

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DEL RIESGO DE ROTURA DE UNA PRESA DE TIPO
ESCOLLERA EN CASO DE SOBREVERTIDO POR EL
CORONAMIENTO
APLICACIÓN PRESA CALDERAS**

Por:

MARISOL VARGAS CASTELLÓN

Proyecto de Grado elaborado en la asignatura CIV-502 presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

Julio de 2010

TARIJA – BOLIVIA

HOJA DE EVALUACION

EVALUACION CONTINUA

Fecha de Presentación.....

Calificación:

 Numeral.....

 Literal.....

V°B° Docente CIV 502

EVALUACION FINAL

Fecha de Defensa.....

Calificación:

 Numeral.....

 Literal.....

Tribunal 1.....

Tribunal 2.....

Tribunal 3.....

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

A Dios y a mi madre, Zayda por su inagotable cariño y paciencia que tantas veces ha reconfortado y llenado mi alma, y sobre todo, por su ánimo continuo, sin el que no habría podido alcanzar el final de este largo camino, que culmina en este trabajo.

*“La realización es la expresión
plena de nuestras
potencialidades, y el único
camino para lograr la
Excelencia es tener el valor y el
coraje de extraer lo mejor de
nosotros mismos”*

Marisol Vargas Castellón.

TABLA CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción.....	1
1.2 Generalidades.....	1
1.3 Área de Estudio.....	2
1.4 Características del Proyecto de Riego Calderas.....	2
1.5 Situación actual.....	5
1.6 Planteamiento y formulación del problema.....	5
1.7 Justificación.....	6
1.8 Alcance.....	9
1.9 Objetivos.....	10
1.9.1 Objetivo General.....	10
1.9.2 Objetivos Específicos.....	10

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 El Fenómeno de Sobrevertido.....	12
2.2 Movimiento del agua sobre la presa.....	13
2.2.1 Caracterización del Movimiento.....	13
2.2.2 Régimen rápido o lento.....	14
2.2.3 Movimiento laminar o turbulento.....	14
2.2.4 Lecho hidráulicamente liso o rugoso.....	15

2.2.4.1	Movimiento casi liso.....	16
2.2.4.2	Movimiento de ondas de interferencia.....	16
2.2.4.3	Movimiento de rugosidades aisladas.....	16
2.2.5	Características diferenciales.....	17
2.3	Pérdida de carga sobre el talud de la presa.....	18
2.3.1	Formulación de Hartung-Scheuerleín.....	20
2.3.2	Ley de pérdida de carga.....	23
2.3.3	Perfil de la lámina de agua.....	24
2.4	El Medio de Filtración.....	25
2.4.1	Introducción.....	25
2.4.2	Tratamiento del medio poroso como un continuo.....	26
2.4.3	Propiedades del medio poroso.....	29
2.4.4	Conceptos de velocidad en un medio poroso.....	33
2.4.5	Fórmula de resistencia.....	34
2.4.5.1	Coeficientes de la fórmula de resistencia.....	40
2.5	Movimiento del agua a través de la escollera.....	41
2.5.1	Estudio paramétrico.....	41
2.6	Estabilidad frente al deslizamiento.....	62
2.6.1	Mecanismos básicos de rotura.....	62
2.6.1.1	Rotura por Arrastre y Erosión.....	62
2.6.1.2	Rotura por Deslizamiento en Masa.....	70
2.6.2	Planteamiento del análisis.....	75
2.6.3	Estudio Paramétrico.....	76

2.6.4	Fórmula que se propone.....	79
2.6.5	Proceso de saturación del espaldón.....	84
2.6.5.1	Introducción.....	84
2.6.5.2	Hidrograma de Sobrevertido.....	85
2.6.5.3	Un modelo conceptual del Proceso de Saturación.....	88
2.6.5.6	Efecto de la Compactación de la escollera.....	92
2.7	Dimensionamiento.....	95
2.7.1	Introducción.....	95
2.7.2	Determinación del tamaño de la escollera de protección.....	97
2.7.3	Proceso de dimensionamiento.....	106
2.7.3.1	Coefficientes de Seguridad.....	106
2.7.3.2	Abaco de Dimensionamiento.....	108
2.7.3.3	Proceso de Dimensionamiento.....	111

CAPITULO III

INFORMACION DISPONIBLE

3.1	Estudios realizados en la Presa Calderas.....	113
3.1.1	Estudio Topográfico.....	113
3.1.2	Propiedades Geométricas de la cuenca.....	114
3.1.2.1	Área de la Cuenca.....	114
3.1.2.2	Perímetro de la Cuenca.....	114
3.1.2.3	Perímetro estilizado	114

3.1.2.4 Índice de compacidad o Gravelius.....	115
3.1.2.5 Rectángulo Equivalente.....	115
3.1.2.6 Pendiente de la Cuenca.....	116
3.1.2.7 Pendiente del Cauce Principal.....	116
3.1.3 Propiedades de Relieve de la Cuenca.....	117
3.1.3.1 Curva Hipsométrica.....	117
3.1.3.2 Índice de Pendiente de Roche.....	118
3.1.4 Propiedades Morfométricas de la Cuenca.....	118
3.1.4.1 Red de drenaje.....	118
3.1.4.2 Orden de corriente.....	119
3.1.4.3 Densidad de drenaje.....	119
3.1.5 Estudio Hidrológico.....	119
3.1.5.1 Antecedentes Generales.....	119
3.1.5.2 Geomorfología.....	120
3.1.5.3 Hidrografía y Fisiografía.....	120
3.1.5.4 Cobertura Vegetal.....	120
3.1.5.5 Análisis de los datos de precipitación.....	121
3.1.5.6 Consistencia de datos.....	121
3.1.5.7 Análisis de consistencia.....	123
3.1.6 Pluviometría.....	125
3.1.6.1 Metodología.....	126
3.1.6.2 Lluvias Anuales.....	126

3.1.6.2 a) Zonificación Pluviométrica.....	127
3.1.6.2. b) Sub Zonificación Pluviométrica.....	128
3.1.7 Estimación de Lluvia Media Anual.....	130
3.1.7.1 Lluvias Medias Mensuales.....	131
3.1.7.2 Estimación de Lluvias Máximas.....	132
3.1.7.2.a) Estimación de Lluvias Máximas Diarias.....	132
3.1.7.2.b) Estimación de Lluvias Máximas Horarias.....	133
3.1.7.2.c) Tiempo de concentración.....	133
3.1.7.2.d) Intensidad de Precipitación.....	136
3.1.7.2.e) Estimación de Lluvias Mínimas.....	138
3.1.7.2.f) Probabilidades de Riesgo y Vida Útil.....	138
3.1.8 Estimación de Caudales.....	139
3.1.8.1 Introducción.....	139
3.1.8.2 Estimación del coeficiente de Escorrentía.....	140
3.1.8.3 Estimación de Caudales Medios Mensuales y Anuales.....	141
3.1.8.4 Caudales Medios Mensuales.....	141
3.1.8.5 Estimación de Caudal Máximo.....	143
3.1.8.6 Riesgo Probable.....	149
3.1.9 Sedimentos.....	150

3.1.9.1 Producción de Sedimentos.....	150
3.2 Regulación Mensual del Embalse Calderas.....	150
3.3 Estudio de Avenidas.....	151
3.3.1 Laminación de Avenidas.....	151
3.3.2 Laminación de Avenidas en el Embalse Calderas.....	151
3.3.3 Obtención de los Hidrogramas de Avenida.....	152
3.3.3.1 Metodología Seguida.....	152
3.3.3.2 Hidrograma de Entrada por el método de Mockus.....	152
3.3.3.3 Método de Tránsito de la Piscina Nivelada.....	152
3.3.3.4 Obtención del Hidrograma de Salida.....	153
3.3.3.5 Curva de Descarga.....	154
3.4 Estudio de Estabilidad de la Presa Calderas.....	154
3.4.1 Material para la construcción de la Presa Calderas.....	156
3.4.1.1 Material para Enrocado.....	156
3.4.1.2 Capa de apoyo de la losa de hormigón armado.....	158
3.4.1.3 Capa Intermedia de Transición.....	159
3.4.2 Parámetros geomecánicos adoptados.....	160
3.4.3 Análisis de Estabilidad de Taludes.....	164
3.4.3.1 Estados de Carga.....	166
3.4.3.2 Presa Llena.....	166
3.4.3.3 Presa Vacía.....	166
3.4.3.4 Caso de desembalse Rápido.....	167
3.4.3.5 Sobrevertido por el coronamiento.....	167

CAPITULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA (PRESA CALDERAS)

4.1 Aplicación Presa Calderas.....	173
4.1.1 Fórmula de Resistencia.....	174
4.1.2 Coeficiente de Seguridad Frente al Deslizamiento.....	175
4.1.3 Proceso de Saturación del Espaldón.....	175
4.1.3.1 Hidrograma de Sobrevertido.....	176
4.1.3.2 Caudal de Saturación.....	177
4.1.3.3 Dimensionamiento.....	178
4.1.3.3 a) Caso de Sobrevertido Extremo.....	178
4.1.3.3 b) Situación de Sobrevertido Normal.....	179
4.1.3.3 c) Caso Intermedio.....	179

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Resultados Obtenidos.....	182
5.1.1 Del Estudio Hidrológico.....	182
5.1.2 De la Estabilidad del Cuerpo de La Presa.....	182
5.1.3 De la Aplicación.....	183
5.2 Análisis de los Resultados Obtenidos.....	184
5.2.1 Del Estudio Hidrológico.....	184
5.2.2 Del Estudio de Estabilidad.....	185
5.2.3 De la Aplicación.....	186

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....191

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

	Pag
	Nº
CUADRO N° 1.1 Fallas de presas por Sobrepasso en el mundo periodo.....	8
CUADRO N° 2.1 Coeficientes de seguridad frente al deslizamiento.....	83
CUADRO N° 3.1 Estaciones pluviométricas.....	121
CUADRO N° 3.2 Lluvias medias mensuales y anuales.....	122
CUADRO N° 3.3 Resumen de la consistencia de datos.....	125
CUADRO N° 3.4 Zonificación pluviométrica.....	127
CUADRO N° 3.5 Sub zonificación pluviométrica.....	129
CUADRO N° 3.6 Lluvias medias mensuales al 75 y 80% de probabilidad.....	131
CUADRO N° 3.7 Lluvias máximas diarias.....	132
CUADRO N° 3.8 Tiempo de concentración de la cuenca.....	135
CUADRO N° 3.9 Altura de lluvia horaria para t_c	136
CUADRO N° 3.10 Altura de lluvia horaria para diferente duración y periodo de retorno.....	136
CUADRO N° 3.11 Intensidad máxima de la cuenca para diferentes periodos de retorno.....	137
CUADRO N° 3.12 Intensidades para diferente duración y periodo de retorno...	137
CUADRO N° 3.13 Estimación de lluvias mínimas.....	139
CUADRO N° 3.14 Relación entre la precipitación media mensual y anual.....	141
CUADRO N° 3.15 Caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de excedencia.....	142
CUADRO N° 3.16 Caudales medios mensuales.....	143

CUADRO N° 3.17 Datos hidrograma $t=500$ años.....	144
CUADRO N° 3.18 Datos hidrograma $t=1000$ años.....	146
CUADRO N° 3.19 Producción de sedimentos.....	150
CUADRO N° 3.20 Resumen de la regulación para el Embalse Calderas.....	151
CUADRO N° 3.21 Resultados del estudio de laminación.....	153
CUADRO N° 3.22 Características principales del material para enrocado de la presa.....	156
CUADRO N° 3.23 Análisis de tamices para el enrocado.....	156
CUADRO N° 3.24 Análisis de tamices para la capa de apoyo.....	158
CUADRO N° 3.25 Características principales de la capa intermedia de transición.....	160
CUADRO N° 3.26 Composición granulométrica del Rio Huacata.....	161
CUADRO N° 3.27 Diámetros correspondientes a la curva granulométrica.....	162
CUADRO N° 3.28 Resumen de parámetros geomecánicos Presa Huacata.....	163
CUADRO N° 3.29 Resumen de parámetros geomecánicos adoptados para la Presa Calderas.....	163
CUADRO N° 3.30 Factores de seguridad para diferentes estados de carga y condiciones de borde.....	168
CUADRO N° 3.31 Factores de seguridad mínimos recomendados para presa de escollera.....	187

INDICE DE FIGURAS

	Pag .N°
FIGURA N° 1.1 Ubicación del área de influencia en el contexto nacional, departamental y seccional.....	4
FIGURA N° 2.1 Gráfico para la determinación de la superficie específica.....	32
FIGURA N° 2.2 Leyes exponencial y cuadrática ajustadas a los puntos obtenidos experimentalmente para un material de 7,37 cm. de diámetro medio.....	39
FIGURA N° 2.3 Nomograma para determinar la constante "c" en la fórmula de resistencia.....	41
FIGURA N° 2.4 Definición geométrica de la sección tipo de cálculo.....	42
FIGURA N° 2.5 Esquema de la determinación gráfica de la presión del agua en distintos puntos de una línea de filtración.....	46
FIGURA N° 2.6 Esquema de línea de filtración en las proximidades de pie de presa y presión del agua correspondiente a un punto de la misma.....	49
FIGURA N° 2.7 Isolíneas para talud 1.5 a) presión del agua; b) gradiente hidráulico.....	50
FIGURA N° 2.8 Isolíneas para talud 2 a) presión del agua; b) gradiente hidráulico.....	51
FIGURA N° 2.9 Para talud 1,5 a) Isolíneas de presión relativa del agua; b) área de presión relativa mayor del 95 %.....	52
FIGURA N° 2.10 para talud 2 a) Isolíneas de presión relativa del agua; b) área de presión relativa mayor del 95 %.....	53
FIGURA N° 2.11 Para talud 1,5, líneas de diferencia de a) presión del agua; b) gradiente hidráulico, para movimiento lineal ($m = 1$) y no lineal ($m = 1.85$).	54
FIGURA N° 2.12 Diferencia de presiones relativas para movimiento lineal ($m = 1$) y no lineal ($m = 1.85$) para talud 1,5.	55

FIGURA N° 2.13 Para talud 1.5 a) líneas de igual velocidad de filtración; b) líneas equipotenciales.....	56
FIGURA N° 2.14 para talud 2 a) líneas de igual velocidad de filtración; b) líneas equipotenciales.....	57
FIGURA N° 2.15 Caudal de saturación para fórmula de resistencia $i = 3,6 \times 10^{-3} \cdot v^{1.85}$ a) representación en el plano altura - caudal de saturación, para distintos taludes b) representación en el plano talud- caudal de saturación, para distintas alturas.....	58
FIGURA N° 2.16 Relación lineal altura - caudal de saturación, para distintos valores del coeficiente de la fórmula de resistencia.....	60
FIGURA N° 2.17 Abaco para la determinación del caudal de saturación.....	61
FIGURA N° 2.18 Croquis de la rotura de la ataguía de la presa del Jerte por sobre vertido.....	64
FIGURA N° 2.19 Presa de Belci: a) planta y sección tipo; b) esquema de las fases de rotura por sobrevertido.....	72
FIGURA N° 2.20 Acciones sobre una rebanada según el talud.....	80
FIGURA N° 2.21 Abaco para la determinación del coeficiente de subpresión..	84
FIGURA N° 2.22 Hidrograma de sobrevertido.....	87
FIGURA N° 2.23 Proceso de saturación del espaldón.....	91
FIGURA N° 2.24 Penetración del agua en espaldón anisótropo por compactación de la escollera.....	94
FIGURA N° 2.25 Posibilidad de deslizamiento en la zona de coronación sobre un nivel poco permeable.....	94
FIGURA N° 2.26 Abaco de Solvik.....	105
FIGURA N° 2.27 Abaco de dimensionamiento.....	110

FIGURA N° 3.1 Sección transversal del cuerpo de la presa Calderas.....	155
FIGURA N° 3.2 Resultados de ensayos triaxiales para materiales granulares gruesos.....	160
FIGURA N°3.3 Coeficientes de Sismicidad para Bolivia.....	165

INDICE DE GRAFICOS

	Pag. N°
GRAFICO N° 3.1 Curva Hipsométrica.....	117
GRAFICO N° 3.2 Sucesión histórica de precipitaciones.....	122
GRAFICO N° 3.3 - 3.6 Análisis de consistencia.....	123
GRAFICO N° 3.7 Zonificación de lluvias anuales.....	127
GRAFICO N° 3.8 Sub zonificación del lluvias anuales.....	128
GRAFICO N° 3.9 Curvas IDF.....	137
GRAFICO N° 3.10 Hidrograma triangular para un T=500 años.....	145
GRAFICO N° 3.11 Hidrograma curvilíneo T=500 años propuesto por la Soil Conservation Service.....	145
GRAFICO N° 3.12 Caudal máximo probable T=1000 años hidrograma triangular.....	147
GRAFICO N° 3.13 Hidrograma Curvilíneo T=1000 años propuesto por la Soil Conservation Service.....	147
GRAFICO N° 3.14 Hidrograma de entrada por el método de Mockus.....	152
GRAFICO N° 3.15 Hidrograma de Salida.....	153
GRAFICO N° 3.16 Curva de Descarga.....	154
GRAFICO N° 3.17 Curva granulométrica de material natural de enrocado procedencia: Yesera Centro.....	157
GRAFICO N° 3.18 Curva granulométrica de material de apoyo de la losa de H°A° procedencia: Yesera Centro.....	158
GRAFICO N° 3.19 Límites granulométricos para la capa de apoyo de la losa de impermeabilización.....	159

GRAFICO N° 3.20 Curva granulométrica del material granular de la Presa Huacata.....	162
GRAFICO N° 4.1 Hidrogramas de Entrada y Salida.....	177
GRAFICO N° 4.2 Hidrograma de sobrevertido.....	178

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Estudio Topográfico.....	
ANEXO 2 Estudio Hidrológico.....	
ANEXO 3 Estudio de Estabilidad de Taludes.....	
ANEXO 4 Memoria fotográfica.....	
ANEXO 5 Plano.....	