

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



**“ESTUDIO TEÓRICO - EXPERIMENTAL DE VERTEDEROS
DE PARED GRUESA (CIMACIO TIPO CREAGER Y
RECTANGULAR DE ARISTA VIVA) A NIVEL LABORATORIO
EN LA CARRERA DE ING. CIVIL DE LA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

Por:

OMAR CRUZ TACA

Proyecto de Ingeniería Civil presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

GESTIÓN - 2019
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres y mis hermanos quienes han sido parte fundamental, ellos son los que me apoyaron y los principales protagonistas de este sueño alcanzado.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2.1 Planteamiento del problema	1
1.2.2 Formulación del problema	1
1.2.3 Sistematización del problema.....	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4.1 Teórica	3
1.4.2 Metodológica	3
1.4.3 Práctica	5
1.5 MARCO DE REFERENCIA	5
1.5.1 Teórico.....	5
1.5.2 Conceptual	7
1.5.3 Espacial.....	8
1.6 LIMITANTES EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA U.A.J.M.S.	8
1.7 ALCANCE DEL PROYECTO.....	8

CAPÍTULO II CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA

2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	9
2.1.1 Definición de vertedero.....	9
2.1.2 Clasificación de los vertederos.....	9
2.1.3 Según el espesor de la pared	9
2.1.4 Según su forma geométrica	10
2.1.5 Elementos de un vertedero	11
2.2 VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER	12
2.2.1 Ecuación del vertedero cimacio tipo Creager	17
2.3 MODELOS TEÓRICOS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE DESCARGA DE VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER (C).....	18
2.3.1 Francis	18
2.3.2 Diseño de Pequeñas Presas de Bureau of Reclamation (U.S.B.R)	18
2.3.3 Konavalov (KROCHIN)	19

2.4	VERTEDERO RECTANGULAR DE ARISTA VIVA.....	20
2.4.1	Consideraciones en vertederos rectangulares de arista viva.	21
2.4.2	Coefficiente de descarga del vertedero rectangular de arista viva23	
2.5	MODELOS TEÓRICOS PARA CALCULAR LOS COEFICIENTES DE DESCARGAS EN VERTEDERO RECTANGULAR DE ARISTA VIVA (Cd)	24
2.5.1	Modelo de Bazin.	24
2.5.2	Vertedero de pared gruesa del libro de Hidráulica General de Gilberto Sotelo Ávila.	25

CAPÍTULO III DETERMINACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE CALIBRACIÓN

3.1	CONCEPTOS BÁSICOS	27
3.1.1	Modelo hidráulico para calibrar los dos vertederos.	27
3.2	VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE CALIBRACIÓN DE LOS DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA	29
3.3	EQUIPOS A USAR EN EL ENSAYO DE CALIBRACIÓN DE LOS VERTEDEROS ..	29
3.3.1	Medidor de Caudal electromagnético ML 110.....	29
3.3.2	Características	30
3.4	VERTEDEROS A UTILIZAR EN EL CANAL REHBOCK.....	30
3.5	CONSTRUCCIÓN DE LOS VERTEDEROS.....	31
3.5.1	Vertedero cimacio tipo Creager	34
3.5.2	Vertedero rectangular de arista viva.....	35

CAPÍTULO IV MÉTODO PARA DETERMINAR EL GRADO DE PRECISIÓN

4.1	CONCEPTOS BÁSICOS	39
4.1.1	NB/ISO 5725 Exactitud (veracidad y precisión) de métodos de medición y resultados ..	39
4.1.2	Objetivo	39
4.2	DEFINICIONES.....	39
4.3	REQUISITOS PARA EL ENSAYO DE PRECISIÓN	41
4.3.1	Disposición del ensayo.....	41
4.3.2	Preparación de los materiales para los laboratorios.....	41
4.4	PERSONAL INVOLUCRADO EN EL ENSAYO DE PRECISIÓN	41
4.4.1	Comisión.....	41
4.4.2	Supervisores.....	42
4.4.3	Operadores	43
4.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE PRECISIÓN.....	43
4.5.1	Consideraciones preliminares	43

4.6 ESTIMADOS DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO BÁSICO	44
4.6.1 El modelo básico.....	44
4.6.2 Media general (m).....	44
4.6.3 Termino B.....	44
4.6.4 Termino error e	45
4.6.5 Relación entre el modelo básico y la precisión	45
4.6.6 Determinación de S_T y S_R	46
4.7 TABULACIÓN DE LOS ENSAYOS Y ANOTACIÓN UTILIZADA.....	47
4.7.1 Celdas	47
4.7.2 Datos redundantes.....	47
4.7.3 Datos faltantes.....	47
4.7.4 Valores atípicos.....	47
4.7.5 Laboratorios atípicos.....	47
4.8 RESULTADOS DE ENSAYOS Y LABORATORIOS	47
4.8.1 Resultados originales del ensayo.....	48
4.8.2 Celdas de valores medios.....	48
4.8.3 Medidas de la dispersión de las celdas.	48
4.8.4 Método de medición estándar	50
4.8.5 Sesgo del laboratorio.....	50
4.9 NÚMERO REQUERIDO DE ENSAYOS Y LABORATORIOS.....	51
4.9.1 Número de resultados de ensayo (n)	51
4.9.2 Numero de laboratorios (p)	51
4.9.3 Estimación del sesgo del método de medición normalizado	53
4.10 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y VALORES ATÍPICOS DE LOS ENSAYOS Y LABORATORIOS	53
4.11 TÉCNICA DE CONSISTENCIA GRÁFICA.....	53
4.11.1 Análisis de h	54
4.11.2 Análisis de k	55
4.12 PRUEBA NUMÉRICA DE VALORES ATÍPICOS.....	56
4.12.1 Ensayo de Cochran	56
4.12.2 Ensayo de Grubb	58
4.12.3 Detección de dos observaciones aberrantes	59
4.12.4 Datos corregidos y eliminados.....	60
4.12.5 Flujograma para determinar el grado de precisión de los dos vertederos.	62

CAPÍTULO V VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER

5.1 ENSAYO EN EL VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER	63
5.1.1 Procedimiento	63
5.2 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA	65

5.3 CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER.....	70
5.3.1 Ecuacion calibrada	72
5.3.2 Caudales generados con los coeficientes de descarga teóricos	73
5.4 COMPARACIÓN DE CAUDALES TEÓRICOS CON LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.....	74
5.4.1 Francis	74
5.4.2 Coeficiente de descarga según KROCHIN.....	75
5.4.3 Coeficiente de descarga de Bureau of Reclamation (U.S.B.R).....	77
5.4.4 Coeficiente de descarga calibrado (C_c).....	85
5.4.5 Curva del coeficiente de descargada calibrada	88
5.5 VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER.....	90
5.6 GRADO DE PRECISIÓN DEL VERTEDERO CIMACIO TIPO CREAGER	95
5.6.1 Verificación y validación de los resultados de ensayos en el laboratorio	95
5.6.2 Número de ensayos y laboratorios	97
5.6.3 Cálculo de (m), desviación típica de repetibilidad S_r , y reproducibilidad S_R	98
5.6.4 Número de ensayos por laboratorio (n)	99
5.6.5 Número de laboratorios (p)	100
5.6.6 Test de Mandel.....	101
5.6.7 h estadístico de Mandel.....	101
5.6.8 k Estadístico de Mandel	103
5.6.9 Eliminación de caudales calibrados respetando el número de ensayos y laboratorios ...	104
5.6.10 Ensayo de Cochran y Grubb	107
5.6.11 Detección de ensayos y laboratorios aberrantes	108
5.6.12 Análisis estadístico de resultados de ensayos y laboratorios	114
5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS	116

CAPÍTULO VI VERTEDERO RECTANGULAR DE ARISTA VIVA

6.1 ENSAYO DE VERTEDOR RECTANGULAR DE ARISTA VIVA.....	117
6.1.1 Procedimiento	117
6.2 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA	119
6.3 CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO DE CRESTA ANCHA CON ARISTA VIVA	122
6.3.1 Ecuacion calibrada	124
6.4 Comparación de caudales teóricos con los obtenidos en el laboratorio de hidráulica....	125
6.5 CALIBRACIÓN DEL COEFICIENTE DE DESCARGA C_d	132
6.5.1 Curva de ecuación calibrada del vertedero rectangular de arista viva	133
6.6 VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO RECTANGULAR DE ARISTA VIVA	134

6.6.1	Coeficiente de descarga de Hidráulica de Canales Abiertos de Richard French.....	135
6.6.2	Ecuación de Bazin.....	135
6.6.3	Coeficiente de descarga del libro de Hidráulica General de Gilberto Sotelo Avila	136
6.7	GRADO DE PRECISIÓN (VERTEDERO RECTANGULAR DE ARISTA VIVA)	138
6.7.1	Verificación y validación de los resultados de ensayos en el laboratorio	138
6.7.2	Número de ensayos y laboratorios	139
6.7.3	Número de ensayos por laboratorio.....	140
6.7.4	Test de Mandel.....	142
6.7.5	h estadístico de Mandel.....	142
6.7.6	Estadístico k de Mandel	144
6.7.7	Eliminación de caudales calibrados respetando el número de ensayos y laboratorios ...	146
6.7.8	Ensayos de Cochran y Grubb para determinar valores atípicos	147
6.7.9	Ensayo de Cochran	147
6.7.10	Ensayo de Grubb	148
6.7.11	Análisis estadístico de resultados de ensayos y laboratorios	152
6.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	154
6.9	APLICACIÓN	154
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	155
	BIBLIOGRAFÍA.....	164