
Tabla 2. 3 Condiciones de salida de corriente superior. LCS.....	27
Tabla 2. 4 Incógnitas asociadas al equilibrio de fuerzas y momentos para las “n” dovelas. 37	
Tabla 3. 1 Clasificación de daños potenciales propuesta para Bolivia.....	49
Tabla 3. 2 Avenidas de proyecto periodo de retorno en años.....	53
Tabla 4. 1 Clasificación de presas construidas por el PERTT en función de su tamaño	61
Tabla 4. 2 Presas seleccionadas para realizar el estudio.....	64
Tabla 4. 3 Clasificación de las presas por su magnitud.....	64
Tabla 4. 4 Clasificación de presas por su magnitud	65
Tabla 4. 5 Información de las presas de estudio.....	66
Tabla 4. 6 Clasificación de suelo del cuerpo de la presa.....	69
Tabla 4. 7 Permeabilidad en Materiales de Baja Permeabilidad Compactados	70
Tabla 4. 8 Parámetros mecánicos y permeabilidad de las presas de estudio.....	70
Tabla 4. 9 Análisis de datos presa Las Tipas.....	71
Tabla 4. 10 Análisis de datos presa Colpana	72
Tabla 4. 11 Análisis de datos presa Las Escuela	72
Tabla 5. 1 Caudal punta de onda de rotura presas de estudio.....	74

Tabla 5. 2 Resultados de Clasificación Presas de Estudio	78
Tabla 5. 3 Parámetros geométricos de las presas de estudio	79
Tabla 5. 4 Parámetros mecánicos presa de estudio	80
Tabla 5. 5 Nivel de aguas extraordinarias	106
Tabla 5. 6 Comprobación de Factor de Seguridad mínimo exigido Presa Las Tipas.....	112
Tabla 5. 7 Comprobación de Factor de Seguridad mínimo exigido Presa Colpana.....	112
Tabla 5. 8 Comprobación de Factor de Seguridad mínimo exigido Presa Las Escuela	113
Tabla 5. 9 Factor de Seguridad para diferentes taludes Situación A5 Presa Tipas	114
Tabla 5. 10 Factor de Seguridad para diferentes taludes Situación E1 Presa La Escuela ..	115
Tabla 5. 11 Comparación de factores de seguridad con dren y sin dren	117
Tabla 5. 12 Diferencias entre los métodos de estabilidad de taludes usados	118
Tabla 6. 1 Longitud de dren recomendada y adoptada.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Sección Transformada.....	24
Figura 2. 2 Condiciones de entrada de la línea de corriente superior. LCS.	25
Figura 2. 3 Condiciones de salida de la línea de corriente superior. LCS.	26
Figura 2. 4 Sección transversal con flujo bidimensional.....	28
Figura 2. 5 Sección de presa de tierra homogénea	29
Figura 2. 6 Circulo de Mohr y envolvente de falla.....	33
Figura 2. 7 Esquema de los distintos métodos de estabilidad de taludes	34
Figura 2. 8 Circulo de falla de radio R y las fuerzas que actúan sobre una dovela	35
Figura 2. 9 Polígono de fuerzas actuantes en una dovela, para β conocido	38
Figura 2. 10 Esquema común de una presa al final de la construcción	44
Figura 2. 11 Esquema común de una presa en operación.....	44
Figura 2. 12 Esquema del talud aguas arriba de una presa ante un desembalse rápido	45
Figura 3. 1 Proceso de clasificación	50
Figura 3. 2 Maquina de Casagrande ASTM D4318	55
Figura 5. 1 Geometría de la presa Las Tipas a introducir en el software informático	79
Figura 5. 2 Geometría de la presa Colpana a introducir en el software informático	80
Figura 5. 3 Geometría de la presa La Escuela a introducir en el software informático	80
Figura 5. 4 Esquema de los distintos métodos de estabilidad de taludes	83
Figura 5. 5 Diálogo Configuraciones del proyecto.....	84

Figura 5. 6 Diálogo métodos de análisis.....	85
Figura 5. 7 Importar la geometría del proyecto	85
Figura 5. 8 Definir las propiedades de los materiales.....	86
Figura 5. 9 Asignar Materiales	87
Figura 5. 10 Pantalla: Grid Spacing.....	88
Figura 5. 11 Cuadrícula automática.....	88
Figura 5. 12 Resultados	89
Figura 5. 13 Situación N1 fin de la construcción: Presa Las Tipas	90
Figura 5. 14 Situación N1 fin de la construcción: Presa Colpana	90
Figura 5. 15 Situación N1 fin de la construcción: Presa La Escuela.....	91
Figura 5. 16 Configuraciones del proyecto	91
Figura 5. 17 Seleccionar tipo de análisis	92
Figura 5. 18 Definir las propiedades hidráulicas de los materiales	93
Figura 5. 19 Asignar Materiales	94
Figura 5. 20 Malla de Elemento Finito.....	94
Figura 5. 21 Configure las condiciones de contorno	95
Figura 5. 22 Condición de contorno de altura total	95
Figura 5. 23 Contornos de altura de presión.....	96
Figura 5. 24 Red de Flujo: Presa Las Tipas.....	96
Figura 5. 25 Red de Flujo: Presa Colpana	97

Figura 5. 26 Red de Flujo: Presa La Escuela.....	97
Figura 5. 27 Diálogo Configuraciones del proyecto.....	98
Figura 5. 28 Importar la red de flujo	98
Figura 5. 29 Asignar napa freática.....	99
Figura 5. 30 Resultados	100
Figura 5. 31 Situación N2 Embalse lleno a nivel normal: Presa Las Tipas	100
Figura 5. 32 Situación N2 Embalse lleno a nivel normal: Presa Colpana.....	101
Figura 5. 33 Situación N2 Embalse lleno a nivel normal: Presa La Escuela	101
Figura 5. 34 Añadir carga a la presa.....	102
Figura 5. 35 Carga sísmica sobre la presa	102
Figura 5. 36 Situación A2 Fin de construcción + sismo de proyecto: Presa Las Tipas	103
Figura 5. 37 Situación A2 Fin de construcción + sismo de proyecto: Presa Colpana.....	103
Figura 5. 38 Situación A2 Fin de construcción + sismo de proyecto: Presa La Escuela ...	103
Figura 5. 39 Añadir carga a la presa.....	104
Figura 5. 40 Carga sísmica sobre la presa	104
Figura 5. 41 Situación A5 Embalse a nivel normal + sismo de proyecto: Presa Las Tipas	105
Figura 5. 42 Situación A5 Embalse a nivel normal + sismo de proyecto: Presa Colpana .	105
Figura 5. 43 Situación A5 Embalse nivel normal + sismo de proyecto: Presa La Escuela	105
Figura 5. 44 Red de flujo situación extrema: Presa Las Tipas	107
Figura 5. 45 Red de flujo situación extrema: Presa Colpana.....	107

Figura 5. 46 Red de flujo situación extrema: Presa La Escuela	107
Figura 5. 47 Diálogo Configuraciones del proyecto.....	108
Figura 5. 48 Importar la red de flujo	108
Figura 5. 49 Asignar napa freática.....	109
Figura 5. 50 Resultados	110
Figura 5. 51 Situación E1 Embalse a nivel aguas extraordinarias: Presa Las Tipas	110
Figura 5. 52 Situación E1 Embalse a nivel aguas extraordinarias: Presa Colpana	111
Figura 5. 53 Situación E1 Embalse a nivel aguas extraordinarias: Presa La Escuela	111
Figura 5. 54 Factor de Seguridad para un talud mínimo presa Las Tipas	115
Figura 5. 55 Factor de Seguridad para un talud optimo presa La Escuela	116
Figura 5. 56 Presa las Tipas situación A5 + dren aguas abajo	116
Figura 5. 57 Presa Colpana situación A5 + dren	116
Figura 5. 58 Presa La Escuela situación E1 + drenaje.....	117
Figura 6. 1 Comportamiento red de flujo con dren presa Las Tipas	121
Figura 6. 2 Comportamiento red de flujo con dren presa Colpana.....	121
Figura 6. 3 Comportamiento red de flujo con dren presa La Escuela	122