

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**“Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la
práctica: *vertederos de pared delgada*, de la asignatura
Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay”**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores:

JUAN CARLOS JIMÉNEZ JIMÉNEZ
JULIO CÉSAR MOROCHO JIMÉNEZ

Directora:

MARÍA BELÉN ARÉVALO DURAZNO

CUENCA-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo quiero dedicar con todo mi amor y admiración a mis Padres por ser el motor fundamental en mi vida, por el sacrificio y esfuerzo que realizaron para que pueda cumplir mi sueño, por su apoyo incondicional y su paciencia, por creer siempre en mí, ellos han dado razón a mi vida, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mis hermanos quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante luchando por mis sueños y poder cumplir con esta meta tan anhelada.

Juan Jiménez J.

Este trabajo de titulación es dedicado principalmente a Dios, quien me ha permitido estar hoy cumpliendo este sueño, a mis padres quienes fueron un pilar fundamental en esta etapa de mi vida, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mis hermanos quienes fueron los que me impulsaron a seguir adelante.

Julio Morocho J.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y la oportunidad de cumplir este sueño, en especial a mis padres Víctor y Martha, quienes siempre me brindaron su apoyo y su cariño incondicional cuando más los necesité. A mis hermanos: Hugo, Mónica y Adrián, a ustedes mi respeto y admiración por ser un gran apoyo para mí. Gracias a toda mi familia por apoyarme en todo este proceso; no ha sido fácil pero gracias a su apoyo, amor y sobre todo a su inmensa bondad, lo he podido lograr. A mi novia Lili, que ha sido parte de este largo camino, por darme ánimos y fuerzas para poder culminar con mi carrera.

Este logro en gran parte es gracias a ustedes, por estar ahí día a día brindándome sus consejos, dándome todo su amor y apoyo para que pueda concluir con éxito este objetivo que en un principio parecía interminable.

Juan Jiménez J.

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por darme la vida y salud necesaria para poder concluir esta etapa de mi vida, a mis padres Jorge y Carmen por estar siempre a mi lado apoyándome tanto en las buenas como en las malas, brindándome sus sabios consejos e inculcándome buenos valores y sabiendo guiarme por el camino correcto, a mis hermanos Jorge, Pamela, Christian y Christopher, por estar siempre presentes cuando más lo he necesitado, siendo fuente de inspiración y motivación para superarme cada día más, a mis compañeros de clase quienes me acompañaron y caminaron junto a mí en esta ardua tarea del aprendizaje, compartiendo con ellos buenos y malos momentos. A mi familia que de una u otra forma me ayudaron en este largo camino universitario.

Julio Morocho J.

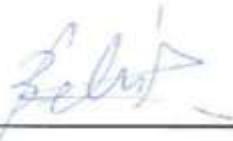
De manera especial agradecemos a la Ingeniera María Belén Arévalo (Directora) y los Ingenieros Josué Larriva y Juan Carlos Malo por el tiempo que emplearon para sacar adelante este proyecto, por brindarnos los conocimientos, guías y pautas necesarias para concluir satisfactoriamente este trabajo de titulación.

**“ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y LA GUÍA METODOLÓGICA
PARA LA PRÁCTICA: VERTEDEROS DE PARED DELGADA DE LA
ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD DEL
AZUAY”**

RESUMEN

En el presente trabajo se elaboró el modelo físico y la guía metodológica para la práctica de vertederos de pared delgada de la asignatura de mecánica de fluidos. El modelo físico elaborado tiene la capacidad de realizar varios tipos de prácticas: vertedero rectangular sin contracciones laterales, vertedero rectangular con contracciones laterales y vertedero triangular, con la posibilidad de variar el parámetro de caudal. La guía metodológica describe la secuencia de pasos que se debe seguir para realizar dicha práctica, e incluye el modelo de ficha de resultados para el registro y tabulación de los valores obtenidos.

Palabras clave: mecánica de fluidos, modelo físico, vertederos, guía metodológica, caudal



Ing. María Belén Arévalo Durazno. M.Sc.
Director del Trabajo de Titulación



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc.
Director de la Escuela



Julio César Morocho Jiménez



Juan Carlos Jiménez Jiménez

Autores

**“ELABORATION OF THE PHYSICAL MODEL AND THE
METHODOLOGICAL GUIDES FOR THE THIN WALL WEIRS PRACTICES
OF THE FLUID MECHANICS SUBJECT OF THE UNIVERSITY OF AZUAY”**

ABSTRACT

In this work, the physical model and the methodological guides for the practices of thin wall weirs of the fluid mechanics subject were elaborated. The elaborated model had the capacity to perform three types of practices: rectangular weir without lateral contractions, rectangular weir with lateral contractions and triangular weir. It was possible to vary the flow parameter. The methodological guides described the sequence of steps to be followed in order to carry out these practices and included the results form to record and tabulate the obtained values.

Keywords: fluid mechanics, physical model, landfills, methodological guide, flow.



Ing. María Belén Arévalo Durazno. M.Sc.

Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc.

Faculty Director



Julio César Morocho Jiménez



Juan Carlos Jiménez Jiménez

Authors

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRAC.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
ANTECEDENTES.....	xv
PROBLEMÁTICA.....	xvi
JUSTIFICACIÓN.....	xvi
OBJETIVOS.....	xvi
Objetivo general.....	xvi
Objetivos específicos.....	xvi
ALCANCES Y RESULTADOS.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Vertederos.....	1
1.1.1 Definición de vertedero.....	1
1.1.2 Clasificación de los vertederos.....	1
1.2 Fórmulas para determinar el caudal de flujo a través de vertederos de pared delgada.....	5
1.2.1 Expresión para el caudal en vertedero rectangular sin contracción lateral.....	5
1.2.2 Expresión para el caudal en vertedero rectangular con contracción lateral.....	6
1.2.3 Expresión para el caudal en vertederos triangulares.....	7
1.3 Guías metodológicas.....	8
1.3.1 Definición.....	8
1.3.2 Objetivos.....	9
CAPÍTULO II.....	10
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MAQUETA DIDÁCTICA DE VERTEDERO DE PARED DELGADA.....	10
2.1 Dimensionamiento de la maqueta.....	10
2.2 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	21

2.3 Construcción del modelo físico para ensayos de vertederos de pared delgada....	23
2.3.1 Materiales para la construcción del vertedero y canal rectangular para los ensayos de laboratorio	23
2.3.2 Materiales para la construcción del sistema de recirculación del agua	26
2.4 Validación de datos	32
CAPÍTULO III	39
ELABORACIÓN DE GUÍAS METODOLÓGICAS	39
3.1 Estructura de las guías metodológicas.....	39
3.1.1 Objetivos de la práctica	39
3.1.2 Descripción.....	39
3.1.3 Expresiones para calcular el caudal de un vertedero de pared delgada de sección conocida según el método teórico	39
3.1.4 Expresiones para calcular el caudal de un vertedero de pared delgada de sección conocida según el método experimental.....	40
3.1.5 Partes del modelo físico.....	40
3.1.6 Dimensiones del vertedero	40
3.1.7 Método experimental.....	40
3.1.8 Método teórico.....	40
3.1.9 Ficha de resultados	40
3.1.10 Preguntas: discusión y análisis	41
3.1.11 Recomendaciones	41
3.2 Guía Metodológica para determinar el caudal del vertedero rectangular de pared delgada sin contracciones laterales.....	41
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS N°1	41
DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES LATERALES	41
1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA	41
2. DESCRIPCIÓN	41
3. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES LATERALES SEGÚN EL MÉTODO TEÓRICO	42
5. PARTES DEL MODELO FÍSICO	44
6. DIMENSIONES DEL VERTEDERO.....	44
7. MÉTODO EXPERIMENTAL	45
8. MÉTODO TEÓRICO.....	50
9. FICHAS DE RESULTADOS.....	53
10. PREGUNTAS: Discusión y análisis	56
11. RECOMENDACIONES	56

3.3 Guía Metodológica para determinar el caudal del vertedero rectangular de pared delgada con contracciones laterales.....	57
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS N°2.....	57
DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES.....	57
1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.....	57
2. DESCRIPCIÓN.....	57
3. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES SEGÚN EL MÉTODO TEÓRICO.....	58
4. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SEGÚN EL MÉTODO EXPERIMENTAL.....	59
5. PARTES DEL MODELO FÍSICO.....	60
6. DIMENSIONES DEL VERTEDERO.....	60
7. MÉTODO EXPERIMENTAL.....	61
8. MÉTODO TEÓRICO.....	67
9. FICHAS DE RESULTADOS.....	70
10. PREGUNTAS: Discusión y análisis.....	72
11. RECOMENDACIONES.....	72
3.4 Guía Metodológica para determinar el caudal del vertedero triangular de pared delgada.....	73
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS N°3.....	73
DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN VERTEDERO TRIANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES.....	73
1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.....	73
2. DESCRIPCIÓN.....	73
3. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES SEGÚN EL MÉTODO TEÓRICO.....	74
4. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SEGÚN EL MÉTODO EXPERIMENTAL.....	75
5. PARTES DEL MODELO FÍSICO.....	75
6. DIMENSIONES DEL VERTEDERO.....	76
7. MÉTODO EXPERIMENTAL.....	76
8. MÉTODO TEÓRICO.....	82
9. FICHAS DE RESULTADOS.....	85
10. PREGUNTAS: Discusión y análisis.....	87
11. RECOMENDACIONES.....	87

3.5 Conclusiones del modelo físico	88
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vertederos según su forma geométrica.....	3
Figura 1.2 Vertederos según la altura de la lámina aguas abajo	4
Figura 1.3 Vertederos según la longitud de la cresta.....	4
Figura 1.4 Flujo a través de un vertedero rectangular	5
Figura 1.5 Forma de descarga en un vertedero triangular	7
Figura 2.1 Dimensiones del vertedero rectangular sin contracciones laterales.....	11
Figura 2.2 Dimensiones del vertedero rectangular con contracciones laterales.....	11
Figura 2.3 Dimensiones del vertedero triangular	12
Figura 2.4 Isometría del vertedero rectangular con contracciones laterales	14
Figura 2.5 Isometría del vertedero rectangular sin contracciones laterales.....	14
Figura 2.6 Isometría del vertedero triangular	15
Figura 2.7 Vista frontal del vertedero rectangular con contracciones laterales	16
Figura 2.8 Vista frontal del vertedero rectangular sin contracciones laterales.....	16
Figura 2.9 Vista frontal del vertedero triangular	17
Figura 2.10 Dimensionamiento del modelo físico de vertedero rectangular con contracciones laterales	18
Figura 2.11 Dimensionamiento del modelo físico de vertedero rectangular sin contracciones laterales	19
Figura 2.12 Dimensionamiento del modelo físico de vertedero triangular	20
Figura 2.13 Dimensiones del tanque de almacenamiento	22
Figura 2.14 Especificaciones de los volúmenes del modelo físico	22
Figura 2.15 Vidrio templado	23
Figura 2.16 Silicón estructural	24
Figura 2.17 Tiras de caucho	24
Figura 2.18 Canal de aluminio	25
Figura 2.19 Ángulo metálico.....	25
Figura 2.20 Planchas de aluminio inoxidable	26
Figura 2.21 Bomba de agua 2HP.....	26
Figura 2.22 Válvula check.....	27
Figura 2.23 Tuberías.....	27
Figura 2.24 Tuberías.....	28
Figura 2.25 Neplo de plástico.....	28
Figura 2.26 Codo 90°	29
Figura 2.27 Válvula de paso.....	29
Figura 2.28 Buje reductor.....	30
Figura 2.29 Tee de plástico	30
Figura 2.30 Cinta teflón.....	31
Figura 2.31 Planchas de acero galvanizado.....	31
Figura 3.1 Flujo a través de un vertedero rectangular	42
Figura 3.2 Partes del modelo físico	44
Figura 3.3 Dimensiones del vertedero rectangular sin contracciones laterales.....	44
Figura 3.4 Ranura para colocar el vertedero rectangular sin contracciones laterales ...	45
Figura 3.5 Colocación de la tira de caucho	45
Figura 3.6 Llenado del tanque de almacenamiento	46
Figura 3.7 Llenado del modelo físico.....	46
Figura 3.8 Conexión eléctrica.....	46
Figura 3.9 Abertura de la llave de paso 2	47
Figura 3.10 Abertura del tapón de cebado.....	47

Figura 3.11	Llenado de agua en la cámara de la bomba	47
Figura 3.12	Cerrado del tapón de cebado	48
Figura 3.13	Encendido de la bomba, con las válvulas de paso abiertas	48
Figura 3.14	Toma de muestras	49
Figura 3.15	Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador	49
Figura 3.16	Apagado de la bomba.....	50
Figura 3.17	Encendido de la bomba	50
Figura 3.18	Abertura de las válvulas de paso.....	51
Figura 3.19	Medición de la carga hidráulica	51
Figura 3.20	Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador	52
Figura 3.21	Apagado de la bomba.....	52
Figura 3.22	Flujo a través de un vertedero rectangular	58
Figura 3.23	Partes del modelo físico	60
Figura 3.24	Dimensiones del vertedero rectangular con contracciones laterales.....	60
Figura 3.25	Ranura para colocar el vertedero rectangular con contracciones laterales	61
Figura 3.26	Colocación de la tira de caucho	62
Figura 3.27	Llenado del tanque de almacenamiento	62
Figura 3.28	Llenado del modelo físico.....	63
Figura 3.29	Conexión eléctrica.....	63
Figura 3.30	Abertura de la llave de paso 2	63
Figura 3.31	Abertura del tapón de cebado.....	64
Figura 3.32	Llenado de agua en la cámara de la bomba	64
Figura 3.33	Cerrado del tapón de cebado	64
Figura 3.34	Encendido de la bomba, con las válvulas de paso abiertas	65
Figura 3.35	Toma de muestras	65
Figura 3.36	Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador	66
Figura 3.37	Dimensiones del vertedero rectangular con contracciones laterales.....	66
Figura 3.38	Encendido de la bomba	67
Figura 3.39	Abertura de las válvulas de paso.....	67
Figura 3.40	Medición de la carga hidráulica	68
Figura 3.41	Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador	68
Figura 3.42	Apagado de la bomba.....	69
Figura 3.43	Forma de descarga en un Vertedero Triangular.....	74
Figura 3.44	Encendido de la bomba	75
Figura 3.45	Dimensiones del vertedero triangular	76
Figura 3.46	Ranura para colocar el vertedero triangular	77
Figura 3.47	Colocación de la tira de caucho	77
Figura 3.48	Llenado del tanque de almacenamiento	78
Figura 3.49	Llenado del modelo físico.....	78
Figura 3.50	Conexión eléctrica.....	78
Figura 3.51	Abertura de la llave de paso 2	79
Figura 3.52	Abertura del tapón de cebado.....	79
Figura 3.53	Llenado de agua en la cámara de la bomba	79
Figura 3.54	Cerrado del tapón de cebado	80
Figura 3.55	Encendido de la bomba, con las válvulas de paso abiertas	80
Figura 3.56	Toma de muestras	81
Figura 3.57	Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador	81
Figura 3.58	Apagado de la bomba.....	82
Figura 3.59	Encendido de la bomba	82
Figura 3.60	Abertura de las válvulas de paso.....	83

Figura 3.61 Medición de la carga hidráulica	83
Figura 3.62 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador	84
Figura 3.63 Apagado de la bomba.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Cálculo carga hidráulica de vertedero rectangular sin contracción lateral para el caudal de diseño de 3 lt/s (Cálculo Cd según fórmula de Bazin ampliada por Hégly)	12
Tabla 2.2 Cálculo carga hidráulica de vertedero rectangular sin contracción lateral para el caudal de diseño de 3 lt/s (Cálculo Cd según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)	12
Tabla 2.3 Cálculo carga hidráulica de vertedero rectangular con contracciones laterales para el caudal de diseño de 3 lt/s	13
Tabla 2.4 Cálculo carga hidráulica de vertedero triangular para el caudal de diseño de 3 lt/s	13
Tabla 2.5 Cálculo de volumen total necesario en el modelo físico, determinado con el vertedero que produce la mayor carga hidráulica con el caudal de diseño	21
Tabla 2.6 Cálculo del caudal por el método experimental (método volumétrico) para un vertedero rectangular sin contracciones laterales	33
Tabla 2.7 Cálculo del caudal por el método experimental (método volumétrico) para un vertedero rectangular con contracciones laterales	33
Tabla 2.8 Cálculo del caudal por el método experimental (método volumétrico) para un vertedero triangular	33
Tabla 2.9 Cálculo de caudal por el método teórico para un vertedero rectangular sin contracciones laterales (Cálculo de CD según fórmula de Bazin ampliada por Hégly)	35
Tabla 2.10 Cálculo de caudal por el método teórico para un vertedero rectangular sin contracciones laterales (Cálculo de CD según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)	35
Tabla 2.11 Cálculo del caudal por el método teórico para un vertedero rectangular con contracciones laterales	36
Tabla 2.12 Cálculo del caudal por el método teórico para un vertedero triangular	36
Tabla 2.13 Comparación de los caudales, calculados por los diferentes métodos analizados para un vertedero rectangular sin contracciones laterales	37
Tabla 2.14 Comparación de los caudales, calculados por los diferentes métodos analizados para un vertedero rectangular con contracciones laterales	37
Tabla 2.15 Comparación de los caudales, calculados por los diferentes métodos analizados para un vertedero triangular	38
Tabla 3.1 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular sin contracciones laterales mediante el método experimental	53
Tabla 3.2 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular sin contracciones laterales mediante el método teórico (Cd según fórmula de Bazin aplicada por Hégly)	54
Tabla 3.3 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular sin contracciones laterales mediante el método teórico (Cd según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)	55
Tabla 3.4 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular con contracciones laterales mediante el método experimental	70
Tabla 3.5 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular con contracciones laterales mediante el método teórico	71
Tabla 3.6 Ficha para obtención de datos del vertedero triangular mediante el método experimental	85
Tabla 3.7 Ficha para obtención de datos del vertedero triangular mediante el método teórico	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Anexo fotográfico del modelo físico y sistema de recirculación.....	93
---	----

Jiménez Jiménez Juan Carlos

Morocho Jiménez Julio Cesar

Trabajo de Titulación

Ing. María Belén Arévalo Durazno M.Sc.

**“ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y LA GUÍA
METODOLÓGICA PARA LA PRÁCTICA: *VERTEDEROS DE
PARED DELGADA*, DE LA ASIGNATURA MECÁNICA DE
FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY”**

INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay con el fin de mejorar el nivel académico de sus estudiantes pretende implementar el laboratorio de Hidráulica, el mismo, que servirá para complementar las clases teóricas de las asignaturas de Mecánica de Fluidos e Hidrosanitaria. Para el equipamiento de dicho laboratorio, se requieren modelos físicos para diferentes prácticas, con sus respectivas guías metodológicas y fichas técnicas. Una de estas prácticas es la comprensión experimental del comportamiento de los vertederos de pared delgada. En el modelo físico a escala de vertederos, se podrá comprobar la ecuación del gasto que se descarga por un vertedero tanto rectangular como triangular, y comparar el gasto calculado con el aforado volumétricamente.

ANTECEDENTES

La Universidad del Azuay en la actualidad no dispone de equipos de laboratorio para asignaturas de Mecánica de Fluidos e Hidrosanitaria, es por eso, que un grupo de estudiantes con la ayuda de los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil nos hemos propuesto realizar modelos físicos con su respectiva guía metodológica para los diferentes ensayos de laboratorio de estas materias, lo cual, ayudará a complementar las clases teóricas con la práctica y comprender como funciona cada elemento hidráulico en la naturaleza. Estos proyectos se realizan como trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones.

PROBLEMÁTICA

Para la enseñanza de la Hidráulica es muy importante la experimentación con la cual se puede verificar los métodos teóricos y empíricos que simulan el comportamiento del agua. Dentro de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay no se dispone de un laboratorio de Hidráulica, por lo que las clases de las asignaturas relacionadas con ella, son netamente teóricas. Existe por lo tanto una comprensión incompleta por parte de los estudiantes de los fenómenos hidráulicos. La intención de este trabajo es contribuir en el crecimiento académico de los estudiantes, de tal forma que, mediante estas prácticas, ellos puedan entender el funcionamiento de los vertederos.

JUSTIFICACIÓN

La ingeniería civil es una carrera profesional que debe mantenerse actualizada constantemente, incorporando al estudio de los hechos que se presentan día a día en la naturaleza, los nuevos elementos tecnológicos. Es por eso que la Universidad del Azuay, con miras a mejorar el nivel académico de sus estudiantes, ha visto la necesidad de implementar un laboratorio de Hidráulica, ya que, no se dispone de equipos para ensayos de esta asignatura, es por eso que con ayuda de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay se ha planteado realizar un modelo físico de vertedero de pared delgada y elaboración de la guía metodológica para ensayos de laboratorio en la asignatura de Mecánica de Fluidos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar el modelo físico y la guía metodológica para la práctica de laboratorio de vertederos de pared delgada.

Objetivos específicos

Investigar y entender, la información existente sobre los vertederos.

Diseñar el modelo físico, con toda la información obtenida, y ponerla en funcionamiento.

Elaborar las guías metodológicas para los diferentes ensayos.

ALCANCES Y RESULTADOS

Con este proyecto, se pretende realizar una ficha formato para la realización de la práctica de laboratorio, que incluirá todos los datos necesarios para la obtención de los parámetros que se requieren para el cálculo de vertederos, para lo cual será necesario:

Realizar el modelo físico, con vertederos de secciones diferentes para obtener los caudales correspondientes.

Realizar el ensayo de carga hidráulica, con el objetivo de determinar el caudal de salida del vertedero rectangular de pared delgada sin contracciones laterales.

Realizar el ensayo de carga hidráulica, con el objetivo de determinar el caudal de salida del vertedero rectangular de pared delgada con contracciones laterales.

Realizar el ensayo de carga hidráulica, con el objetivo de determinar el caudal de salida del vertedero triangular de pared delgada.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Vertederos

1.1.1 Definición de vertedero

Un vertedero es una estructura hidráulica, que intercepta una corriente de un fluido con superficie libre, produciendo un aumento de nivel del líquido aguas arriba. Los vertederos sirven para evacuar los excesos de agua que se encuentran por encima de su nivel de operación, o bien para medir el caudal que circula por el canal. El caudal de un vertedero depende de la altura de la carga hidráulica, como de su geometría (Gutiérrez Lozano, 2016).

Según Martínez Ramos (2011) un vertedero es un dispositivo hidráulico constituido por una pared perpendicular al flujo, a través del cual se hace circular el fluido. Hidráulicamente es un orificio que no está totalmente ahogado por el nivel de aguas arriba, de manera que la parte del orificio está libre o sea es el equivalente de un orificio sin borde superior.

1.1.2 Clasificación de los vertederos

Se pueden clasificar según las siguientes características.

1.1.2.1 Según el espesor de su pared

Vertedero de pared delgada

También son conocidos como vertederos de cresta delgada o pared aguda, son vertederos contruidos de una hoja delgada de metal o de otro material de pequeño espesor colocado perpendicular al flujo. Sirven para medir caudales con gran precisión siempre que estén bien instalados. Debe existir una poza de amortiguamiento o un canal de acceso aguas arriba para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero suavemente (Lux Monroy, 2010).

Vertedero de pared gruesa

Este tipo de vertederos se utilizan principalmente para el control de los niveles de ríos y canales, son estructuras fuertes que no son dañadas fácilmente y pueden manejar grandes caudales. Estas estructuras pueden ser calibradas y usadas para la medición de caudales (Cabrera Guerrero, 2014).

1.1.2.2 Según su forma geométrica

Vertederos de pared delgada

- Rectangulares
- Triangulares
- Trapezoidales
- Circulares
- Semicirculares
- Parabólicos
- Simétricos
- Asimétricos
- Exponenciales

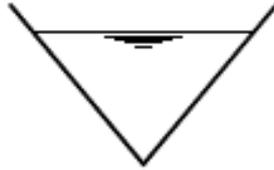
Vertederos de pared gruesa

- Rectangulares de arista viva
- De cresta redondeada y talud vertical
- Cresta redondeada y talud inclinado hacia aguas abajo
- De cresta elíptica y talud inclinado hacia aguas abajo
- Vertedero Cimacio o de Creager

Como se presenta en la figura 1.1 existen diferentes tipos de secciones de vertederos de pared delgada:



(a) Rectangular



(b) Triangular



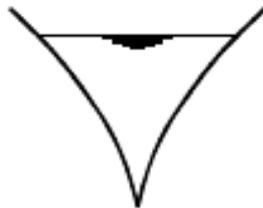
(c) Trapecial



(d) Circular



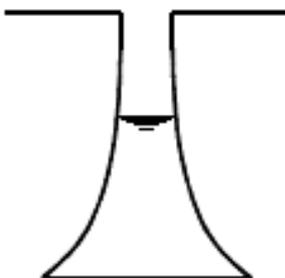
(e) Parabólico



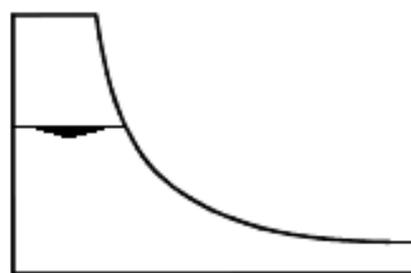
(f) Parábola semicúbica



(g) Mixto



(h) Hiperbólico



(i) Proporcional

Figura 1.1 Vertederos según su forma geométrica

Fuente: Hidráulica de tuberías y canales (Rocha Felices, 2007)

1.1.2.3 Según la altura de la lámina, aguas abajo

De acuerdo con el espesor de la lámina de aguas abajo, los vertederos pueden clasificarse como se presenta en la figura 1.2 en:

Vertederos de descarga libre

Vertederos sumergidos o ahogados

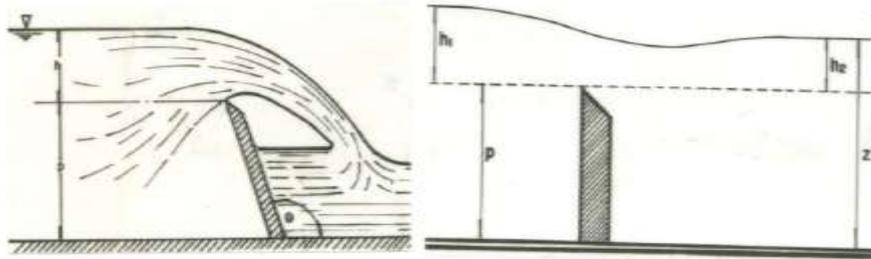


Figura 1.2 Vertederos según la altura de la lámina aguas abajo

Fuente: Manual de prácticas de laboratorio (Marbello Pérez, 2005)

1.1.2.4 Según la longitud de la cresta

Los vertederos de pared delgada se clasifican de acuerdo a la longitud de la cresta como se muestra en la figura 1.3 en:

Vertederos sin contracciones laterales ($b=B$)

Vertederos con contracciones laterales ($b < B$)

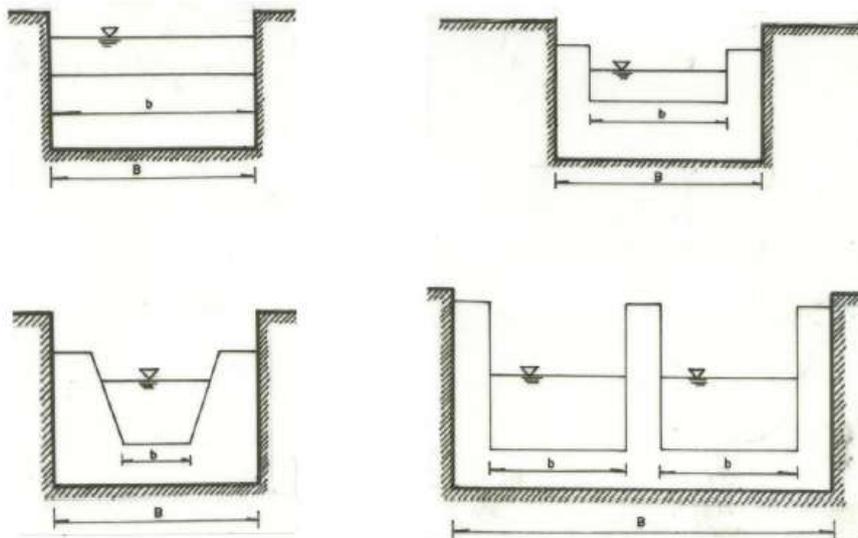


Figura 1.3 Vertederos según la longitud de la cresta

Fuente: Manual de prácticas de laboratorio (Marbello Pérez, 2005)

1.2 Fórmulas para determinar el caudal de flujo a través de vertederos de pared delgada

1.2.1 Expresión para el caudal en vertedero rectangular sin contracción lateral

En la figura 1.4 se esquematiza el flujo a través de un vertedero rectangular, donde se debe considerar que la longitud de la cresta L es igual al ancho del canal B , es decir que no existe contracciones en el vertedero.

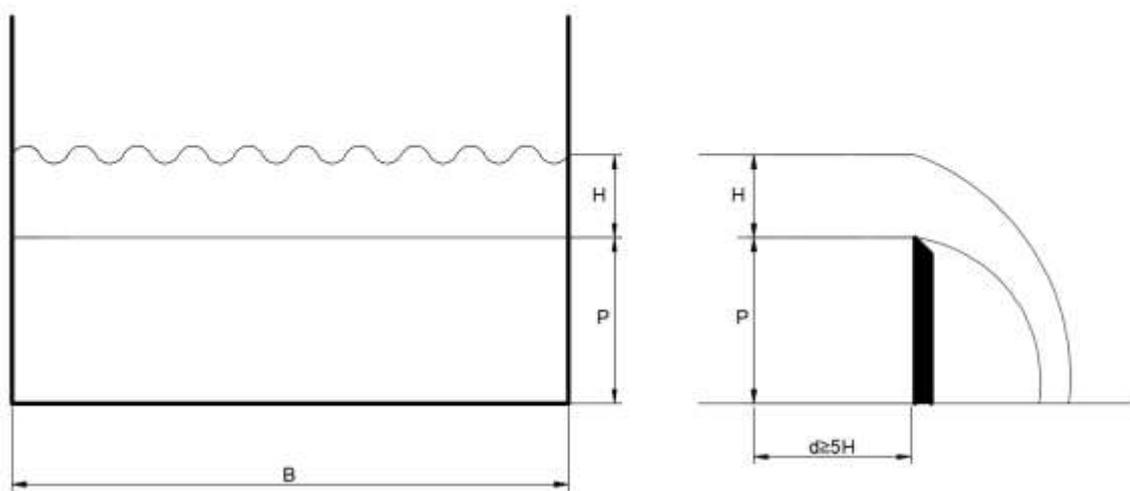


Figura 1.4 Flujo a través de un vertedero rectangular

Fuente: propia

Fórmula general de descarga de los vertederos rectangulares sin contracciones es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_D B H^{\frac{3}{2}} \quad (1.1)$$

Donde:

Q= Caudal (m^3/s)

L= Longitud de la cresta del vertedero (m)

B= Ancho del canal del vertedero

H= Carga hidráulica del vertedero (m)

C_D = Coeficiente de descarga

P= Altura de vertedero

g= Gravedad (m^2/s)

Para el cálculo de C_D :

Según la fórmula de Bazin ampliada por Hégly, si el vertedero es sin contracciones, entonces $B=L$ y el coeficiente de descarga sería (Ngamaliou Nengoue, 2015):

$$C_D = \left[0.6075 + \frac{0.00405}{H} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (1.2)$$

Según la fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, el coeficiente de descarga para vertederos sin contracción es (Ngamaliou Nengoue, 2015):

$$C_D = 0.615 \left[1 + \frac{1}{1000H+1.6} \right] \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (1.3)$$

1.2.2 Expresión para el caudal en vertedero rectangular con contracción lateral

En la figura 1.4 se esquematiza el flujo a través de un vertedero rectangular donde se considera que la longitud de la cresta L es menor al ancho del canal, es decir que existe contracciones en el vertedero.

Para vertederos con dos contracciones, la longitud efectiva de la cresta del vertedero rectangular será (Ngamaliou Nengoue, 2015):

$$Le = \left(L - \frac{2H}{10} \right)$$

Fórmula general de descarga de los vertederos rectangulares con contracciones es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_D Le H^{\frac{3}{2}} \quad (1.4)$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_D \left(L - \frac{2H}{10} \right) H^{\frac{3}{2}} \quad (1.5)$$

Donde:

Q= Caudal (m^3/s)

L= Longitud de la cresta del vertedero (m)

B= Ancho del canal del vertedero

H= Carga hidráulica del vertedero (m)

C_D= Coeficiente de descarga

P= Altura de vertedero

g= Gravedad (m²/s)

Para el cálculo de C_D:

Según la fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, el coeficiente de descarga para vertederos con dos contracciones es (Ngamaliu Nengoue, 2015).

$$C_D = \left[0.578 + 0.037 \left(\frac{L}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 \left(\frac{L}{B} \right)^2}{1000H + 1.6} \right] \left[1 + \frac{1}{2} \frac{L}{B} \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (1.6)$$

1.2.3 Expresión para el caudal en vertederos triangulares

En la figura 1.5 se esquematiza el flujo a través de un vertedero triangular de pared delgada.

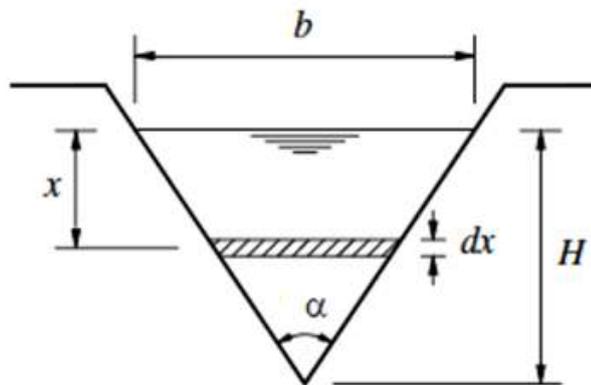


Figura 1.5 Forma de descarga en un vertedero triangular

Fuente: Hidráulica de tuberías y canales (Rocha Felices, 2007)

La fórmula general para vertederos triangulares de un ángulo dado y para coeficientes de C_D tiene como expresión (Marbello Pérez, 2005).

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) H^{\frac{5}{2}} \quad (1.7)$$

$$Q = C_d Q_t \quad (1.8)$$

Donde:

Q_t = Caudal teórico (m^3/s)

h = Altura de carga hidráulica (m)

g = gravedad (m^2/s)

Q = Caudal real (m^3/s)

Según la fórmula de Heyndrick, el coeficiente de descarga para canales triangulares con un ángulo $\theta = 60^\circ$ y cargas normales es igual (Marbello Pérez, 2005):

$$C_d = [0.5775 + 0.214H^{1.25}] \left[1 + \left(\frac{H^2}{b(H+p)} \right)^2 \right] \quad (1.9)$$

Donde b se calcula con la siguiente expresión:

$$b = 2 \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) H \quad (1.10)$$

1.3 Guías metodológicas

1.3.1 Definición

La guía metodológica se define como un conjunto de procesos, conceptos, sugerencias e instrucciones educativas para desarrollar de manera eficaz diferentes actividades (Cassells Vigil, 2005).

También hace referencia al conjunto de principios pedagógicos, temas y pasos didácticos que se deben tener en cuenta para realizar un determinado trabajo que pueden ayudar en la toma de decisiones para estructurar las distintas actividades que se llevarán a cabo. La estructura de la guía debe proporcionar los elementos básicos para el buen desarrollo del proyecto con el fin de garantizar la coherencia y confiabilidad del proceso de acuerdo al plan y permitir la flexibilidad del diseño y la realización de las actividades (Cassells Vigil, 2005).

1.3.2 Objetivos

- Describir ordenadamente los pasos necesarios para el desarrollo de este trabajo con el fin de evitar problemas en la ejecución de la práctica de laboratorio.
- Desarrollar la guía claramente para facilitar a los estudiantes el manejo del modelo físico para la práctica de laboratorio de vertedero de pared delgada.

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MAQUETA DIDÁCTICA DE VERTEDERO DE PARED DELGADA

2.1 Dimensionamiento de la maqueta

Para el dimensionamiento de la maqueta, se comenzó por imponer un rango de caudales que se utilizará para los ensayos de laboratorio. Teniendo en cuenta las características de la bomba que se usará, se determinó el rango de caudales entre $1 - 3 \frac{\text{litros}}{\text{segundos}}$, considerando como caudal de diseño el más alto, y así asegurar que los caudales que están por debajo del máximo trabajen con seguridad en el modelo.

Teniendo en cuenta el caudal de diseño de $3 \frac{\text{litros}}{\text{segundos}}$, se dimensionó un prototipo de maqueta, el mismo que se utilizó para realizar las pruebas de los ensayos de vertederos de pared delgada con las diferentes secciones. Con este prototipo se validó el dimensionamiento, y se realizaron los cambios necesarios para que cumpla con todos los parámetros para los que fueron diseñados.

Para el dimensionamiento del prototipo de modelo, se partió con un ancho de canal previamente establecido de 30 cm, y las dimensiones de cada uno de los vertederos con las diferentes secciones con un ancho igual al ancho del canal. Para el vertedero rectangular sin contracción se consideró una altura de vertedero de 10 cm, para el vertedero rectangular con contracciones laterales se consideró un ancho efectivo de vertedero de 15 cm, teniendo como resultado el ancho de cada uno de las contracciones de 7,5 cm, la altura del vertedero se consideró 15 cm. Para el vertedero triangular se consideró una abertura de vertedero de 60° , con una altura de vertedero de 15cm, hasta el vértice de la abertura. En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se observa las dimensiones para cada uno de los vertederos mencionados.

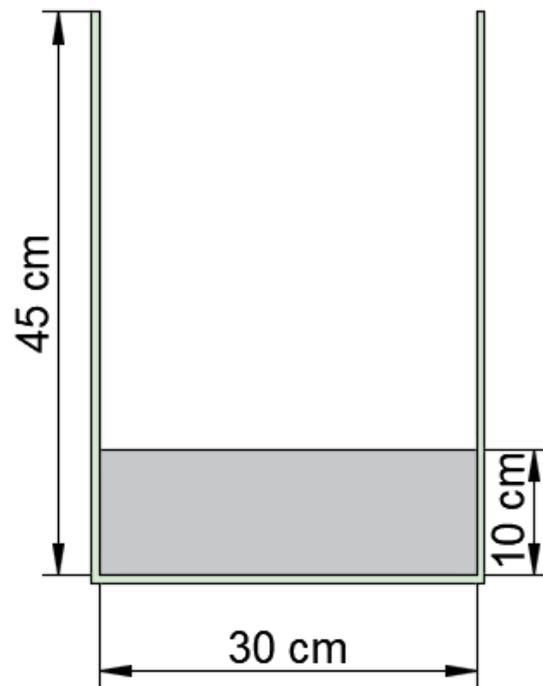


Figura 2.1 Dimensiones del vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia

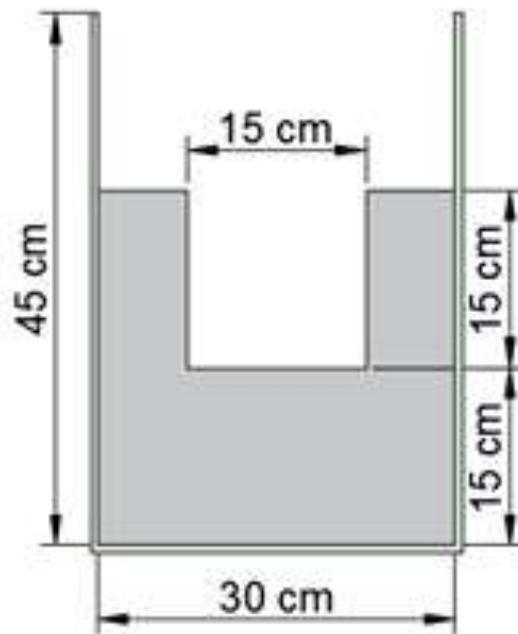


Figura 2.2 Dimensiones del vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

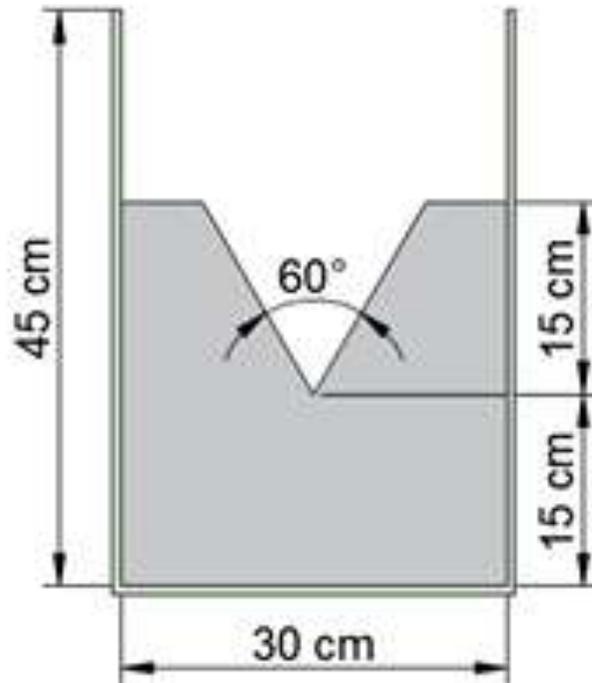


Figura 2.3 Dimensiones del vertedero triangular

Fuente: propia

De acuerdo con las tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 y considerando el caudal de diseño, la mayor altura de carga hidráulica se produce en el vertedero triangular, con un valor de 10,2 cm, es por eso que se determinó la altura del canal de 45 cm, sobrepasando el nivel de la carga hidráulica máxima y estando de lado de la seguridad.

Tabla 2.1 Cálculo carga hidráulica de vertedero rectangular sin contracción lateral para el caudal de diseño de 3 lt/s (Cálculo Cd según fórmula de Bazin ampliada por Hégly)

Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B	Carga del hidráulica vertedero H (m)	Carga del hidráulica vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de Vertedero P (m)	Cd	Q(m/s)	Q(l/s)
0,3	0,3	0,027	2,7	9,81	0,1	0,761	0,004	3,679

Tabla 2.2 Cálculo carga hidráulica de vertedero rectangular sin contracción lateral para el caudal de diseño de 3 lt/s (Cálculo Cd según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)

Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B	Carga del hidráulica vertedero H (m)	Carga del hidráulica vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de Vertedero P (m)	Cd	Q(m/s)	Q(l/s)
0,3	0,3	0,031	3,1	9,81	0,1	0,651613	0,00315	3,15

Tabla 2.3 Cálculo carga hidráulica de vertedero rectangular con contracciones laterales para el caudal de diseño de 3 lt/s

número de contracciones n	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B	Carga del hidráulica vertedero H (m)	Carga del hidráulica vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de Vertedero P (m)	Cd	Q(m/s)	Q(l/s)
2	0,15	0,3	0,05	5	9,81	0,15	0,652817	0,00302	3,02

Tabla 2.4 Cálculo carga hidráulica de vertedero triangular para el caudal de diseño de 3 lt/s

Ángulo θ grados	Longitud de la cresta del vertedero B (m)	Carga del hidráulica vertedero H (m)	Carga del hidráulica vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de Vertedero P (m)	Cd	Qt(l/s)	Q(l/s)	Q(l/s)
60	0,117779455	0,102	10,2	9,81	0,15	0,662311	0,00453	0,003002	3,002

Para el dimensionamiento de la longitud del canal del vertedero, se tomó en cuenta dos aspectos importantes:

1.- Características de la bomba.- De acuerdo a las especificaciones del fabricante, la bomba tiene una capacidad de caudal semejante a $8 \frac{\text{litros}}{\text{segundos}}$, siendo éste un caudal muy elevado para los ensayos que se pretenden realizar, es por eso que se realizó un canal de 1.50 metros de longitud, en el cual se construyó un pequeño vertedero ubicado a 30 cm medido desde la parte posterior del canal con una altura de 25 cm, junto con un depósito que se encuentra ubicado en la parte posterior del canal con una base 30×30 cm, y con una altura de 35 cm. Estos dos dispositivos se construyeron con el fin de reducir la energía del agua, para evitar que se produzca un oleaje a lo largo del canal, y dificulte la medida de las alturas de la carga hidráulica para los diferentes caudales que se analizarán.

2.- Ensayos a realizar.- considerando el caudal máximo de diseño, siendo este de $3 \frac{\text{litros}}{\text{segundos}}$, y teniendo en cuenta que la carga hidráulica máxima se presentará en el vertedero con sección triangular, con un valor de 10,2 cm, la cual se medirá a un longitud mayor o igual a 5 veces la carga hidráulica ($L \geq 5H$), es a 51cm del vertedero, la cual será la longitud mínima del canal.

A partir de las dimensiones válidas del prototipo, se procedió a realizar el modelo definitivo.

En las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 se muestran las vistas isométricas del modelo físico definitivo para las diferentes secciones de vertederos.

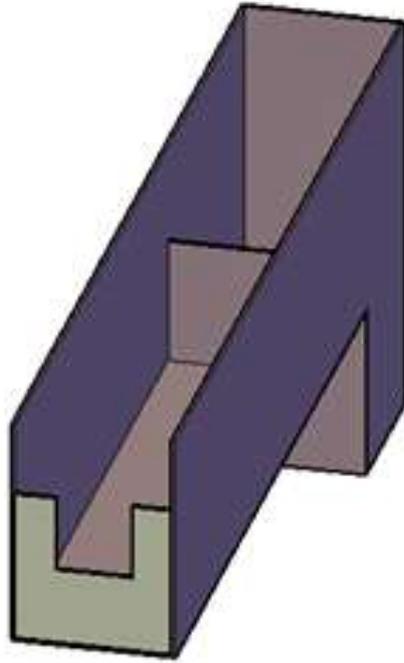


Figura 2.4 Isometría del vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

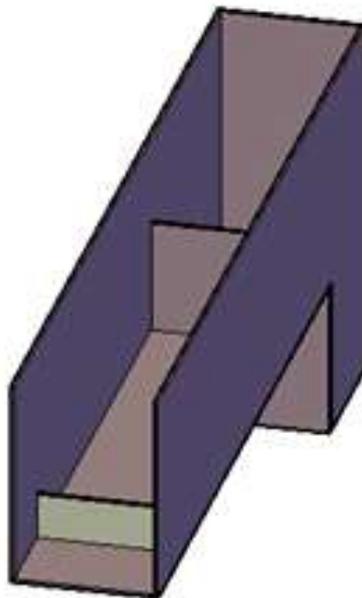


Figura 2.5 Isometría del vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia

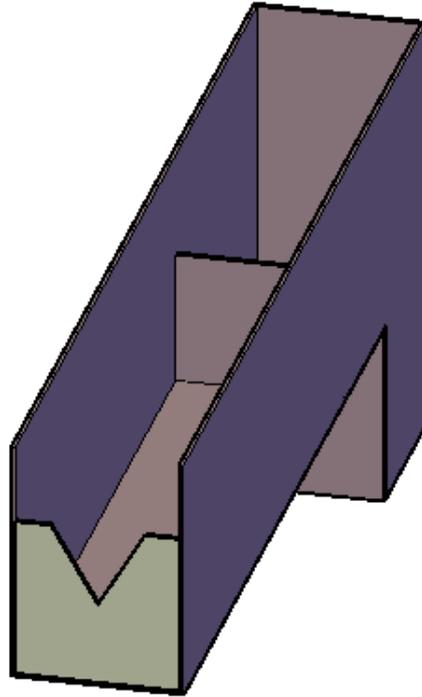


Figura 2.6 Isometría del vertedero triangular

Fuente: propia

En las figuras 2.7, 2.8 y 2.9, se muestra la vista frontal del modelo físico con las dimensiones definitivas para las diferentes secciones de vertederos. Todas las dimensiones se encuentran en metros.

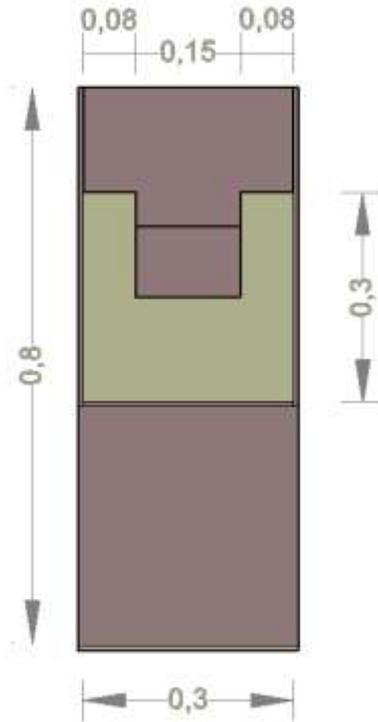


Figura 2.7 Vista frontal del vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

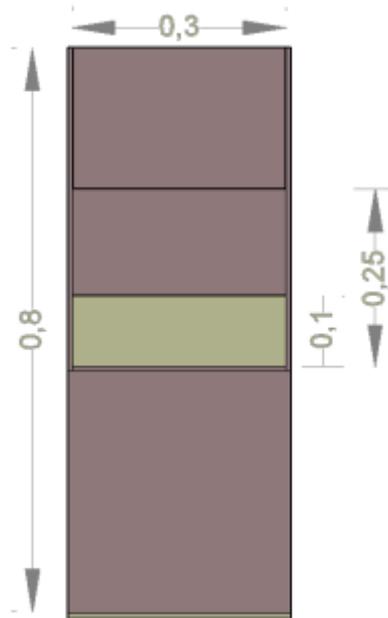


Figura 2.8 Vista frontal del vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia

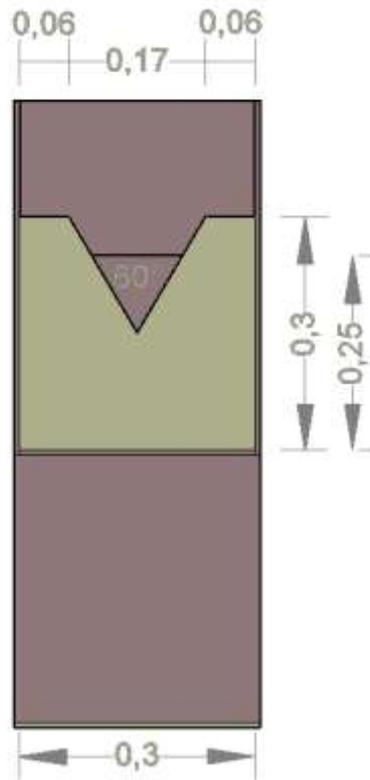


Figura 2.9 Vista frontal del vertedero triangular

Fuente: propia

En las figuras 2.10, 2.11, y 2.12 se muestran las dimensiones definitivas del modelo físico para las diferentes secciones de vertederos.

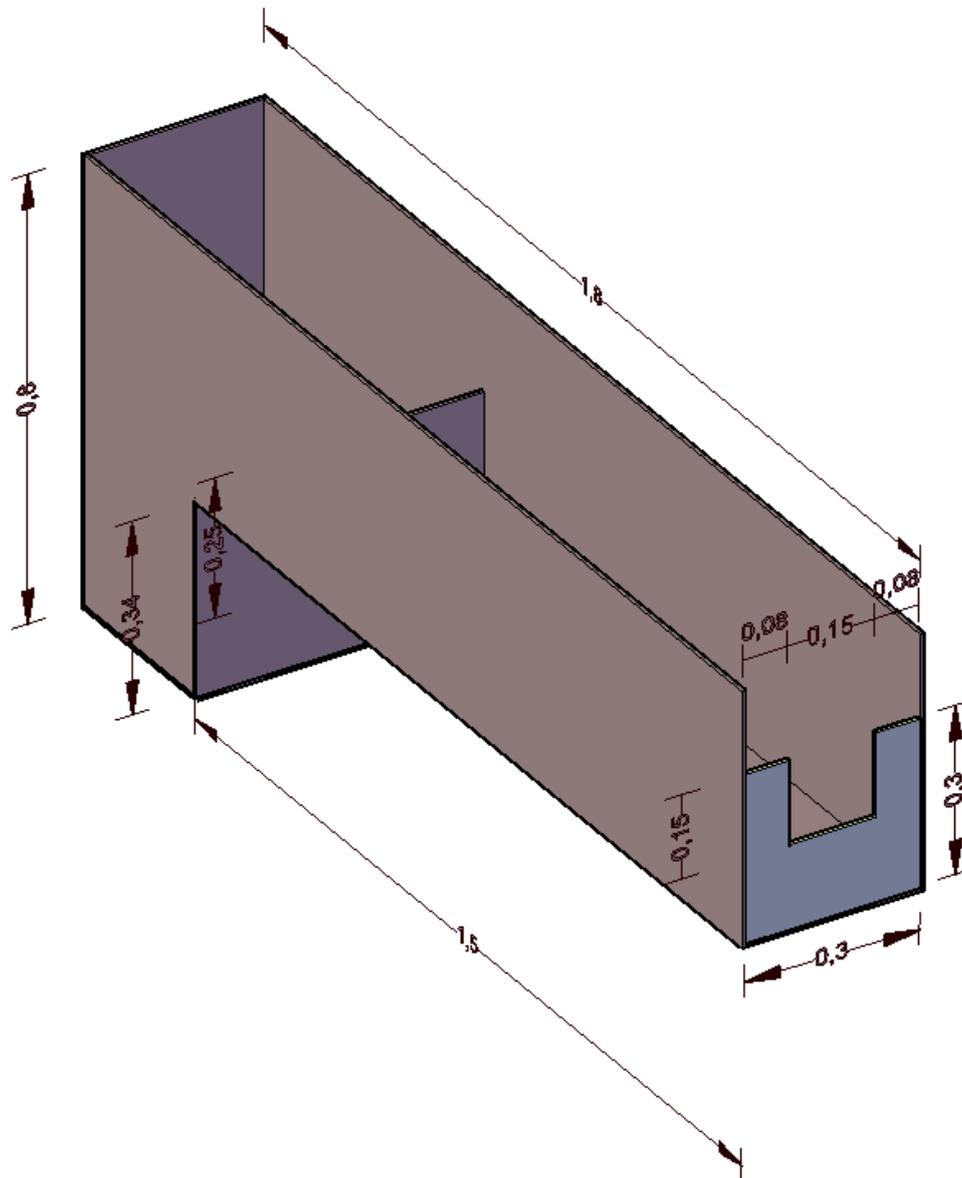


Figura 2.10 Dimensionamiento del modelo físico de vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

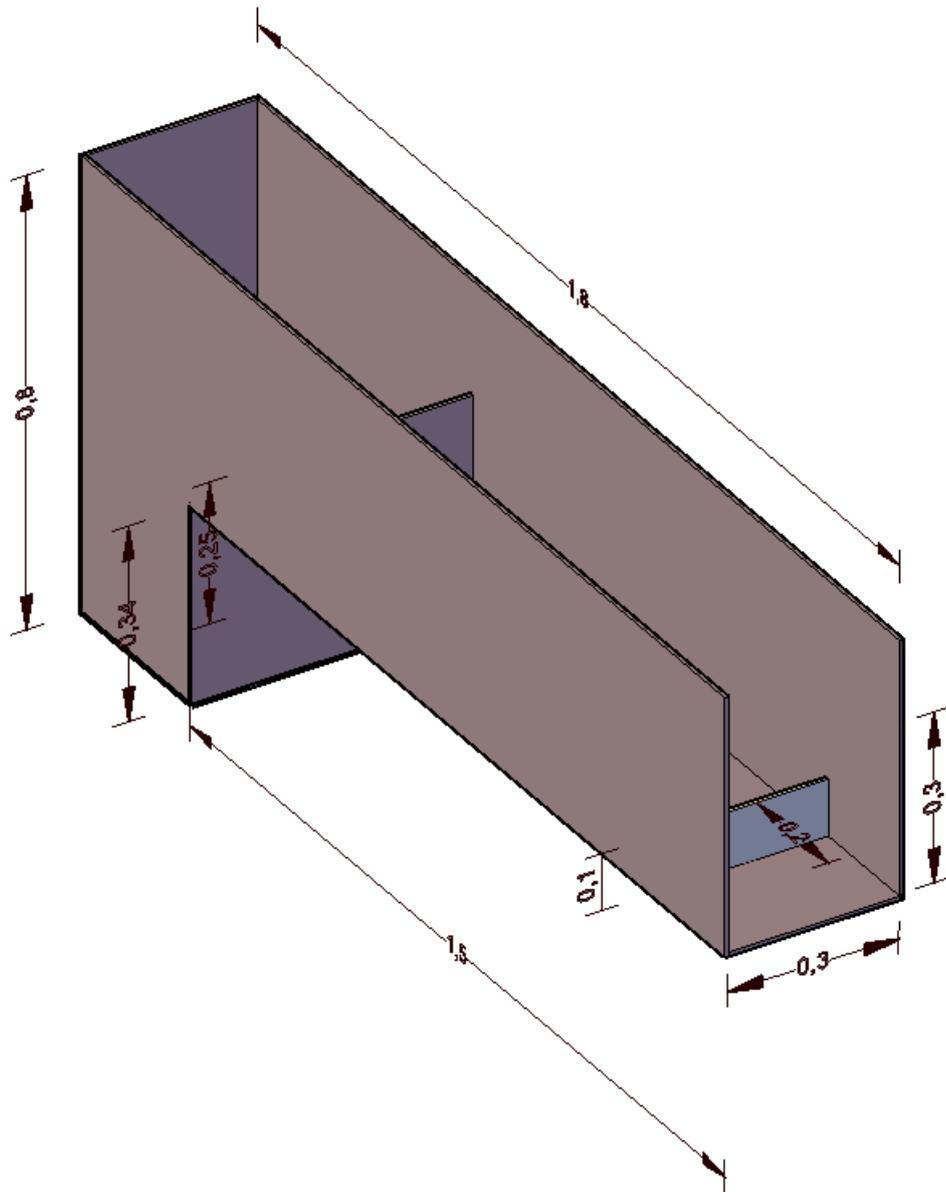


Figura 2.11 Dimensionamiento del modelo físico de vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia

2.2 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Para el sistema de recirculación del agua, uno de los elementos importantes es el tanque de almacenamiento. Este debe contener un volumen de agua necesario para abastecer al modelo físico durante los ensayos de laboratorio.

Para determinar el volumen total necesario para el funcionamiento del modelo físico, a este se le dividió en tres partes que se tomó en cuenta según la figura 2.14.

El dimensionamiento del tanque, se realizó de acuerdo a la capacidad de volumen necesaria para realizar los ensayos de laboratorio con el vertedero que produzca la mayor carga hidráulica. Según la tabla 2.4, el vertedero triangular produce la mayor carga hidráulica, con un valor de 10,2 cm, es por eso que se determinó el volumen necesario del tanque de acuerdo con la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Cálculo de volumen total necesario en el modelo físico, determinado con el vertedero que produce la mayor carga hidráulica con el caudal de diseño

	Altura (m)	Base (m)	Ancho (m)	Volumen
Dispositivo reductor energía 1	0.6	0.3	0.3	0.054
Dispositivo reductor energía 2	0.25	0.3	0.3	0.023
Canal	0.252	1.2	0.3	0.091
Volumen total				0.17

Según la tabla 2.5 el volumen mínimo para el funcionamiento del modelo físico es de 0,17 m³, es por eso que se ha optado diseñar un tanque de almacenamiento con las dimensiones que se muestran en la figura 2.13, con un volumen de 0,25 m³, siendo este mayor al volumen mínimo necesario, estando de lado de la seguridad.

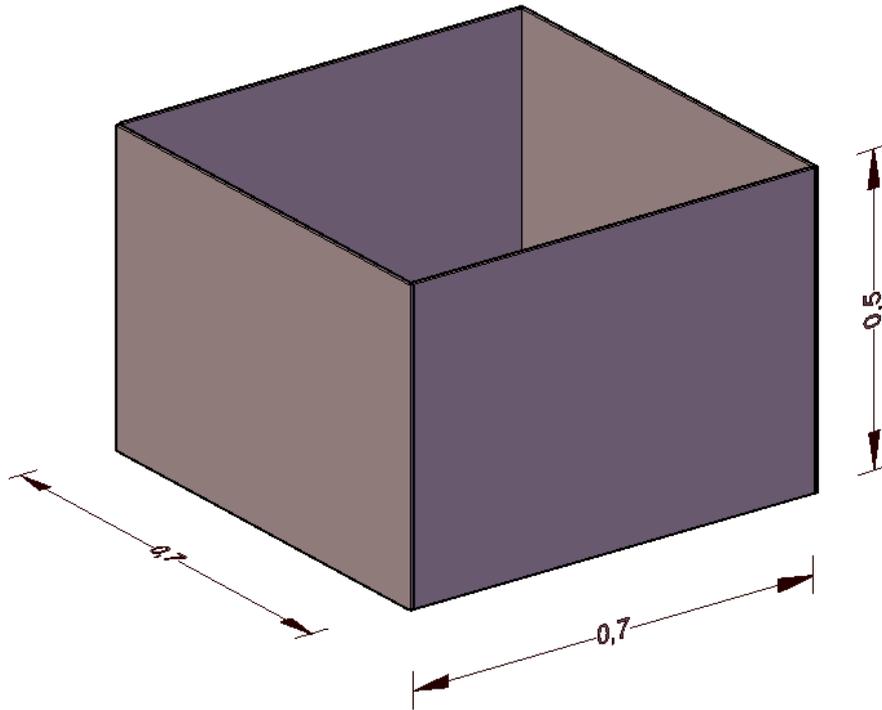


Figura 2.13 Dimensiones del tanque de almacenamiento

Fuente: propia

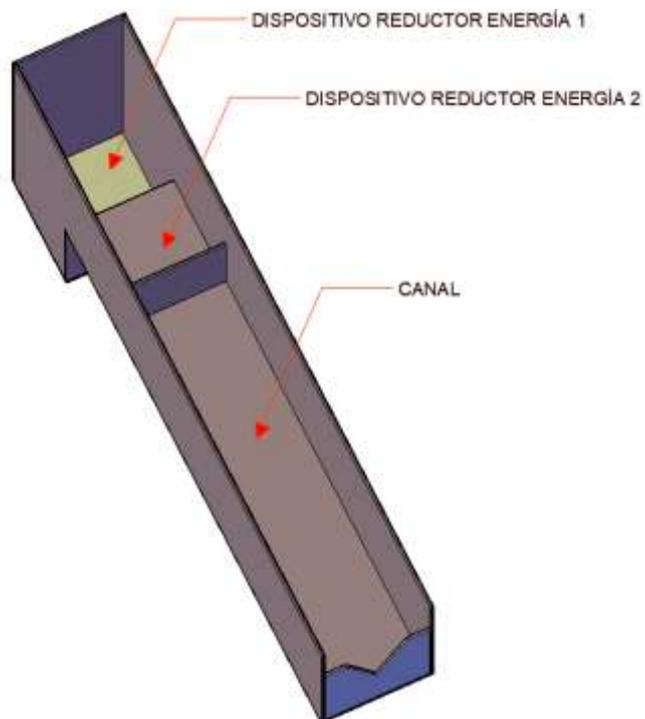


Figura 2.14 Especificaciones de los volúmenes del modelo físico

Fuente: propia

2.3 Construcción del modelo físico para ensayos de vertederos de pared delgada

Para la construcción del modelo físico, se dividió en dos partes importantes: la primera fue la construcción de los vertederos y el canal rectangular, y la segunda la recirculación del agua para el sistema.

2.3.1 Materiales para la construcción del vertedero y canal rectangular para los ensayos de laboratorio

Para construir el canal y los dispositivos que reducen la energía del agua, se utilizaron varios materiales que se nombran a continuación:

1.- Vidrio templado: el vidrio que se utilizó es de un espesor de 6 líneas (6 mm) que ha sido cortado por piezas de acuerdo a las dimensiones requeridas en el diseño del prototipo como se presenta en la figura 2.15. Se escogió este espesor de vidrio para que pueda soportar el peso del agua que va a circular dentro del modelo físico y así evitar posibles fallas en el funcionamiento del mismo.



Figura 2.15 Vidrio templado

Fuente: (Temglass Ltda, s.f.)

2.- Silicona: se utilizó este pegamento para unir todas las piezas y darle forma al modelo físico para poder realizar los ensayos. En la figura 2.16 se muestra el pegamento utilizado que es específico para vidrio de tal forma que ayude a que se adhiera de una excelente forma las piezas de vidrio y evite que se filtre agua en las uniones.



Figura 2.16 Silicón estructural

Fuente: (Tecniglass, s.f.)

3.-Tiras de caucho: estas tiras como se muestra en la figura 2.17 se usaron con sellante entre los canales de aluminio y los diferentes vertederos y así evitar que el agua se filtre en las partes laterales e inferior de los mismos, estos se colocan dentro del canal de aluminio de tal forma que ayuda a que el vertedero quede fijo y se pueda medir los caudales que pasan por cada uno de ellos.



Figura 2.17 Tiras de caucho

Fuente: (Extrusiones, s.f.)

4.- Canales de aluminio: estos canales como se presenta en la figura 2.18, sirven para colocar los diferentes tipos de vertederos para poder medir los caudales en los diferentes ensayos.



Figura 2.18 Canal de aluminio

Fuente: (Aluminumextrusionsprofiles, s.f.)

5.- Marco metálico: debido a que la altura de agua es muy elevada, se optó por utilizar un marco metálico, en las uniones de las paredes con la base y uniones entre paredes, este marco se realizó con ángulo metálico como se muestra en la figura 2.19, con el fin de evitar que las uniones se abran con la presión del agua.



Figura 2.19 Ángulo metálico

Fuente: (Deacero, s.f.)

6.- Aluminio inoxidable: en la figura 2.20 se muestra el aluminio que se utilizó para realizar las secciones de los vertederos, y así evitar que se oxide al estar en contacto con el agua.



Figura 2.20 Planchas de aluminio inoxidable

Fuente (DIPAC Productos de Acero, s.f.)

2.3.2 Materiales para la construcción del sistema de recirculación del agua

1.- Bomba de agua: esta bomba sirve para recircular el agua desde el depósito de almacenamiento hacia el depósito ubicado en la parte posterior del canal. Según las especificaciones del fabricante la bomba tiene una potencia de 2 Hp y una capacidad de caudal de 480 lt/min. En la figura 2.21 se muestra la bomba que se utilizó.



Figura 2.21 Bomba de agua 2HP

Fuente: (Banco del perno, s.f.)

2.- Válvula check: esta válvula como se muestra en la figura 2.22 permite al agua fluir en una dirección y cierra automáticamente para prevenir que el flujo circule en la dirección opuesta y así evitar el ingreso de aire a la tubería.



Figura 2.22 Válvula check

Fuente: (Banco del perno, s.f.)

Las tuberías que se utilizaron para la recirculación del agua se presentan en las figuras 2.23 y 2.24, siendo estas de diferentes diámetros como se especifica a continuación:

3.- Tubería PVC de 2 pulgadas: de acuerdo con la bomba, el diámetro de succión es de 2 pulgadas, es por eso que se utilizó este diámetro de tubería, para realizar las instalaciones correspondientes.



Figura 2.23 Tuberías

Fuente: (Plastigama, s.f.)

4.- Tubería milimétrica de PVC de 1 ½ plg: se utilizó esta tubería para la circulación del agua, la cual se dividió en dos partes, la primera que va hacia el modelo físico, y la segunda parte para el retorno del agua hacia el taque de almacenamiento.



Figura 2.24 Tuberías

Fuente: (Plastigama, s.f.)

5.-Neplo plástico de 1 ½ plg: como se presenta en la figura 2.25, este neplo se utilizó para enlazar la TEE de plástico de 1 ½ plg con el reductor bushing de 2 plg a 1 ½ plg, que se encuentra en la boca de salida de la bomba, también se utilizó para unir las válvulas plásticas de 1 ½ plg, con la TEE de plástico de 1 ½ plg.



Figura 2.25 Neplo de plástico

Fuente: (Plastigama, s.f.)

6.-Codos 90°: estos accesorios se instalaron entre dos longitudes de tuberías para permitir un cambio de dirección como se presenta en la figura 2.26 en el sistema de recirculación.



Figura 2.26 Codo 90°

Fuente: (Plastigama, s.f.)

7.- Válvulas de paso plásticas de 1 ½ pulgada: en la figura 2.27 se presenta el tipo de válvulas se usaron para regular los caudales para los diferentes ensayos. La primera válvula controla el paso de agua hacia el depósito que se encuentra en la parte posterior del canal, mientras que la segunda válvula controla el retorno de agua hacia el depósito de almacenamiento.



Figura 2.27 Válvula de paso

Fuente: (Sodimac, s.f.)

8.- Buje reductor de 2 plg a 1 ½ plg: se utilizó este elemento como se muestra en la figura 2.28 con el fin de reducir el diámetro de salida de la tubería desde la bomba de agua, en este caso de 2 plg que es al diámetro de la bomba, a una tubería de 1 ½ plg.



Figura 2.28 Buje reductor

Fuente: (Plastigama, s.f.)

9.- Tee de plástico de 1 ½ plg: de acuerdo con las características de la bomba, la capacidad de caudal es muy elevada para funcionar directamente sobre el modelo físico, es por eso que se optó por utilizar este elemento que se muestra en la figura 2.29, con el fin de dividir el caudal de agua de salida.



Figura 2.29 Tee de plástico

Fuente: (Plastigama, s.f.)

10.- Teflón: el elemento que se presenta en la figura 2.30, se utilizó para evitar las fugas de agua, entre todas las conexiones de neoplos del sistema, y ayuda a la completa adherencia entre estos dispositivos.



Figura 2.30 Cinta teflón

Fuente: (Plastigama, s.f.)

11.- Planchas de acero galvanizado: este material que se muestra en la figura 2.31, se utilizó para realizar el tanque de almacenamiento, debido a que es moldeable y resistente al estar en contacto con el agua no se oxida, este aspecto es muy importante pues este tanque va a estar en constante contacto con el agua.



Figura 2.31 Planchas de acero galvanizado

Fuente: (Dismetal, s.f.)

2.4 Validación de datos

Una vez armado el modelo físico y el sistema de recirculación, se precedió a realizar los ensayos en cada uno de los diferentes vertederos. Para cada posición de la llave se tomó tres muestras, en las cuales se midió el tiempo en el que tarda en llenarse el recipiente de volumen conocido, con estos datos se determinó un caudal promedio, este proceso se realizó para las diferentes secciones de vertederos. Este método es conocido como el método volumétrico (ecuación 2.1).

En las tablas 2.6, 2.7, y 2.8 se muestran los datos obtenidos en cada muestra, teniendo como resultado un caudal promedio para cada posición de abertura de la válvula de paso (método volumétrico), y esto a su vez se comparó con los caudales obtenidos de manera teórica de acuerdo con las siguientes expresiones, para determinar el caudal que pasa sobre un vertedero rectangular sin contracciones laterales se utilizó las fórmulas de Bazin ampliada por Hégly y de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos para obtener el valor del coeficiente de descarga, para el caudal que pasa sobre un vertedero rectangular con contracciones laterales, la fórmula que se utilizó para encontrar el coeficiente de descarga fue de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, y en el caso del vertedero triangular, para calcular el coeficiente de descarga se utilizó la fórmula de Heyndrick, es decir midiendo la carga hidráulica y la altura de vertedero en el modelo físico.

$$Q = \frac{\text{Volúmen (lt)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (2.1)$$

Para la toma de muestras en los vertederos rectangulares con y sin contracciones laterales se utilizó 5 posiciones de abertura de la válvula de paso 2, la primera posición, se analizó cuando las dos válvulas de paso están completamente abiertas (0 grados), la segunda posición cuando la válvula de paso 2 está abierta un ángulo de 30 grados, la tercera posición la válvula de paso está abierta un ángulo de 40 grados, la cuarta posición la válvula de paso está abierta un ángulo de 50 grados la última posición la válvula de paso está abierta 60 grados.

Para la toma de muestras en el vertedero triangular, se utilizó 5 posiciones de abertura de la válvula de paso 2, la primera posición, se analizó cuando las dos válvulas de paso están completamente abiertas (0 grados), la segunda posición cuando la válvula de paso 2 está

abierta un ángulo de 10 grados, la tercera posición la válvula de paso está abierta un ángulo de 20 grados, la cuarta posición la válvula de paso está abierta un ángulo de 30 grados la última posición la válvula de paso está abierta 40 grados.

Tabla 2.6 Cálculo del caudal por el método experimental (método volumétrico) para un vertedero rectangular sin contracciones laterales

VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIONES								
Abertura válvula (°)	Volumen de recipiente (litros)	TIEMPO (segundos)			CAUDAL (lt/sg)			Caudal promedio (lt/sg)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	8	6.28	6.38	6.18	1.274	1.254	1.294	1.274
30	8	5.17	5.36	5.32	1.547	1.493	1.504	1.515
40	8	4.15	4.26	4.13	1.928	1.878	1.937	1.914
50	8	3.61	3.64	3.57	2.216	2.198	2.241	2.218
60	8	2.98	3.09	3.01	2.685	2.589	2.658	2.644

Tabla 2.7 Cálculo del caudal por el método experimental (método volumétrico) para un vertedero rectangular con contracciones laterales

VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIONES								
Abertura válvula (°)	Volumen de recipiente (litros)	TIEMPO (segundos)			CAUDAL (lt/sg)			Caudal promedio (lt/sg)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	8	5.21	5.26	5.21	1.536	1.521	1.536	1.531
30	8	4.21	4.24	4.18	1.900	1.887	1.914	1.900
40	8	3.73	3.72	3.68	2.145	2.151	2.174	2.156
50	8	3.28	3.16	3.24	2.439	2.532	2.469	2.480
60	8	2.93	2.97	2.96	2.730	2.694	2.703	2.709

Tabla 2.8 Cálculo del caudal por el método experimental (método volumétrico) para un vertedero triangular

VERTEDERO TRIANGULAR								
Abertura válvula (°)	Volumen de recipiente (litros)	TIEMPO (segundos)			CAUDAL (lt/sg)			Caudal promedio (lt/sg)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	8	5.08	5.15	5.19	1.575	1.553	1.541	1.557
10	8	4.84	4.7	4.8	1.653	1.702	1.667	1.674
20	8	4.33	4.29	4.37	1.848	1.865	1.831	1.848
30	8	3.93	3.96	4.03	2.036	2.020	1.985	2.014
40	8	3.58	3.47	3.5	2.235	2.305	2.286	2.275

Luego de obtener estos resultados, se procedió a realizar el experimento de acuerdo al método teórico, para este método se tomó en cuenta las dimensiones del vertedero que se pretende analizar, determinando de manera visual la variación de altura que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, y calculando el caudal utilizando las

ecuaciones del fundamento teórico, para las diferentes posiciones de abertura de la válvula de paso 2.

Teniendo como resultado los caudales que se presentan en las siguientes tablas 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12.

Tabla 2.9 Cálculo de caudal por el método teórico para un vertedero rectangular sin contracciones laterales (Cálculo de CD según fórmula de Bazin ampliada por Hégly)

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIONES LATERALES (Cálculo Cd según fórmula de Bazin ampliada por Hégly)									
Abertura válvula (°)	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho de canal del vertedero B	Carga hidráulica del vertedero H (m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Q(m ³ /s)	Q(l/s)
0	0.3	0.3	0.018	1.8	9.81	0.1	0.843	0.002	1.804
30	0.3	0.3	0.02	2	9.81	0.1	0.822	0.002	2.061
40	0.3	0.3	0.022	2.2	9.81	0.1	0.806	0.002	2.329
50	0.3	0.3	0.024	2.4	9.81	0.1	0.792	0.003	2.609
60	0.3	0.3	0.026	2.6	9.81	0.1	0.781	0.003	2.901

Tabla 2.10 Cálculo de caudal por el método teórico para un vertedero rectangular sin contracciones laterales (Cálculo de CD según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIONES LATERALES (Cálculo Cd según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)									
Abertura válvula (°)	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho de canal del vertedero B	Carga hidráulica del vertedero H (m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Q(m ³ /s)	Q(l/s)
0	0.3	0.3	0.018	1.8	9.81	0.1	0.6539	0.001	1.399
30	0.3	0.3	0.02	2	9.81	0.1	0.6524	0.002	1.635
40	0.3	0.3	0.022	2.2	9.81	0.1	0.6515	0.002	1.883
50	0.3	0.3	0.024	2.4	9.81	0.1	0.6510	0.002	2.144
60	0.3	0.3	0.026	2.6	9.81	0.1	0.6509	0.002	2.417

Tabla 2.11 Cálculo del caudal por el método teórico para un vertedero rectangular con contracciones laterales

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIONES LATERALES										
Abertura válvula (°)	número de contracciones n	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B	Carga hidráulica del vertedero H (m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Q(m ³ /s)	Q(l/s)
0	2	0.15	0.3	0.029	2.9	9.81	0.15	0.685	0.001	1.441
30	2	0.15	0.3	0.033	3.3	9.81	0.15	0.676	0.002	1.715
40	2	0.15	0.3	0.036	3.6	9.81	0.15	0.670	0.002	1.929
50	2	0.15	0.3	0.041	4.1	9.81	0.15	0.662	0.002	2.301
60	2	0.15	0.3	0.046	4.6	9.81	0.15	0.656	0.003	2.692

Tabla 2.12 Cálculo del caudal por el método teórico para un vertedero triangular

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO TRIANGULAR											
Abertura válvula (°)	Ángulo θ		Longitud de la cresta del vertedero b (m)	Carga hidráulica del vertedero h (m)	Carga del hidráulica vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Qt(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Q(l/s)
	Grados	Radianes									
0	60	1.0472	0.088	0.076	7.6	9.81	0.15	0.636	0.002	0.001	1.381
10	60	1.0472	0.090	0.078	7.8	9.81	0.15	0.638	0.002	0.001	1.478
20	60	1.0472	0.092	0.08	8	9.81	0.15	0.640	0.002	0.002	1.580
30	60	1.0472	0.096	0.083	8.3	9.81	0.15	0.643	0.003	0.002	1.740
40	60	1.0472	0.104	0.09	9	9.81	0.15	0.650	0.003	0.002	2.155

Con los datos obtenidos, tanto por el método experimental como el método teórico, se realizó tablas de comparación de caudales, para comprobar si los resultados son semejantes, como se muestran en las tablas 2.13, 2.14 y 2.15.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 2.13, los caudales obtenidos con el coeficiente de descarga (Cd) de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos son los que más se asemejan al caudal calculado por el método teórico.

Tabla 2.13 Comparación de los caudales, calculados por los diferentes métodos analizados para un vertedero rectangular sin contracciones laterales

Sección de vertedero	Abertura de válvula (°)	Caudal calculado con el Método Teórico		Caudal calculado con el Método Experimental
		Caudal calculado con Cd según Bazin ampliada por Hégly	Caudal calculado con Cd según Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos	
Rectangular sin contracciones	0	1.804	1.399	1.274
	30	2.061	1.635	1.515
	40	2.329	1.883	1.914
	50	2.609	2.144	2.218
	60	2.901	2.417	2.644

Según la tabla 2.14 se obtuvo un caudal por el método teórico muy semejante al método experimental, tomando en cuenta que se utilizó el coeficiente de descarga de la sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos.

Tabla 2.14 Comparación de los caudales, calculados por los diferentes métodos analizados para un vertedero rectangular con contracciones laterales

Sección de vertedero	Abertura de válvula (°)	Caudal calculado con el Método Teórico	Caudal calculado con el Método Experimental
		Caudal calculado con Cd según Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos	
Rectangular con contracciones	0	1.441	1.531
	30	1.715	1.900
	40	1.929	2.156
	50	2.301	2.480
	60	2.692	2.709

Según la tabla 2.15 se obtuvo un caudal por el método teórico muy semejante al método experimental, tomando en cuenta que se utilizó el coeficiente de descarga según la fórmula de Heyndrick.

Tabla 2.15 Comparación de los caudales, calculados por los diferentes métodos analizados para un vertedero triangular

Sección de vertedero	Abertura de válvula (°)	Caudal calculado con el Método Teórico	Caudal calculado con el Método Experimental
		Caudal calculado con Cd según la fórmula de Heyndrick	
Triangular	0	1.381	1.557
	30	1.478	1.674
	40	1.580	1.848
	50	1.740	2.014
	60	2.150	2.275

CAPÍTULO III

ELABORACIÓN DE GUÍAS METODOLÓGICAS

3.1 Estructura de las guías metodológicas

Las guías metodológicas están estructuradas de tal manera que estas sean claras y concisas de modo que el estudiante que las utilice pueda comprenderlas con facilidad, es por eso que estas guías se ha dividido en varios puntos importantes que se mencionan a continuación:

3.1.1 Objetivos de la práctica

Las prácticas de laboratorio son espacios donde los estudiantes complementan los conocimientos que fueron impartidos en clase, el objetivo de las prácticas de laboratorio, es hacer que el estudiante sepa el funcionamiento de los vertederos como elementos hidráulicos, para eso hay que tener claro lo que se pretende calcular y como se lo va hacer. El objetivo principal de las guías metodológicas es, detallar paso a paso el proceso que se debe seguir para el correcto desarrollo de la práctica y así evitar que el estudiante tenga dificultades al momento del desarrollar la misma.

3.1.2 Descripción

Hace referencia a la teoría que se utilizará y que deberá ser de conocimiento del estudiante antes de desarrollar la práctica, también se menciona los diferentes métodos que se utilizarán para el desarrollo de la práctica de laboratorio que son dos, el primero un método experimental, que se basa principalmente en la toma de muestras, y el segundo un método teórico utilizando las expresiones señaladas en el fundamento teórico.

3.1.3 Expresiones para calcular el caudal de un vertedero de pared delgada de sección conocida según el método teórico

En este punto se detalla las expresiones que se utilizarán durante la práctica de laboratorio para el cálculo del caudal de un vertedero de pared delgada para cada sección de vertedero que se analizará según el método teórico. Estas expresiones fueron obtenidas al analizar el marco teórico.

3.1.4 Expresiones para calcular el caudal de un vertedero de pared delgada de sección conocida según el método experimental

En este punto se detalla las expresiones que se utilizarán durante la práctica de laboratorio para el cálculo del caudal de un vertedero de pared delgada para cada sección de vertedero que se analizará según en método experimental o también conocido como el método volumétrico.

3.1.5 Partes del modelo físico

Muestra y enumera las partes que componen el modelo físico que se utilizará para la práctica de laboratorio.

3.1.6 Dimensiones del vertedero

Se muestra las dimensiones del vertedero que se analizará en la práctica de laboratorio.

3.1.7 Método experimental

Detalla los equipos y materiales necesarios para realizar la práctica de laboratorio, también menciona el procedimiento que se tiene que seguir para el buen desarrollo de la práctica de laboratorio, según el método experimental.

3.1.8 Método teórico

Detalla los equipos y materiales necesarios para realizar la práctica de laboratorio, también menciona el procedimiento que se tiene que seguir para el buen desarrollo de la práctica de laboratorio, según el método teórico.

3.1.9 Ficha de resultados

En esta ficha se anotará todos los datos obtenidos durante la práctica de laboratorio, tanto por el método experimental como teórico, es por eso que se diseñó una ficha acorde a las necesidades de la práctica, la misma que es de fácil entendimiento para el estudiante.

3.1.10 Preguntas: discusión y análisis

Se desarrolló preguntas para estimular el razonamiento de los estudiantes. Los estudiantes deberán responder las preguntas en base al análisis de los resultados que fueron obtenidos durante la práctica de laboratorio.

3.1.11 Recomendaciones

Con el fin de mejorar los ensayos de laboratorio, se dejará un espacio en blanco para que los estudiantes puedan expresarse y dar recomendaciones en cuanto al ensayo.

3.2 Guía Metodológica para determinar el caudal del vertedero rectangular de pared delgada sin contracciones laterales

PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS N°1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES LATERALES

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

- Calcular el caudal que se descarga por el vertedero rectangular de pared delgada sin contracciones laterales, determinados de manera experimental y de manera teórica.
- Comparar los caudales obtenidos de manera experimental como teórica.
- Analizar el comportamiento que tienen los vertederos.

2. DESCRIPCIÓN

Un vertedero es una estructura hidráulica, a través del cual fluye una corriente líquida, el vertedero intercepta la corriente en una superficie libre, produciendo un aumento de nivel del líquido aguas arriba. Los vertederos sirven para evacuar los excesos de agua que se encuentran por encima de su nivel de operación, o bien para medir el caudal que circula por el canal (Gutiérrez Lozano, 2016).

La determinación de los caudales que pasan sobre un vertedero de pared delgada con secciones de diferentes formas, se basa principalmente en la variación de altura (carga hidráulica) que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente.

Para obtener los caudales que pasan sobre el vertedero nos basaremos en dos métodos: el primero, un método experimental, este se realizará mediante la toma de muestras, midiendo el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido, y determinando de manera volumétrica el caudal. El segundo un método teórico, este se realizará considerando las dimensiones del vertedero, determinando de manera visual la variación de altura que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, y calculando el caudal utilizando las ecuaciones del fundamento teórico.

3. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES LATERALES SEGÚN EL MÉTODO TEÓRICO

En la figura 1 que se presenta a continuación, se esquematiza el flujo a través de un vertedero rectangular donde se debe considerar que la longitud de la cresta L es igual al ancho del canal B , es decir que no existe contracciones en el vertedero.

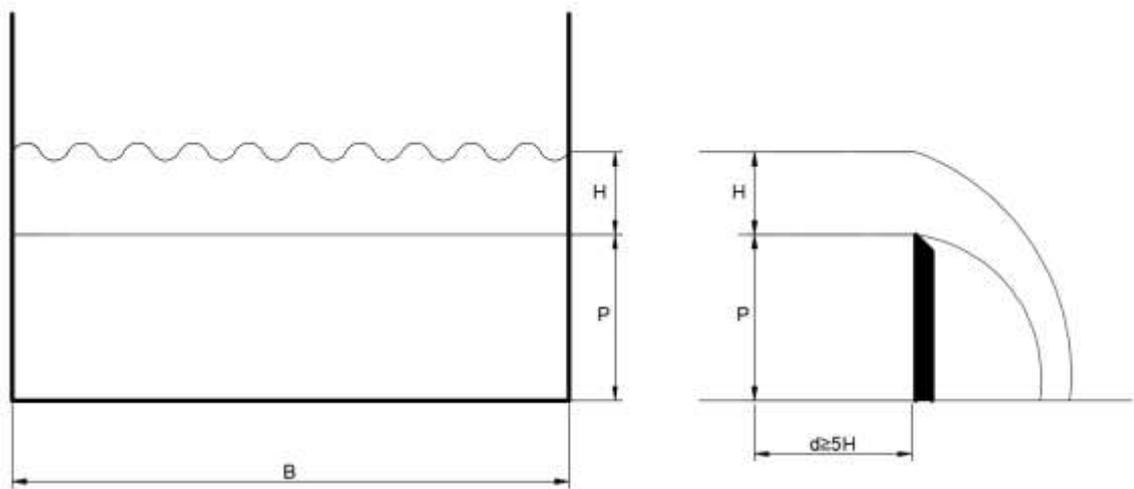


Figura 3.1 Flujo a través de un vertedero rectangular

Fuente: propia

Fórmula general de descarga de los vertederos rectangulares sin contracciones es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_D B H^{\frac{3}{2}} \quad (2.1)$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

L = Longitud de la cresta del vertedero (m)

B = Ancho del canal del vertedero

H= Carga hidráulica del vertedero (m)

C_D= Coeficiente de descarga

P= Altura de vertedero

g= Gravedad (m²/s)

Para el cálculo de C_D:

Según la fórmula de Bazin ampliada por Hégly, si el vertedero es sin contracciones, entonces B=L y el coeficiente de descarga sería (Ngamaliou Nengoue, 2015):

$$C_D = \left[0.6075 + \frac{0.00405}{H} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

Según la fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, el coeficiente de descarga para vertederos sin contracción es (Ngamaliou Nengoue, 2015):

$$C_D = 0.615 \left[1 + \frac{1}{1000H+1.6} \right] \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

4. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SEGÚN EL MÉTODO EXPERIMENTAL

La forma más sencilla para medir el caudal, es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Este tiempo se mide mediante un cronómetro.

$$Q = \frac{\text{Volúmen (lt)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (2.4)$$

5. PARTES DEL MODELO FÍSICO



Figura 3.2 Partes del modelo físico

Fuente: propia

6. DIMENSIONES DEL VERTEDERO

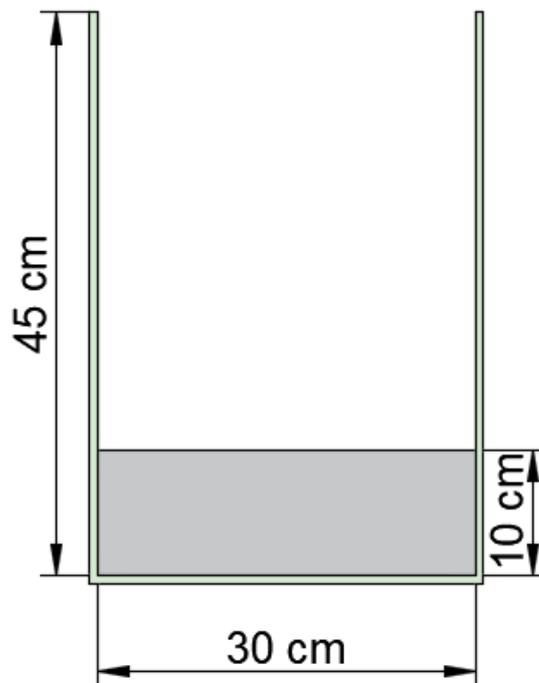


Figura 3.3 Dimensiones del vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia

7. MÉTODO EXPERIMENTAL

7.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Modelo físico (canal rectangular)
- Vertedero de sección rectangular de pared delgada sin contracciones laterales
- Cronómetro
- Tira de caucho
- Recipiente de 8 litros
- Graduador

7.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL

1. Instale el vertedero en posición horizontal en la ranura dispuesta para ese fin (canal de aluminio) (Ver figura 3.4).



Figura 3.4 Ranura para colocar el vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia

2. Coloque la tira de caucho en la ranura donde está ubicada el vertedero. Asegúrese que la tira de caucho esté completamente hundida en el canal, con el fin de que no se filtre el agua (Ver figura 3.5).



Figura 3.5 Colocación de la tira de caucho

Fuente: propia

3. Llenar el tanque de almacenamiento con agua, hasta el nivel indicado en el mismo (Ver figura 3.6).



Figura 3.6 Llenado del tanque de almacenamiento

Fuente: propia

4. Llenar el modelo físico con agua hasta que el nivel de agua se encuentre a la misma altura del vertedero (Ver figura 3.7).



Figura 3.7 Llenado del modelo físico

Fuente: propia

5. Conectar la bomba a un tomacorriente, considerando que utiliza un voltaje de 110 voltios (Ver figura 3.8).

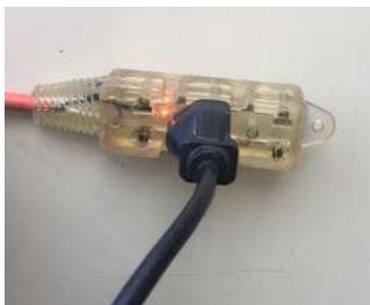


Figura 3.8 Conexión eléctrica

Fuente: propia

6. Cebiar la bomba.

6.1 Abrir la válvula de paso 2, de la tubería que retorna hacia el tanque de almacenamiento (Ver figura 3.9).



Figura 3.9 Abertura de la llave de paso 2

Fuente: propia

6.2 Desenroscar el tapón de cebado que se encuentra en la parte superior de la bomba (Ver figura 3.10).



Figura 3.10 Abertura del tapón de cebado

Fuente: propia

6.3 Llenar de agua la cámara de la bomba, hasta que salga agua por la tubería que retorna al tanque de almacenamiento (Ver figura 3.11).



Figura 3.11 Llenado de agua en la cámara de la bomba

Fuente: propia

6.4 Enroscar el tapón de cebado (Ver figura 3.12).



Figura 3.12 Cerrado del tapón de cebado

Fuente: propia

7. Encender la bomba, comprobando que las válvulas de paso estén completamente abiertas (ensayo ángulo de 0 grados) (Ver figura 3.13).



Figura 3.13 Encendido de la bomba, con las válvulas de paso abiertas

Fuente: propia

8. Tomar las muestras en la parte frontal del modelo, midiendo el tiempo que tarda en llenarse el recipiente de volumen conocido (8 litros) y posteriormente anotar en la tabla 1 de la ficha de resultados (tomar 3 veces el tiempo, para obtener un caudal promedio) (Ver figura 3.14).



Figura 3.14 Toma de muestras

Fuente: propia

9. Con ayuda del graduador, cerrar la válvula de paso 2 un ángulo de 30 grados, y repetir el paso 8 (Ver figura 3.15).

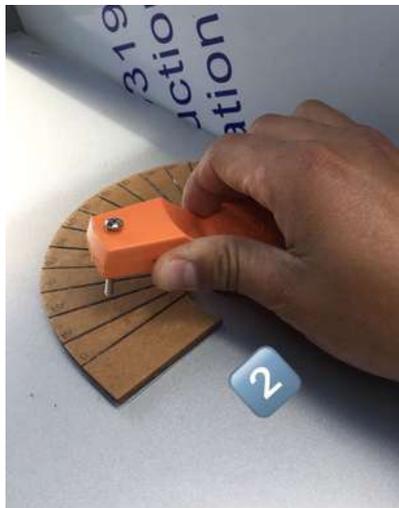


Figura 3.15 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador

Fuente: propia

10. Repetir el paso 9, para los ángulos 40, 50 y 60 grados.
11. Apagar la bomba (Ver figura 3.16).



Figura 3.16 Apagado de la bomba

Fuente: propia

12. Con los datos obtenidos anteriormente (Tabla 1), determinar el caudal para cada una de las muestras, utilizando la ecuación (2.4), y calcular el caudal promedio.

8. MÉTODO TEÓRICO

8.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Modelo físico (canal rectangular)
- Vertedero de sección rectangular de pared delgada sin contracciones laterales
- Tira de caucho
- Graduador
- Flexómetro

8.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR EL MÉTODO TEÓRICO

1. Encender la bomba (Ver figura 3.17).



Figura 3.17 Encendido de la bomba

Fuente: propia

2. Abrir las válvulas de paso, tanto de la tubería que retorna al tanque de almacenamiento como a la tubería que va hacia el modelo físico (Ensayo ángulo de 0 grados) (Ver figura 3.18).



Figura 3.18 Abertura de las válvulas de paso

Fuente: propia

3. Esperar un tiempo prudente, hasta que el flujo que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, se estabilice.
4. Medir visualmente la variación de altura, con ayuda de los flexómetros ubicados en la parte lateral del canal. Medir la carga hidráulica a una longitud mayor o igual a cinco veces la carga hidráulica, desde el vertedero analizado ($L \geq 5H$, H =carga hidráulica). Anotar en las tablas 2 y 2.1 de la ficha de resultados (Ver figura 3.19).



Figura 3.19 Medición de la carga hidráulica

Fuente: propia

5. Con ayuda del graduador, cerrar la válvula de paso 2 un ángulo de 30 grados, y repetir el paso 3 y 4 (Ver figura 3.20).

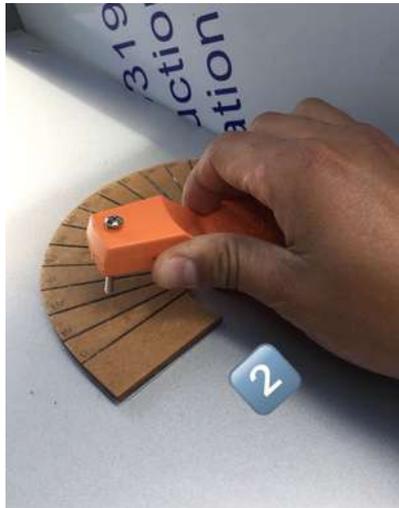


Figura 3.20 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador

Fuente: propia

6. Repetir el paso 5, para los ángulos 40, 50 y 60 grados.
7. Apagar la bomba (Ver figura 3.21).



Figura 3.21 Apagado de la bomba

Fuente: propia

8. Determinar el caudal para cada una de las muestras, utilizando las ecuaciones (2.1) (2.2) (2.3), con los datos obtenidos en las tablas 2 y 2.1.
9. Comparar los resultados obtenidos tanto por el método teórico como por el método experimental

9. FICHAS DE RESULTADOS

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES
 LABORATORIO DE HIDRÁULICA



NOMBRE DE LA PRÁCTICA:

FECHA:

NOMBRES

CÓDIGOS

FIRMAS

Tabla 3.1 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular sin contracciones laterales mediante el método experimental

VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIONES								
Abertura válvula (°)	Volumen de recipiente (litros)	TIEMPO (segundos)			CAUDAL (lt/sg)			Caudal promedio (lt/sg)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	8							
30	8							
40	8							
50	8							
60	8							

Tabla 3.2 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular sin contracciones laterales mediante el método teórico (Cd según fórmula de Bazin aplicada por Hégly)

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIÓN LATERAL (CÁLCULO CD SEGÚN FÓRMULA DE BAZIN AMPLIADA POR HÉGLY)									
Abertura válvula (°)	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B	Carga hidráulica del vertedero H (m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Q(m ³ /s)	Q(l/s)
0	0,3	0,3			9,81	0,1			
30	0,3	0,3			9,81	0,1			
40	0,3	0,3			9,81	0,1			
50	0,3	0,3			9,81	0,1			
60	0,3	0,3			9,81	0,1			

Tabla 3.3 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular sin contracciones laterales mediante el método teórico (C_d según fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos)

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIÓN LATERAL (CÁLCULO C_d SEGÚN FÓRMULA DE LA SOCIEDAD SUIZA DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS)									
Abertura válvula (°)	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B	Carga hidráulica del vertedero H (m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m²/s)	Altura de vertedero P (m)	C_d	Q(m³/s)	Q(l/s)
0	0,3	0,3			9,81	0,1			
30	0,3	0,3			9,81	0,1			
40	0,3	0,3			9,81	0,1			
50	0,3	0,3			9,81	0,1			
60	0,3	0,3			9,81	0,1			

10. PREGUNTAS: Discusión y análisis

1. ¿De acuerdo a los caudales obtenidos de manera teórica con los coeficientes de descarga (C_d) por la fórmula de Bazin ampliada por Hégly y con la fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, explique cuál de estos caudales se asemeja más al caudal obtenido por el método experimental?
2. ¿Cree usted que es importante tomar las muestras de los caudales tanto de manera teórica como por el método experimental, explique su respuesta?
3. ¿Cree usted que es importante que la lámina de agua se estabilice para poder medir visualmente la variación de altura de la carga hidráulica?
4. ¿Porque se debe medir la altura de la carga hidráulica a una distancia mayor o igual a cinco veces las cargas hidráulicas ($L \geq 5H$)?
5. ¿Cómo determinaría usted el caudal máximo de la bomba?
6. ¿Porque se le considera a la gravedad como parte de los datos para calcular el caudal teórico?

11. RECOMENDACIONES

3.3 Guía Metodológica para determinar el caudal del vertedero rectangular de pared delgada con contracciones laterales

PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS N°2

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

- Calcular el caudal que se descarga por el vertedero rectangular de pared delgada con contracciones laterales, determinados de manera experimental y de manera teórica.
- Comparar los caudales obtenidos de manera experimental como teórica.
- Analizar el comportamiento que tienen los vertederos.

2. DESCRIPCIÓN

Un vertedero es una estructura hidráulica, a través fluye una corriente líquida, el vertedero intercepta la corriente en una superficie libre, produciendo un aumento de nivel del líquido aguas arriba. Los vertederos sirven para evacuar los excesos de agua que se encuentran por encima de su nivel de operación, o bien para medir el caudal que circula por el canal. (Gutiérrez Lozano, 2016).

La determinación de los caudales que pasan sobre un vertedero de pared delgada con secciones de diferentes formas, se basa principalmente en la variación de altura (carga hidráulica) que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente.

Para obtener los caudales que pasan sobre el vertedero nos basaremos en dos métodos: el primero, un método experimental, este se realizará mediante la toma de muestras, midiendo el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido, y determinando de manera volumétrica el caudal. El segundo un método teórico, este se realizará considerando las dimensiones del vertedero, determinando de manera visual la variación de altura que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, y calculando el caudal utilizando las ecuaciones del fundamento teórico.

3. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES SEGÚN EL MÉTODO TEÓRICO

En la figura 1 se esquematiza el flujo a través de un vertedero rectangular donde se considera que la longitud de la cresta L es menor al ancho del canal, es decir que existe contracciones en el vertedero.

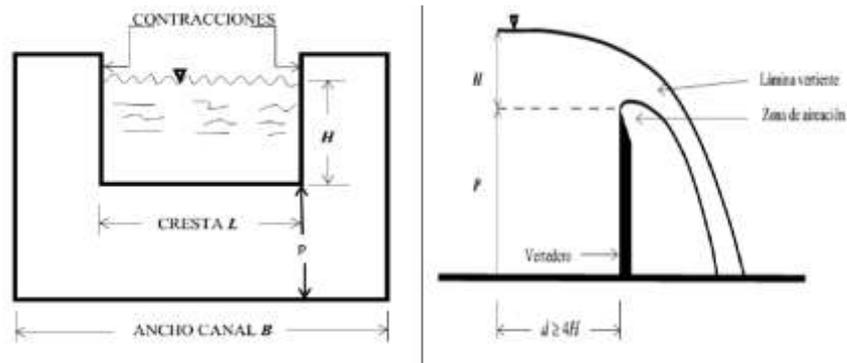


Figura 3.22 Flujo a través de un vertedero rectangular

Fuente: Caracterización de vertederos hidráulicos mediante técnicas CFD (Ngamalieu Nengoue, 2015).

Para vertederos con dos contracciones, la longitud efectiva de la cresta del vertedero rectangular será (Ngamalieu Nengoue, 2015):

$$Le = \left(L - \frac{2H}{10} \right)$$

Fórmula general de descarga de los vertederos rectangulares sin contracciones es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_D Le H^{\frac{3}{2}} \quad (2.1)$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_D \left(L - \frac{2H}{10} \right) H^{\frac{3}{2}} \quad (2.2)$$

Donde:

Q= Caudal (m^3/s)

L= Longitud de la cresta del vertedero (m)

B= Ancho del canal del vertedero

H= Carga hidráulica del vertedero (m)

C_D= Coeficiente de descarga

P= Altura de vertedero

g= Gravedad (m²/s)

Para el cálculo de C_D:

Según la fórmula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, el coeficiente de descarga para vertederos con dos contracciones es (Ngamaliou Nengoue, 2015).

$$C_D = \left[0.578 + 0.037 \left(\frac{L}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 \left(\frac{L}{B} \right)^2}{1000H + 1.6} \right] \left[1 + \frac{1}{2} \frac{L}{B} \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

4. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SEGÚN EL MÉTODO EXPERIMENTAL

La forma más sencilla para medir el caudal, es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Este tiempo se mide mediante un cronómetro.

$$Q = \frac{\text{Volúmen (lt)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (2.4)$$

5. PARTES DEL MODELO FÍSICO



Figura 3.23 Partes del modelo físico

Fuente: propia

6. DIMENSIONES DEL VERTEDERO

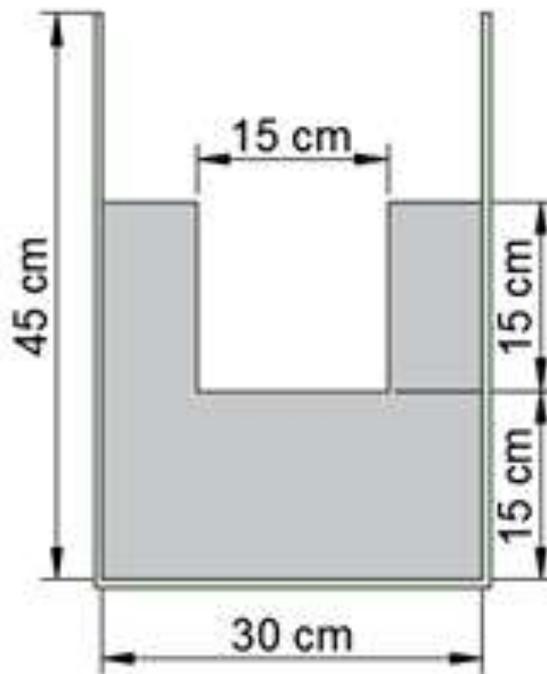


Figura 3.24 Dimensiones del vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

7. MÉTODO EXPERIMENTAL

7.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Modelo físico (canal rectangular)
- Vertedero de sección rectangular de pared delgada sin contracciones laterales
- Cronómetro
- Tira de caucho
- Recipiente de 8 litros
- Graduador

7.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL

1. Instale el vertedero en posición horizontal en la ranura dispuesta para ese fin (canal de aluminio) (Ver figura 3.25).



Figura 3.25 Ranura para colocar el vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

2. Coloque la tira de caucho en la ranura donde está ubicada el vertedero. Asegúrese que la tira de caucho esté completamente hundida en el canal, con el fin de que no se filtre el agua (Ver figura 3.26).



Figura 3.26 Colocación de la tira de caucho

Fuente: propia

3. Llenar el tanque de almacenamiento con agua, hasta el nivel indicado en el mismo (Ver figura 3.27).



Figura 3.27 Llenado del tanque de almacenamiento

Fuente: propia

4. Llenar el modelo físico con agua hasta que el nivel de agua se encuentre a la misma altura del vertedero (Ver figura 3.28).



Figura 3.28 Llenado del modelo físico

Fuente: propia

5. Conectar la bomba a un tomacorriente, considerando que utiliza un voltaje de 110 voltios (Ver figura 3.29).

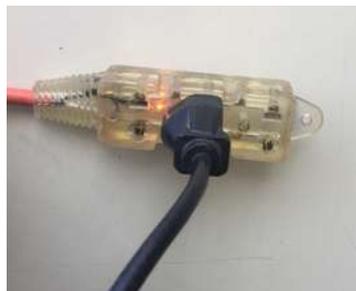


Figura 3.29 Conexión eléctrica

Fuente: propia

6. Cebear la bomba.

- 6.1 Abrir la válvula de paso 2, de la tubería que retorna hacia el tanque de almacenamiento (Ver figura 3.30).



Figura 3.30 Abertura de la llave de paso 2

Fuente: propia

6.2 Desenroscar el tapón de cebado que se encuentra en la parte superior de la bomba
(Ver figura 3.31).



Figura 3.31 Abertura del tapón de cebado

Fuente: propia

6.3 Llenar de agua la cámara de la bomba, hasta que salga agua por la tubería que
retorna al tanque de almacenamiento (Ver figura 3.32).



Figura 3.32 Llenado de agua en la cámara de la bomba

Fuente: propia

6.4 Enroscar el tapón de cebado (Ver figura 3.33).



Figura 3.33 Cerrado del tapón de cebado

Fuente: propia

- 7 Encender la bomba, comprobando que las válvulas de paso estén completamente abiertas (ensayo ángulo de 0 grados) (Ver figura 3.34).

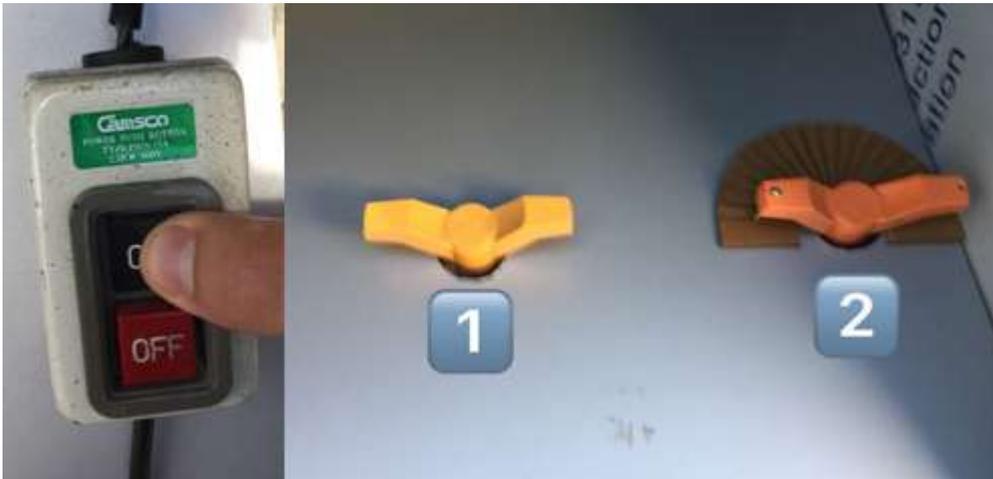


Figura 3.34 Encendido de la bomba, con las válvulas de paso abiertas

Fuente: propia

- 8 Tomar las muestras en la parte posterior del modelo, midiendo el tiempo que tarda en llenarse el recipiente de volumen conocido (8 litros) y posteriormente anotar en la tabla 1 de la ficha de resultados (tomar 3 veces el tiempo, para obtener un caudal promedio) (Ver figura 3.35).



Figura 3.35 Toma de muestras

Fuente: propia

- 9 Con ayuda del graduador, cerrar la válvula de paso 2 un ángulo de 30 grados, y repetir el paso 8 (Ver figura 3.36).

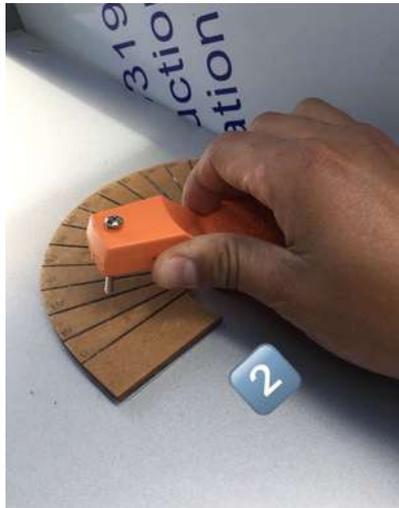


Figura 3.36 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador

Fuente: propia

- 10 Repetir el paso 9, para los ángulos 40, 50 y 60 grados.

- 11 Apagar la bomba (Ver figura 3.37).



Figura 3.37 Dimensiones del vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia

- 12 Con los datos obtenidos anteriormente (Tabla 1), determinar el caudal para cada una de las muestras, utilizando la ecuación (2.4), y calcular el caudal promedio.

8 MÉTODO TEÓRICO

8.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Modelo físico (canal rectangular)
- Vertedero de sección rectangular de pared delgada sin contracciones laterales
- Tira de caucho
- Graduador
- Flexómetro

8.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR EL MÉTODO TEÓRICO

1. Encender la bomba (Ver figura 3.38).



Figura 3.38 Encendido de la bomba

Fuente: propia

2. Abrir las válvulas de paso, tanto de la tubería que retorna la tanque de almacenamiento como a la tubería que va hacia el modelo físico (Ensayo ángulo de 0 grados) (Ver figura 3.39).



Figura 3.39 Abertura de las válvulas de paso

Fuente: propia

3. Esperar un tiempo prudente, hasta que el flujo que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, se estabilice
4. Medir visualmente la variación de altura, con ayuda del flexómetro 1 ubicado en la parte lateral del canal. Medir la carga hidráulica a una longitud mayor o igual a cinco veces la carga hidráulica, desde el vertedero analizado ($L \geq 5H$, H =carga hidráulica). Anotar en la tabla 2 de la ficha de resultados (Ver figura 3.40).



Figura 3.40 Medición de la carga hidráulica

Fuente: propia

5. Con ayuda del graduador, cerrar la válvula de paso un ángulo de 30 grados, y repetir el paso 3 y 4 (Ver figura 3.41).

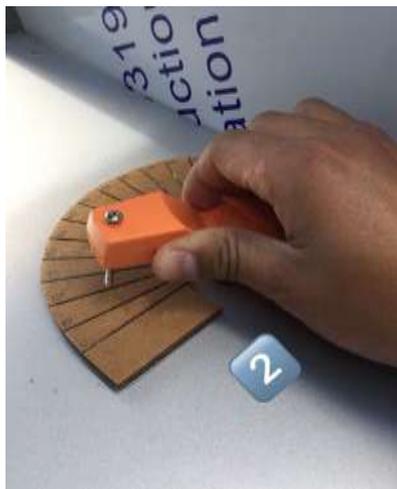


Figura 3.41 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador

Fuente: propia

6. Repetir el paso 5, para los ángulos 40, 50 y 60 grados.
7. Apagar la bomba (Ver figura 3.42).



Figura 3.42 Apagado de la bomba

Fuente: propio

8. Determinar el caudal para cada una de las muestras, utilizando las ecuaciones (2.2) (2.3) con los datos obtenidos en la tabla 2.
9. Comparar los resultados obtenidos tanto por el método teórico como por el método experimental.

9. FICHAS DE RESULTADOS

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES
LABORATORIO DE HIDRÁULICA



NOMBRE DE LA PRÁCTICA:

FECHA:

NOMBRES

CÓDIGOS

FIRMAS

Tabla 3.4 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular con contracciones laterales mediante el método experimental

VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIONES LATERALES								
Abertura válvula (°)	Volumen de recipiente (litros)	Tiempo (segundos)			Caudal (lt/sg)			Caudal promedio (lt/sg)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	8							
30	8							
40	8							
50	8							
60	8							

Tabla 3.5 Ficha para obtención de datos del vertedero rectangular con contracciones laterales mediante el método teórico

CÁLCULO DEL CAUDA QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIONES LATERALES										
Abertura válvula (°)	Número de contracciones n	Longitud de la cresta del vertedero L (m)	Ancho del canal del vertedero B (m)	Carga hidráulica del vertedero H (m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m²/s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Q(m³/s)	Q(l/s)
0	2	0,15	0,3			9,81	0,15			
30	2	0,15	0,3			9,81	0,15			
40	2	0,15	0,3			9,81	0,15			
50	2	0,15	0,3			9,81	0,15			
60	2	0,15	0,3			9,81	0,15			

10. PREGUNTAS: Discusión y análisis

1. ¿Para calcular el caudal en un vertedero rectangular con contracciones por qué se considera el ancho de la cresta y no el ancho del canal como se considera en un vertedero sin contracciones?
2. ¿Cree usted que es importante tomar las muestras de los caudales tanto de manera teórica como por el método experimental, explique su respuesta?
3. ¿Cree usted que es importante que la lámina de agua se estabilice para poder medir visualmente la variación de altura de la carga hidráulica?
4. ¿Porque se debe medir la altura de la carga hidráulica a una distancia mayor o igual a cinco veces la carga hidráulica ($L \geq 5H$)?
5. ¿Cómo determinaría usted el caudal máximo de la bomba?
6. ¿Porque se le considera a la gravedad como parte de los datos para calcular el caudal teórico?

11. RECOMENDACIONES

3.4 Guía Metodológica para determinar el caudal del vertedero triangular de pared delgada

PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS N°3

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN VERTEDERO TRIANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

- Calcular el caudal que se descarga por el vertedero triangular de pared delgada, determinados de manera experimental y de manera teórica.
- Comparar los caudales obtenidos de manera experimental como teórica.
- Analizar el comportamiento que tienen los vertederos.

2. DESCRIPCIÓN

Un vertedero es una estructura hidráulica, a través fluye una corriente líquida, el vertedero intercepta la corriente en una superficie libre, produciendo un aumento de nivel del líquido aguas arriba. Los vertederos sirven para evacuar los excesos de agua que se encuentran por encima de su nivel de operación, o bien para medir el caudal que circula por el canal. (Gutiérrez Lozano, 2016).

La determinación de los caudales que pasan sobre un vertedero de pared delgada con secciones de diferentes formas, se basa principalmente en la variación de altura (carga hidráulica) que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente.

Para obtener los caudales que pasan sobre el vertedero nos basaremos en dos métodos: el primero, un método experimental, este se realizará mediante la toma de muestras, midiendo el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido, y determinando de manera volumétrica el caudal. El segundo un método teórico, este se realizará considerando las dimensiones del vertedero, determinando de manera visual la variación de altura que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, y calculando el caudal utilizando las ecuaciones del fundamento teórico.

3. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES SEGÚN EL MÉTODO TEÓRICO

Según la figura 1 se esquematiza el flujo a través de un vertedero triangular de pared delgada.

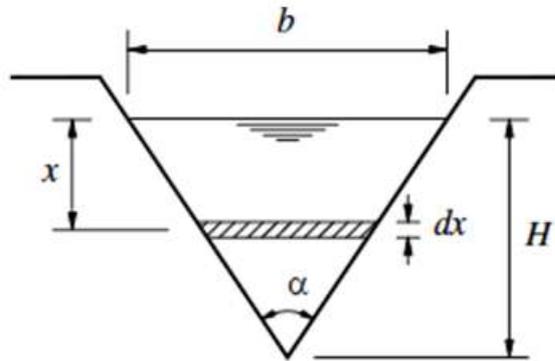


Figura 3.43 Forma de descarga en un Vertedero Triangular

Fuente: Hidráulica de tuberías y canales (Rocha Felices, 2007)

La fórmula general para vertederos triangulares de un ángulo dado y para coeficientes de CD tiene como expresión (Marbello Pérez, 2005).

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) H^{\frac{5}{2}} \quad (2.1)$$

$$Q = C_d Q_t \quad (2.2)$$

Donde:

Q_t = Caudal teórico (m^3/s)

h = Altura de carga hidráulica (m)

g = gravedad (m^2/s)

Q = Caudal real (m^3/s)

Según la fórmula de Heyndrick, el coeficiente de descarga para canales triangulares con un ángulo $\alpha = 60^\circ$ y cargas normales es igual (Marbello Pérez, 2005):

$$C_d = [0.5775 + 0.214H^{1.25}] \left[1 + \left(\frac{H^2}{b(H+p)} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

Donde b se calcula con la siguiente expresión:

$$b = 2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) H \quad (2.4)$$

4. EXPRESIONES PARA CALCULAR EL CAUDAL DE UN VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SEGÚN EL MÉTODO EXPERIMENTAL

La forma más sencilla para medir el caudal, es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Este tiempo se mide mediante un cronómetro.

$$Q = \frac{\text{Volúmen (lt)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (2.5)$$

5. PARTES DEL MODELO FÍSICO



Figura 3.44 Encendido de la bomba

Fuente: propia

6. DIMENSIONES DEL VERTEDERO

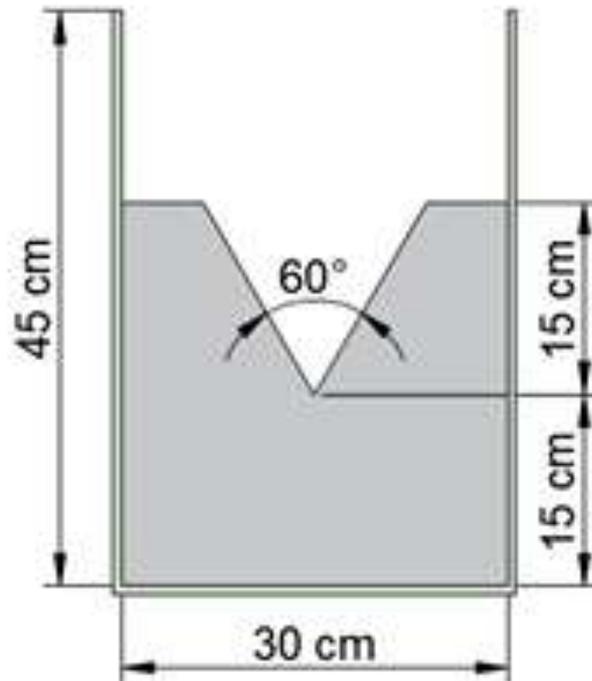


Figura 3.45 Dimensiones del vertedero triangular

Fuente: propia

7. MÉTODO EXPERIMENTAL

7.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Modelo físico (canal rectangular)
- Vertedero de sección rectangular de pared delgada sin contracciones laterales
- Cronómetro
- Tira de caucho
- Recipiente de 8 litros
- Graduador

7.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL

1. Instale el vertedero en posición horizontal, en la ranura dispuesta para ese fin (canal de aluminio) (Ver figura 3.46).



Figura 3.46 Ranura para colocar el vertedero triangular

Fuente: propia

2. Coloque la tira de caucho en la ranura donde está ubicada el vertedero. Asegúrese que la tira de caucho esté completamente hundida en el canal, con el fin de que no se filtre el agua (Ver figura 3.47).



Figura 3.47 Colocación de la tira de caucho

Fuente: propia

3. Llenar el tanque de almacenamiento con agua, hasta el nivel indicado en el mismo (Ver figura 3.48).



Figura 3.48 Llenado del tanque de almacenamiento

Fuente: propia

4. Llenar el modelo físico con agua hasta que el nivel de agua se encuentre a la misma altura del vertedero (Ver figura 3.49).



Figura 3.49 Llenado del modelo físico

Fuente: propia

5. Conectar la bomba a un tomacorriente, considerando que utiliza un voltaje de 110 voltios (Ver figura 3.50).

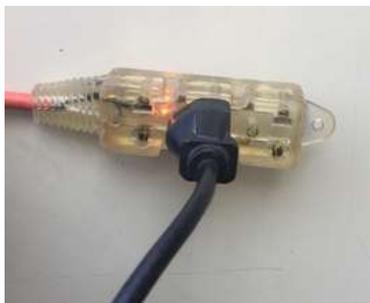


Figura 3.50 Conexión eléctrica

Fuente: propia

6. Cebear la bomba.

6.1 Abrir la válvula de paso 2, de la tubería que retorna hacia el tanque de almacenamiento (Ver figura 3.51).



Figura 3.51 Abertura de la llave de paso 2

Fuente: propia

6.2 Desenroscar el tapón de cebado que se encuentra en la parte superior de la bomba (Ver figura 3.52).



Figura 3.52 Abertura del tapón de cebado

Fuente: propia

6.3 Llenar de agua la cámara de la bomba, hasta que salga agua por la tubería que retorna al tanque de almacenamiento (Ver figura 3.53).



Figura 3.53 Llenado de agua en la cámara de la bomba

Fuente: propia

6.4 Enroscar el tapón de cebado (Ver figura 3.54).



Figura 3.54 Cerrado del tapón de cebado

Fuente: propia

- 7 Encender la bomba, comprobando que las válvulas de paso estén completamente abiertas (ensayo ángulo de 0 grados) (Ver figura 3.55).



Figura 3.55 Encendido de la bomba, con las válvulas de paso abiertas

Fuente: propia

- 8 Tomar las muestras en la parte frontal del modelo, midiendo el tiempo que tarda en llenarse el recipiente de volumen conocido (8 litros) y posteriormente anotar en la tabla 1 de la ficha de resultados (tomar 3 veces el tiempo, para obtener un caudal promedio) (Ver figura 3.56).



Figura 3.56 Toma de muestras

Fuente: propia

- 9 Con ayuda del graduador, cerrar la válvula de paso 2 un ángulo de 10 grados, y repetir el paso 8 (Ver figura 3.57).



Figura 3.57 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador

Fuente: propia

- 10 Repetir el paso 9, para los ángulos 20, 30 y 40 grados.

11 Apagar la bomba (Ver figura 3.58).



Figura 3.58 Apagado de la bomba

Fuente: propia

12 Con los datos obtenidos anteriormente (Tabla 1), determinar el caudal para cada una de las muestras, utilizando la ecuación (2.5), y calcular el caudal promedio.

8. MÉTODO TEÓRICO

8.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Modelo físico (canal rectangular)
- Vertedero de sección rectangular de pared delgada sin contracciones laterales
- Tira de caucho
- Graduador
- Flexómetro

8.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO POR EL MÉTODO TEÓRICO

1. Encender la bomba (Ver figura 3.59).



Figura 3.59 Encendido de la bomba

Fuente: propia

2. Abrir las válvulas de paso, tanto de la tubería que retorna al tanque de almacenamiento como a la tubería que va hacia el modelo físico (Ensayo ángulo de 0 grados) (Ver figura 3.60).



Figura 3.60 Abertura de las válvulas de paso

Fuente: propia

3. Esperar un tiempo prudente, hasta que el flujo que se produce en la sección transversal de la lámina vertiente, se estabilice.
4. Medir visualmente la variación de altura, con ayuda del flexómetro 1 ubicado en la parte lateral del canal. Medir la carga hidráulica a una longitud mayor o igual a cinco veces la carga hidráulica, desde el vertedero analizado ($L \geq 5H$, H =carga hidráulica). Anotar en la tabla 2 de la ficha de resultados (Ver figura 3.61).



Figura 3.61 Medición de la carga hidráulica

Fuente: propia

5. Con ayuda del graduador, cerrar la válvula de paso 2 un ángulo de 10 grados, y repetir el paso 3 y 4 (Ver figura 3.62).

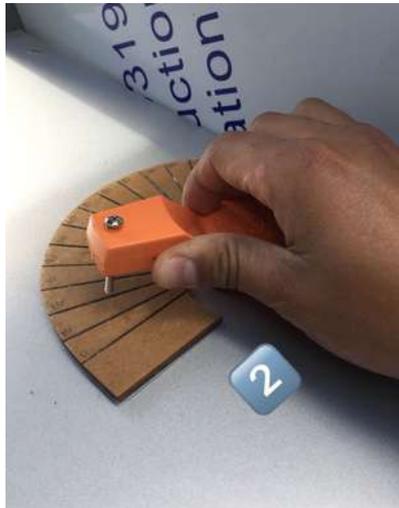


Figura 3.62 Cerrado de la válvula de paso, utilizando el graduador

Fuente: propia

6. Repetir el paso 5, para los ángulos 20, 30 y 40 grados.
7. Apagar la bomba (Ver figura 3.63).



Figura 3.63 Apagado de la bomba

Fuente: propia

8. Determinar el caudal para cada una de las muestras, utilizando las ecuaciones (2.1) (2.2) (2.3) (2.4) con los datos obtenidos en la tabla 2.
9. Comparar los resultados obtenidos tanto por el método teórico como por el método experimental.

9 FICHAS DE RESULTADOS

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES
LABORATORIO DE HIDRÁULICA



NOMBRE DE LA PRÁCTICA:

FECHA:

NOMBRES

CÓDIGOS

FIRMAS

Tabla 3.6 Ficha para obtención de datos del vertedero triangular mediante el método experimental

VERTEDERO TRIANGULAR								
Abertura válvula (°)	Volumen de recipiente (litros)	Tiempo (segundos)			Caudal (lt/sg)			Caudal promedio (lt/sg)
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	8							
10	8							
20	8							
30	8							
40	8							

Tabla 3.7 Ficha para obtención de datos del vertedero triangular mediante el método teórico

CÁLCULO CAUDAL QUE SE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO TRIANGULAR										
Abertura válvula (°)	Ángulo	Longitud de la cresta del vertedero b (m)	Carga hidráulica del vertedero H(m)	Carga hidráulica del vertedero H (cm)	Gravedad g (m ² /s)	Altura de vertedero P (m)	Cd	Qt (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (l/s)
	Grados									
0	60				9,81	0,15				
10	60				9,81	0,15				
20	60				9,81	0,15				
30	60				9,81	0,15				
40	60				9,81	0,15				

10. PREGUNTAS: Discusión y análisis

1. ¿Tomando en cuenta las dimensiones de los vertederos que se utilizan en el modelo físico para realizar cada una de las prácticas, por qué se produce mayor carga hidráulica en el vertedero triangular?
2. ¿Cree usted que es importante tomar las muestras de los caudales tanto de manera teórica como por el método experimental, explique su respuesta?
3. ¿Cree usted que es importante que la lámina de agua se estabilice para poder medir visualmente la variación de altura de la carga hidráulica?
4. ¿Porque se debe medir la altura de la carga hidráulica a una distancia mayor o igual a cinco veces la carga hidráulica ($L \geq 5H$)?
5. ¿Cómo determinaría usted el caudal máximo de la bomba?
6. ¿Porque se le considera a la gravedad como parte de los datos para calcular el caudal teórico?

11. RECOMENDACIONES

3.5 Conclusiones del modelo físico

El desarrollo de este proyecto servirá de metodología de estudio que ayudará a mejorar la comprensión de los diferentes tipos de vertederos; este trabajo puesto a disposición de estudiantes y docentes, garantizará el correcto desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Durante la validación de datos se pudo comprobar que los caudales obtenidos, tanto de manera teórica como de manera experimental, son muy aproximados, dando como resultado una buena ejecución de la práctica de laboratorio.

Para los vertederos rectangulares con y sin contracciones laterales las aberturas de la válvula reguladora de caudal que se utilizará para las prácticas son: 0, 30, 40, 50 y 60 grados, mientras que para el vertedero triangular se utilizará aberturas de 0, 10, 20, 30 y 40 grados, ya que este vertedero produce mayor carga hidráulica por su sección.

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de titulación, se elaboró satisfactoriamente el modelo físico y las guías metodológicas para los diferentes ensayos de vertederos de pared delgada, que incluye una ficha formato para la obtención de los datos durante la ejecución de la misma.

Se investigó los componentes y parámetros de los vertederos, los cuales se describen en el capítulo I, al igual que las fórmulas de cálculo y las principales variables para la obtención del caudal que fluye sobre un vertedero.

Se analizó la información obtenida y se diseñó el modelo físico final, validando las dimensiones del modelo de acuerdo a los ensayos realizados para las diferentes secciones de vertederos.

Se elaboraron guías metodológicas para los tres ensayos elegidos de vertederos de diferente sección: vertedero rectangular sin contracciones laterales, vertedero rectangular con contracciones laterales y vertedero triangular; las cuales detallan los pasos a seguir durante la realización de cada ensayo, también cuentan con una ficha de resultados que servirá para obtener los datos durante la ejecución de las prácticas.

RECOMENDACIONES

Al encender la bomba de agua, tener precaución de que las válvulas de paso estén abiertas, para prevenir el sobreesfuerzo que se producirá en ella y así lograr evitar que se produzca daños en su funcionamiento, he incluso evitar que la bomba quede inservible.

Al realizar las prácticas de laboratorio, maniobrar el modelo físico con toda la responsabilidad posible, evitar todo tipo de golpes o contacto directo en los bordes del modelo con objetos o superficies duras, la mala manipulación podría ocasionar la rotura instantánea del vidrio con el que está hecho.

Colocar las tiras de caucho en los canales de aluminio que están destinados para ubicar los vertederos, de modo que estas queden presionadas dentro del canal y así evitar la fuga excesiva de agua en los bordes del vertedero.

Para el correcto desarrollo de la prácticas, se recomienda cumplir ordenadamente los pasos propuestos en la guía metodológica, de modo que puedan concluir satisfactoriamente la práctica, obteniendo los resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aluminumextrusionsprofiles*. (s.f.). Obtenido de Aluminumextrusionsprofiles:
<http://spanish.aluminumextrusionsprofiles.com/supplier-106013-aluminium-channel-profiles>
- Banco del perno*. (s.f.). Obtenido de Bp: <https://www.bpecuador.com/BCBP0-5-BOMBA-CENTRIFUGA-ELECTRICA>
- Cabrera Guerrero, T. J. (2014). *Metodología para la determinación de la capacidad de descarga del vertedero de excesos en presas de tierra*. Tesis de Grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca-Ecuador.
- Cassells Vigil, H. A. (2005). *Diseño de una guía metodológica para la elaboración de un plan de gestión ambiental a nivel institucional*. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recurso naturales y del Ambiente, Managua-Nicaragua.
- Deacero*. (s.f.). Obtenido de Deacero: <https://www.deacero.com/es/products/li-angulo-de-lados-iguales-l-medidas-especiales/>
- DIPAC Productos de Acero*. (s.f.). Obtenido de Dipacmanta:
<http://www.dipacmanta.com/plancha-aluminio-lisa-astm-a1200>
- Dismet*. (s.f.). Obtenido de Dismet metales para la industria y la construcción:
<https://dismet.ec/productos/planchas/aluminio-liso>
- Extrusiones*. (s.f.). Obtenido de Extrusiones sellando confianza:
<https://www.extrusiones.com.co/lineas-de-productos/linea-construccion/sellos-para-ventanas-puertas-y-fachadas>
- Gutiérrez Lozano, Y. (2016). *Modelación numérica computacional del diseño de un vertedor de pared delgada de sección compuesta*. Tesis de Grado, Universidad central "Marta Abreu" de las Villas, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Santa Clara.
- Lux Monroy, M. A. (2010). *Medidores de flujo en canales abiertos*. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultas de Ingeniería, Guatemala.
- Marbello Pérez, R. (2005). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas, Medellín.
- Martínez Ramos, H. P. (2011). *Evaluación experimental de los coeficientes de gastos utilizados en formulas de vertederos en diferentes condiciones de operación*. Tesis de Postgrado, Univerisdad Nacional de Ingeniería, Ingeniería Civil, Lima-Perú.
- Ngamaliou Nengoue, U. A. (2015). *Caracterizacion de vertederos hidráulicos mediante técnicas CFD*. Tesis de postgrado, Universidad Politecnica de Valencia, Ingeniería Hidráulica y medio ambiente, Valencia-España.

Plastigama. (s.f.). Obtenido de Plastigama:

<http://plastigama.com/productos/construccion/agua-potable.html>

Rocha Felices, A. (2007). *Hidraulica de tuberías y canales*. Lima, Perú.

Sodimac. (s.f.). Obtenido de Sodimac: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/122742/Valvula-de-bola-1-1-2-PVC>

Tecnicglass. (s.f.). (S. SG-20, Productor) Obtenido de Tecnicglass:

<https://tecnicglass.com/productos/sellantes-adhesivos/siconas-pegado-estructural/sika-silicona-estructural-sikasil-sg-20/>

Temglass ltda. (s.f.). Obtenido de Temglass ltda: <http://www.temglassltda.com/vidrio-templado/>

ANEXOS

Anexo 1: Anexo fotográfico del modelo físico y sistema de recirculación



Figura 1: Esquema general del modelo físico

Fuente: propia



Figura 2: Control de encendido y apagado de la bomba y válvulas reguladoras de caudal

Fuente: propia

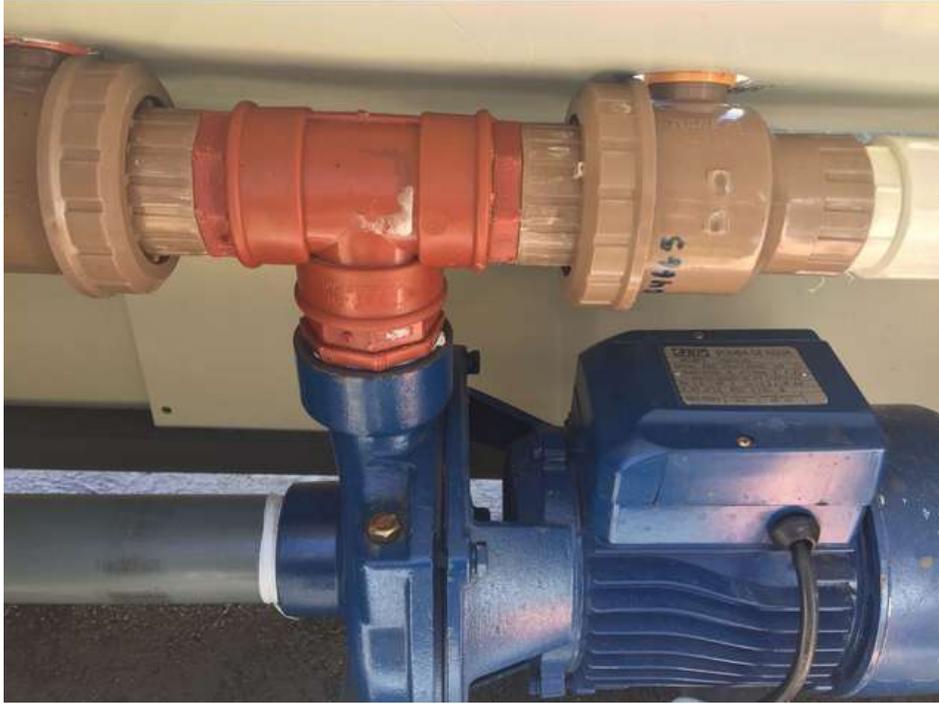


Figura 3: Bomba de agua

Fuente: propia



Figura 4: Vertedero Triangular

Fuente: propia

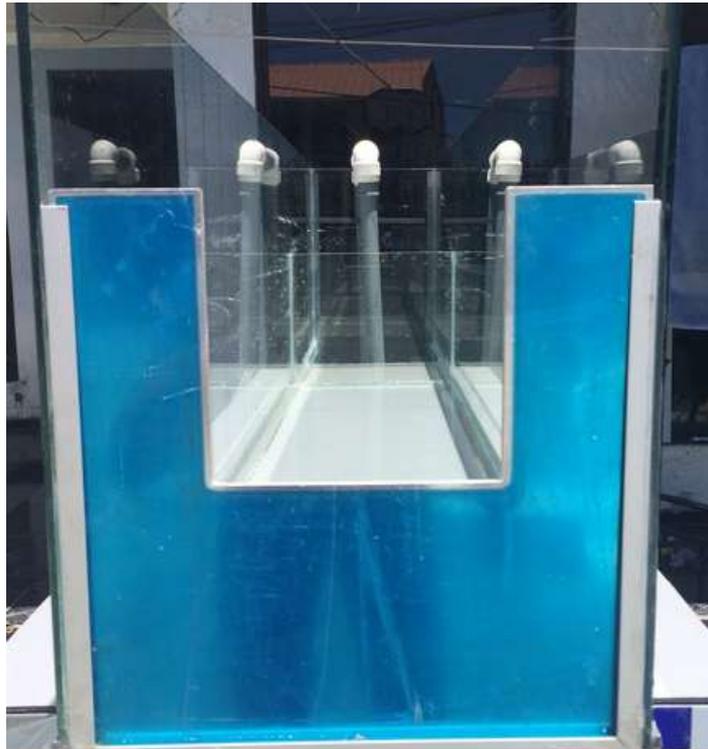


Figura 5: Vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: propia



Figura 6: Vertedero rectangular sin contracciones laterales

Fuente: propia



Figura 7: Reglas para la medición de la carga hidráulica

Fuente: propia



Figura 8: Tanque de almacenamiento

Fuente: propia



Figura 9: Toma de muestras

Fuente: propia



Figura 10: Válvula de desfogue

Fuente: propia



Figura 11: Modelo físico final

Fuente: propia



Figura 12: Válvulas reguladoras de caudal y control de la bomba

Fuente: propia