



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 el
ensayo de compuertas hidráulicas de la asignatura
Mecánica de Fluidos de la Universidad Del Azuay**

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

Autores:

**LIZBETH BRUMILDA CASTRO NEIRA
WILSON FEDERICO HARRIS VÁSQUEZ**

Director:

JOSÚE BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre presente en mi vida, por ser mi guía incondicional y mi fortaleza en los momentos difíciles.

A mis padres, Ricardo y Lía, por ser el pilar fundamental de mi vida; por festejar mis logros y ser mí soporte en los fracasos y sobretodo, por brindarme su apoyo y comprensión para vencer los obstáculos y cumplir mis metas.

A mi hermano, Alex, mi cómplice y ejemplo a seguir, por siempre estar dispuesto a ayudarme sin importar las circunstancias ni la distancia.

A toda mi familia, por su gran amor y por estar a mi lado en este proceso.

Para ustedes este logro.

Brumilda Castro Neira

A Dios por cuidarme, permitirme llegar a cumplir mis metas y protegerme en el camino.

A mis padres, Eduardo y Marina, por ser mí enfoque, por estar a mi lado tanto en los momentos felices como en los tristes, por impartirme sus valores y ayudarme a alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos, por ayudarme de manera incondicional y porque sin ellos no hubiera sido posible convertirme en la persona que soy.

Wilson Harris Vásquez

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarnos siempre por el camino del bien y ser nuestro apoyo en momentos difíciles.

A la Universidad del Azuay, por darnos la oportunidad de ser parte de ella y formarnos como seres humanos y profesionales al servicio de la comunidad.

Queremos agradecer infinitamente al Ing. Josué Larriva, por su apoyo y dedicación; por brindarnos los conocimientos necesarios para la elaboración de nuestra tesis y por permitirnos ser parte de este proyecto.

A los miembros del tribunal designado, Ing. Belén Arévalo e Ing. Juan Carlos Malo, por motivarnos y brindarnos su tiempo en la revisión y corrección de este trabajo.

Finalmente, agradecemos a todos los profesores que nos han acompañado en el transcurso de nuestra vida estudiantil, por transmitirnos sus conocimientos y prepararnos como futuros profesionales.

Brumilda Castro Neira
Wilson Harris Vásquez

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
ANTECEDENTES.....	1
Introducción.....	1
Problemática	1
Justificación.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Alcances y resultados	3
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 COMPUERTAS HIDRÁULICAS	4
1.1.1 Definición de la Mecánica de Fluidos.....	4
1.1.2 Compuertas hidráulicas	4
1.1.3 Diseño de compuertas con descarga libre	10
1.1.4 Velocidad de entrada y salida	12
1.1.5 Área de un canal.....	12
1.1.6 Velocidad real	13
1.1.7 Caudal real	13
1.1.8 Diseño de compuertas con descarga sumergida.....	14
1.1.9 Definición de guía metodológica	15
1.1.10 Consideraciones generales	15
CAPÍTULO II	16
DISEÑO DEL ENSAYO DE LABORATORIO	16
2.1. Cálculo.....	16
2.2. Diseño y construcción	17
2.3. Pruebas	24
2.4. Validación de datos	25
CAPÍTULO III.....	27
GUÍA METODOLÓGICA PARA COMPUERTAS HIDRÁULICAS.....	27
3.1. Ensayo de compuertas con descarga libre	27

3.1.1.	Objetivo.....	27
3.1.2.	Alcance.....	27
3.1.3.	Definiciones	27
3.1.4.	Instrumentos.....	27
3.1.5.	Metodología	28
3.1.6.	Cálculos.....	29
3.1.7.	Resultados	33
3.2.	Ensayo de compuertas con descarga sumergida.....	34
3.2.1.	Objetivo.....	34
3.2.2.	Alcance.....	34
3.2.3.	Definiciones	34
3.2.4.	Instrumentos.....	34
3.2.5.	Metodología	34
3.2.6.	Cálculos.....	36
3.2.7.	Resultados	40
3.3.	Elaboración de guías para la realización de ensayos.....	41
3.3.1.	Ensayo de compuertas con descarga libre.....	41
3.3.2.	Ensayo de compuertas con descarga sumergida	50
	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO III	60
	CONCLUSIONES	62
	RECOMENDACIONES	63
	Bibliografía	64

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1. Compuerta con descarga libre y descarga sumergida.....	5
Figura 1. 2. Compuerta plana de rodillo	6
Figura 1. 3. Partes de la compuerta plana de rodillo	7
Figura 1. 4. Compuerta radial	7
Figura 1. 5. Partes de la compuerta radial.....	8
Figura 1. 6. Compuerta plana deslizante.....	8
Figura 1. 7. Partes de la compuerta plana deslizante	9
Figura 1. 8. Compuertas de aleta.....	9
Figura 1. 9. Compuerta mariposa.....	10
Figura 1. 10. Compuertas cilíndricas	10
Figura 1. 11. Compuerta con descarga libre	11
Figura 1. 12. Compuerta con descarga sumergida	14

CAPÍTULO II

Figura 2. 1. Secciones de madera para el modelo físico	18
Figura 2. 2. Secciones de madera para el modelo físico	18
Figura 2. 3. Modelo físico prototipo	19
Figura 2. 4. Secciones de vidrio para el modelo físico	19
Figura 2. 5. Secciones de vidrio para el modelo físico	20
Figura 2. 6. Modelo físico.....	20
Figura 2. 7. Sistema de recirculación.....	21
Figura 2. 8. Accesorios del modelo físico.....	22
Figura 2. 9. Mesa del modelo físico.....	23
Figura 2. 10. Estructura del modelo físico	23
Figura 2. 11. Tanque 1- tanque 2	25

CAPÍTULO III

Figura 3. 1. Esquema del modelo físico.....	43
Figura 3. 2. Modelo físico.....	43
Figura 3. 3. Compuerta hidráulica con descarga libre	44
Figura 3. 4. Altura máxima en el tanque metálico	44
Figura 3. 5. Llave A en la posición 2 y llave B en la posición 1	45
Figura 3. 6. Botones de la bomba.....	45
Figura 3. 7. Altura de agua en el recipiente de volumen conocido	45

Figura 3. 8. Botones de la bomba.....	46
Figura 3. 9. Apertura de 1 cm de la compuerta 1	46
Figura 3. 10. Altura del agua antes de la compuerta 1	46
Figura 3. 11. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 1	47
Figura 3. 12. Apertura de 1 cm de la compuerta 1	48
Figura 3. 13. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 2	49
Figura 3. 14. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 3	49
Figura 3. 15. Esquema del modelo físico.....	52
Figura 3. 16. Modelo físico.....	53
Figura 3. 17. Compuerta hidráulica con descarga sumergida	53
Figura 3. 18. Altura máxima en el tanque metálico	54
Figura 3. 19. Llave A en la posición 2 y llave B en la posición 1	54
Figura 3. 20. Botones de la bomba.....	54
Figura 3. 21. Altura de agua en el recipiente de volumen conocido.....	55
Figura 3. 22. Botones de la bomba.....	55
Figura 3. 23. Altura de 20 cm de la compuerta 2 tipo vertedero.....	55
Figura 3. 24. Apertura de 1.5 cm de la compuerta 1	56
Figura 3. 25. Tanque 2	56
Figura 3. 26. Altura del agua antes de la compuerta 1	56
Figura 3. 27. Altura de agua después de la compuerta 1.....	57
Figura 3. 28. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 1	58
Figura 3. 29. Apertura de 2 cm de la compuerta 1	58
Figura 3. 30. Altura de 19 cm de la compuerta 2 tipo vertedero.....	59
Figura 3. 31. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 2	59
Figura 3. 32. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 3	60

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2. 1. Dimensiones del modelo físico prototipo	17
Tabla 2. 2. Accesorios del modelo físico	22
Tabla 2. 3. Dimensiones del modelo físico	25
Tabla 2. 4. Dimensiones del tanque de latón	26
Tabla 2. 5. Accesorios del sistema de recirculación	26
Tabla 2. 6. Características de la bomba.....	26

CAPÍTULO III

Tabla 3. 1. Apertura-carga	30
Tabla 3. 2. Apertura-Cd	30
Tabla 3. 3. Porcentaje de error	31
Tabla 3. 4 Caudal-Cd	33
Tabla 3. 5. Tabla de datos necesarios para el cálculo de Cc	37
Tabla 3. 6. Cálculo del coeficiente de contracción	37
Tabla 3. 7. Apertura-Cc.....	38
Tabla 3. 8. Porcentaje de error	38
Tabla 3. 9. Cálculo del coeficiente de contracción	40
Tabla 3. 10. Caudal-Cc.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre

Anexo 2: Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida

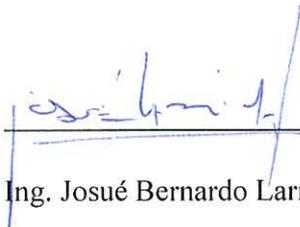
Anexo 3: Disipador de energía

**“ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y LA GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL ENSAYO DE COMPUERTAS HIDRÁULICAS 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 compuertas hidráulicas de la asignatura de mecánica de fluidos. El modelo físico elaborado tiene la capacidad de realizar dos tipos de prácticas: compuertas de descarga libre y de descarga sumergida, con la posibilidad de variar los parámetros de caudal, altura sumergida y la apertura de la compuerta, según el tipo de práctica. 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: Compuertas hidráulicas, guía metodológica, descarga libre, descarga sumergida.



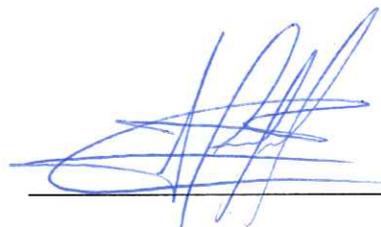
Director del Trabajo de Titulación



Director de la Escuela



Autora



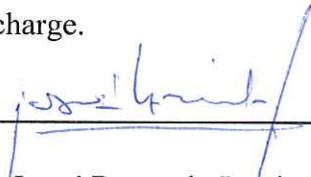
Autor

**“ELABORATION OF THE PHYSICAL MODEL AND THE
METHODOLOGICAL GUIDE FOR THE TEST OF HYDRAULIC GATES
OF THE FLUID MECHANICS SUBJECT OF THE UNIVERSITY OF
AZUAY”**

ABSTRACT

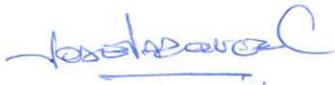
In this work, a physical model and a methodological guide for the practice of hydraulic gates of the fluid mechanics subject were elaborated. The physical model had the capacity to perform two types of practices: free discharge gates and submerged discharge gates, with the possibility of varying the parameters of flow, submerged height and gate opening. The methodological guide described the sequence of steps to be followed in order to carry out these practices and included the model of the results sheet for the registration and tabulation of the obtained values.

Keywords: Hydraulic hatches, methodological guide, free download, submerged discharge.



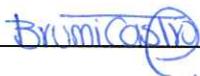
Ing. Josué Bernardo Larriva V. Dr C.

Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc.

Faculty Director



Lizbeth Brumilda Castro Neira



Wilson Federico Harris Vázquez

Authors




Translated by
Ing. Paul Arpi

ANTECEDENTES

Introducción

La mecánica de fluidos es la ciencia que estudia el comportamiento de un fluido ya sea en un estado de reposo o movimiento, sabiendo que un fluido es la sustancia que tiene la capacidad de adaptarse a la forma del recipiente que lo contiene. En el estudio de los fluidos es importante, a más de conocer la parte teórica respecto al diseño de cualquier mecanismo, poder observar su funcionamiento, así como realizar prácticas sobre la obtención de los coeficientes que relacionan la altura del agua y el caudal que circula por dicho elemento.

Uno de los mecanismos que se estudian en la mecánica de fluidos y que tiene una gran aplicación práctica es la compuerta hidráulica, la misma que se puede definir como un dispositivo hidráulico-mecánico que consiste en una placa móvil, y que permite regular el paso de agua en un canal o cualquier otra estructura hidráulica. Además, se puede medir el caudal que atraviesa el dispositivo, regular su descarga y modificar sus características aguas abajo.

El estudio y diseño de una compuerta, muchas de las veces, se torna complicado porque la idea de su funcionamiento no se encuentra clara. En la presente propuesta se explica el cálculo de una compuerta, el diseño y la construcción de un modelo físico, y finalmente una guía metodológica para realizar el ensayo de una compuerta hidráulica en el laboratorio.

Actualmente, en la Universidad del Azuay, no existe una guía en la cual el estudiante pueda basarse para empezar un ensayo de laboratorio, a más de las explicaciones del laboratorista, y mucho menos una manera didáctica en la que se pueda ver y conocer cómo es que el ensayo se pone en práctica.

Problemática

La mecánica de fluidos es una disciplina donde no basta con tener los conocimientos teóricos, sino también debemos combinarlos con la parte práctica para mejorar el entendimiento de cómo se comportan los fluidos y así poder utilizar estos conocimientos a nuestro favor.

Uno de los elementos dentro de la mecánica de fluidos son las compuertas hidráulicas, elementos que muchas veces son complicados de entender su comportamiento sin

tener un conocimiento previo, en caso de contar con una guía se facilita el desarrollo de la práctica de laboratorio.

Además de aprender a elaborar una práctica de estas compuertas debemos entender qué es lo que está ocurriendo con el caudal, con la altura del fluido antes de la compuerta, como influye la apertura de la compuerta, y la altura luego de que el fluido haya atravesado la compuerta, ya que de esto dependerá si dicho elemento tiene una descarga libre o sumergida. Siendo esta la parte más complicada debido a que no podemos asumir que nuestro diseño va a funcionar si no conocemos el comportamiento del sistema que estamos realizando. Todo esto ocurre debido a que no existen maneras didácticas para que el estudiante entienda y pueda observar el funcionamiento de las compuertas hidráulicas y mucho menos manuales o guías para la práctica de laboratorio de dicho sistema.

Justificación

Contar con una guía metodológica para el cálculo de compuertas hidráulicas ayudará a simplificar la práctica de laboratorio de dichos elementos garantizando ejecutar el trabajo en menor tiempo y de manera más eficiente.

Para complementar la práctica se contará con un modelado físico del sistema con su respectivo manual, en el cual el estudiante podrá leer de forma secuencial la manera de cómo se debe poner en funcionamiento el equipo. Además de poder ver todos los elementos que componen el sistema y observar el comportamiento del fluido antes y después de la compuerta.

Asegurando así, entender de manera más didáctica el efecto de la práctica y tener la posibilidad de comprobar el cálculo teórico realizado.

Objetivo general

Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la práctica de compuertas hidráulicas.

Objetivos específicos

- Definir conceptos básicos sobre guía metodológica y compuertas hidráulicas.
- Construir un modelo físico que indique el funcionamiento del sistema en cuestión.

- Elaborar una guía metodológica de la práctica de laboratorio.

Alcances y resultados

El presente trabajo de titulación contendrá una descripción detallada del experimento, una ficha formato y los cálculos de cada uno de los ensayos realizados en laboratorio concernientes a la asignatura de mecánica de fluidos; para lo cual será necesario:

- Realizar el cálculo del caudal que va a llegar al sistema de compuertas.
- Valorar la sección del canal aguas arriba de la compuerta.
- Valorar la sección del canal luego de la compuerta.
- Medir la altura del agua antes y después de la compuerta.
- Calcular las velocidades de entrada y salida.
- Determinar el coeficiente de contracción que se produce en el fluido.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 COMPUERTAS HIDRÁULICAS

1.1.1 Definición de la Mecánica de Fluidos

Es la ciencia dedicada al estudio de cómo se comporta un fluido ya sea en un estado de reposo o movimiento; se entiende por fluido a la sustancia que tiene la propiedad de adaptarse al recipiente que lo contiene.

Un fluido puede encontrarse en estado líquido o gaseoso, con diferencias como el cambio de volumen al elevar la temperatura o la compresibilidad que en los líquidos es mucho menor que en los gases.

1.1.2 Compuertas hidráulicas

Definición y uso

Las compuertas son dispositivos hidráulicos-mecánicos empleados para regular el paso de agua en la tubería, en un canal, presas, esclusas u otras estructuras hidráulicas (Córdoba, 2012).

Consiste en una placa móvil, plana o curva, que al levantarse permite medir el caudal que atraviesa las obras hidráulicas de gran magnitud, a la vez que regula la descarga producida.

Generalmente se realiza una apertura entre el piso de un canal y el borde inferior de la compuerta, de manera que su ancho coincide con el del canal; en estas condiciones el flujo podría denominarse bidimensional.

Las formas de las compuertas varían según su aplicación, el tipo de compuerta a utilizar dependerá principalmente del tamaño y forma de la apertura, de la carga estática, del espacio disponible, del mecanismo de apertura y de las condiciones particulares de operación. Algunos usos son:

- Control de flujo de agua
- Control de inundaciones
- Proyectos de irrigación

- Crear reservas de agua
- Sistemas de drenaje
- Proyectos de aprovechamiento del suelo
- Plantas de tratamiento

(Alonzo, 2013)

Clasificación

Para la selección del tipo y tamaño óptimo de las compuertas es necesario determinar adecuadamente las condiciones físicas, hidráulicas, climáticas y de operación. Éstas se diseñan de diferentes tipos y con diversas características en su operación y mecanismos de izado, los cuales permiten clasificarlas en grupos de la siguiente manera:

a) Según las condiciones del flujo aguas abajo:

Como se puede observar en la figura 1.1, las compuertas según las condiciones del flujo aguas abajo se clasifican en:

- Compuerta con descarga libre
- Compuerta con descarga sumergida o ahogada

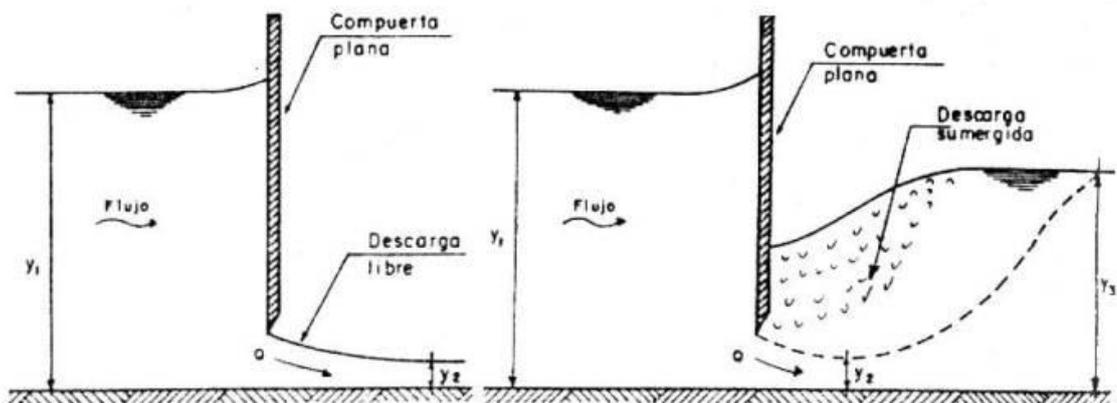


Figura 1. 1. Compuerta con descarga libre y descarga sumergida

Fuente: (Marbello, 2014)

b) Según el tipo de operación o mantenimiento:

- Compuertas principales: se diseñan para operar bajo cualquier condición de flujo.

- Compuertas de emergencia: se utilizan en los eventos de reparación, inspección y mantenimiento de las compuertas principales.
- c) De acuerdo a sus características geométricas:
- Compuertas planas: rectangulares, cuadradas, circulares, triangulares, etc.
 - Compuertas curvas o alabeadas: radiales, tambor, cilíndricas.
- d) Según el mecanismo de izado:
- Compuertas deslizantes: el elemento de cierre u obturación se mueve sobre superficies deslizantes que sirven, a la vez, de apoyo y sello.
 - Compuertas rodantes: el elemento de cierre u obturación se mueve sobre un tren de ruedas, rodillos o de engranajes, hasta la posición de estanca. Se utilizan en obras de toma profunda, para casos de emergencia y de servicio, así como para cierre en mantenimiento, en conductos a presión (Marbello, 2014).

Tipos de compuertas hidráulicas

1. Compuertas planas de rodillo

Son compuertas planas que han sido diseñadas para controlar el flujo en canales grandes, donde, el principal factor para utilizar esta compuerta es la facilidad de operación (Amaya, 2016). Un ejemplo se muestra en la figura 1.2.



Figura 1. 2. Compuerta plana de rodillo
Fuente: (Amaya, 2016)

1.1. Partes

Las partes de las compuertas planas son: rodillos, sistema de izaje, pantalla y partes fijas (figura 1.3).

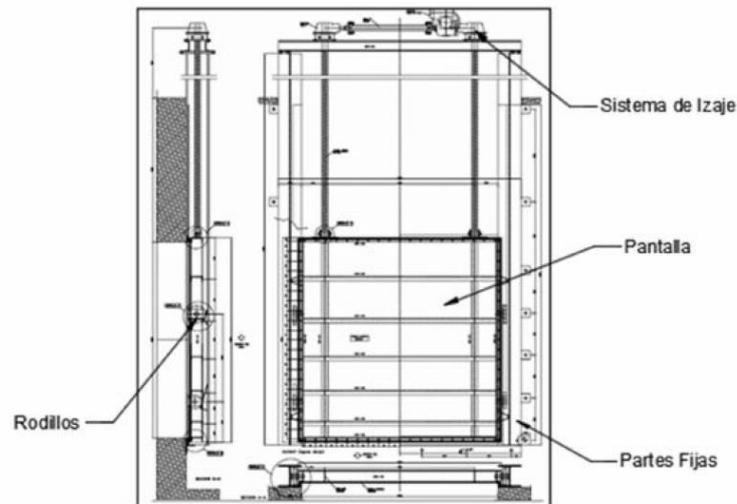


Figura 1. 3. Partes de la compuerta plana de rodillo
Fuente: (Amaya, 2016)

2. Compuertas radiales

Las compuertas radiales están formadas por una pantalla rolada, generalmente de acero (figura 1.4), apoyado en brazos radiales a través de los cuales se transmite el movimiento para poder accionar las mismas (Amaya, 2016).



Figura 1. 4. Compuerta radial
Fuente: (Amaya, 2016)

2.1. Partes

Las partes de las compuertas radiales se muestran en la figura 1.5 y son: tablero, pantalla, viga horizontal, sello, umbral, brazos y muñón principal.

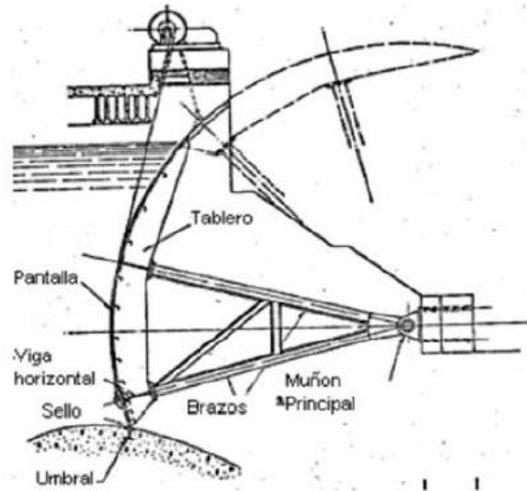


Figura 1. 5. Partes de la compuerta radial
Fuente: (Amaya, 2016)

3. Compuertas planas deslizantes

Se les llama compuertas deslizantes ya que su accionar se basa en deslizarse por unos rieles guías fijos (figura 1.6). Puede ser movida por diferentes sistemas de izaje.

Este tipo de compuertas han sido utilizadas para todo rango de presión, pero resultan ser más económicas para presiones pequeñas y tamaños moderados pues necesitan grandes fuerzas para ser movidas. Su utilización óptima se da en alturas y luces reducidas (Amaya, 2016).

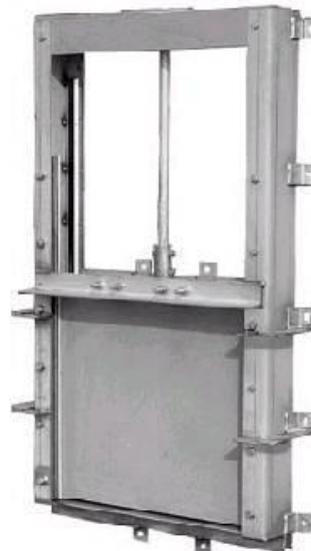


Figura 1. 6. Compuerta plana deslizante
Fuente: (Calderón, 2010)

3.1. Partes

Las partes de las compuertas planas deslizantes se muestran en la figura 1.7.

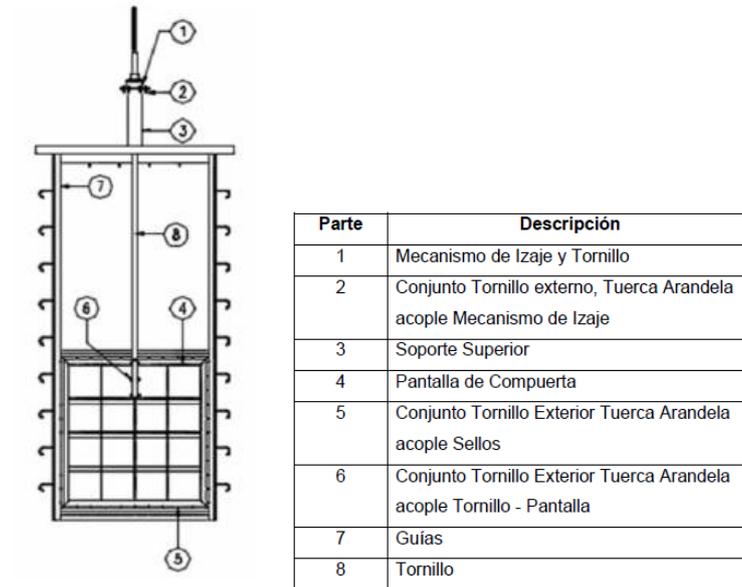


Figura 1. 7. Partes de la compuerta plana deslizante
Fuente: (Amaya, 2016)

4. Compuertas de aleta

Este tipo de compuerta consiste en una placa con bisagras que gira alrededor de un eje en su extremo inferior y transmiten el empuje hidrostático directamente hacia la solera. Como se puede observar en la figura 1.8, dicha placa puede ser plana o curva para dar una mejor característica de descarga (Calderón, 2010).



Figura 1. 8. Compuertas de aleta
Fuente: (Calderón, 2010)

5. Compuertas mariposa

Son utilizadas para controlar el flujo de agua a través de una gran variedad de aperturas (figura 1.9). Aunque pueden ser utilizadas para controlar el flujo en ambas direcciones la mayoría de las instalaciones sólo las utilizan para controlar

el flujo en una dirección. Con las compuertas mariposa es posible tener una máxima cabeza de energía en ambos lados de la compuerta (Calderón, 2010).



Figura 1. 9. Compuerta mariposa
Fuente: (Calderón, 2010)

6. Compuertas cilíndricas

Consiste en un cilindro de acero, el cual puede levantarse rodando sobre dos guías inclinadas (figura 1.10). Este tipo de compuerta proporciona una instalación simple y efectiva pero no son muy comúnmente usadas debido a que la regulación del nivel de agua se efectúa alzando el cilindro y dejando pasar el agua por debajo (Calderón, 2010).

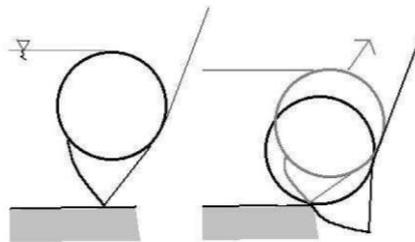


Figura 1. 10. Compuertas cilíndricas
Fuente: (Calderón, 2010)

1.1.3 Diseño de compuertas con descarga libre

Una compuerta comprende su apertura desde el fondo del canal y llegando generalmente hasta la parte inferior de la compuerta, y el ancho en la mayoría de los casos es igual al del canal. Formándose así la sección de descarga. Como se puede ver en la figura 1.11, este tipo de compuerta se caracteriza porque el fluido tiene una descarga sin obstrucciones.

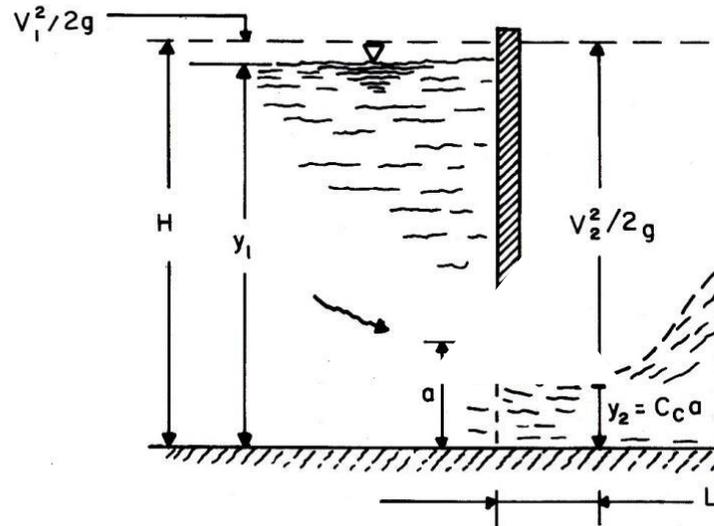


Figura 1. 11. Compuerta con descarga libre
Fuente: (Alonzo, 2013)

Este sistema nos permite entender de manera clara como un fluido sufre una contracción al atravesar la compuerta a lo largo de una longitud hasta que las líneas de corriente se vuelven horizontales. La contracción y rugosidad producen una pérdida de carga en la línea de energías, que se debe tomar en cuenta en los cálculos.

Igualando las ecuaciones de energía antes y después de la compuerta obtenemos la ecuación necesaria para el cálculo.

$$\frac{V_1^2}{2g} + y_1 = \frac{V_2^2}{2g} + y_2 \quad (1)$$

Igualando el caudal de entrada con el caudal de salida tenemos:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

$$y_1 \cdot b \cdot V_1 = y_2 \cdot b \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{y_2}{y_1} \cdot V_2$$

Sustituyendo en la primera ecuación:

$$y_1 + \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Obteniendo lo siguiente:

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{y_1 - y_2}{1 - \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2} = \frac{\left(1 - \frac{y_2}{y_1}\right)y_1}{\left(1 + \frac{y_2}{y_1}\right)\left(1 - \frac{y_2}{y_1}\right)}$$

Despejando la velocidad real tenemos:

$$V_2 = \frac{C_v}{\sqrt{1 + \frac{y_2}{y_1}}} \sqrt{2gy_1} \quad (2)$$

1.1.4 Velocidad de entrada y salida

Canal

Se conoce como un canal a la estructura artificial a través de la cual circula un fluido con una superficie expuesta a la atmósfera, pueden ser construidos por diferentes materiales como geo membranas, hormigón o simplemente mediante una excavación en el suelo (Chow, 1994).

Caudal

El caudal de un canal es la cantidad de fluido que la estructura tiene la capacidad de transportar, este puede variar según la sección transversal y la velocidad del fluido.

Velocidad

La velocidad antes de la compuerta y después de la misma se calcula de igual manera, obteniéndolas basándonos en el caudal de un canal mediante la siguiente expresión:

$$Q = V \cdot A \quad (3)$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

1.1.5 Área de un canal

El área de un canal se forma en la sección transversal del mismo, esta puede variar según la necesidad de conducción o restricciones por espacio pero las más comunes son las rectangulares.

1.1.6 Velocidad real

Coefficiente de contracción (Cc)

El coeficiente de contracción es un valor que se ha obtenido mediante prácticas de laboratorio con diferentes colaboradores; no es más que una relación entre el área de funcionamiento de la compuerta y el área a la que se contrae el fluido.

El comportamiento de un fluido en una compuerta hidráulica es semejante al que se presenta en un orificio.

Coefficiente de velocidad (Cv)

Luego que el fluido atraviesa la compuerta de pared delgada las partículas del mismo no tienen igual velocidad, siendo necesario utilizar un coeficiente para obtener la velocidad real denominado Cv.

Según Knapp la ecuación para calcular el Cv es:

$$C_v = 0.96 + 0.0979 \frac{a}{y_1} \quad \frac{y_1}{a} \leq 2.5 \rightarrow C_v = 1 \quad (4)$$

Velocidad real

La velocidad real está dada por la siguiente ecuación:

$$V_r = \frac{C_v}{\sqrt{1 + \frac{a \cdot C_c}{y_1}}} \cdot \sqrt{2g \cdot y_1} \quad (5)$$

1.1.7 Caudal real

Coefficiente de descarga (Cd)

Es un coeficiente que nos permite calcular el caudal que va a estar resultando luego que el fluido haya atravesado la compuerta, tomando en cuenta las pérdidas que va a sufrir en el sistema. Dicho coeficiente se obtiene con la siguiente expresión:

$$C_d = \frac{C_v \cdot C_c}{\sqrt{1 + \frac{a \cdot C_c}{y_1}}} \quad (6)$$

Caudal real

Es el caudal de salida de la compuerta y está dado por la fórmula:

$$Q_r = C_d \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot y_1} \quad (7)$$

1.1.8 Diseño de compuertas con descarga sumergida

En el caso de compuertas hidráulicas con descarga sumergida se produce un incremento en la altura de aguas en la vena contraída (figura 1.12), reemplazando el valor de $C_c a$ por h' , este incremento se da debido a que el río impuesto por condiciones de aguas abajo ahoga a la compuerta.

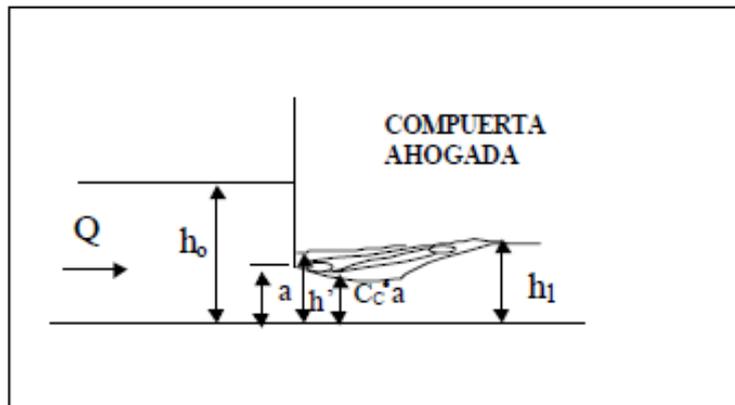


Figura 1. 12. Compuerta con descarga sumergida
Fuente: (Ugarte, 2010)

Se aplica la ecuación de Bernoulli entre la sección 0 y la sección donde se produce la vena contraída, obteniendo la siguiente ecuación:

$$Q = C_c a b \sqrt{2g(H_o - h')} \quad (8)$$

El valor de H_o se calcula con la expresión:

$$H_o = h_o + \frac{V_o^2}{2g} \quad (9)$$

El coeficiente de contracción (C_c) se obtiene de la misma manera que en compuertas con descarga libre.

Elaboración de guía metodológica

1.1.9 Definición de guía metodológica

Se conoce como guía metodológica al documento técnico que describe el conjunto de normas a seguir en los trabajos relacionados con los sistemas de información, es un elemento organizado que sirve para cumplir un fin, para que el alumno pueda asimilar nuevos conocimientos y habilidades (Masapanta, 2016).

1.1.10 Consideraciones generales

Para facilitar el entendimiento de la elaboración de una guía metodológica se ha dividido la misma en tres secciones, previo a estas se tiene una introducción del tema a estudiar.

Introducción: tiene como objetivo familiarizar al lector con el documento, es una breve descripción acerca del tema sobre el cuál se desarrollará la guía metodológica.

Primera sección: esta sección incluye los conceptos importantes que le dan razón de ser a la guía (Mora, 2010). También comprende los instrumentos o equipos a emplear para la elaboración del tema propuesto.

Segunda sección: descripción de los pasos que se deben seguir para desarrollar el tema propuesto.

Tercera sección: comprende definiciones claves que facilitan el entendimiento de los conceptos que pueden ser desconocidos para el lector.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL ENSAYO DE LABORATORIO

2.1. Cálculo

Para empezar con los cálculos del dimensionamiento del modelo físico se ha decidido imponer un caudal de 6 lt/s debido a que existe un margen considerable en el cual se pueden variar los caudales.

Nos imponemos una velocidad de salida a través de la compuerta de 2.0 m/s y calculamos el área de la compuerta con la ecuación (3):

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0.006}{2} = 0.003 \text{ m}^2$$

Considerando una apertura mínima de 1.0 cm, calculamos el ancho del canal con la fórmula del área

$$A = b \cdot h \tag{10}$$

$$0.003 = b \cdot 0.01$$

$$b = 0.30 \text{ m}$$

El Teorema de Torricelli nos indica la velocidad de salida de un líquido por un orificio, mediante la siguiente expresión:

$$v = \sqrt{2gh} \tag{11}$$

Considerando la velocidad de 2.0 m/s, obtenemos lo siguiente:

$$2 = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot h}$$

$$h = 0.204 \text{ m}$$

Para evitar que el tanque se llene completamente utilizaremos una altura de 30 cm.

Calculamos el volumen, para ello nos imponemos un tiempo de 10 segundos.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (12)$$

$$V = Q \cdot t$$

$$V = 0.006 \cdot 10$$

$$V = 0.06 \text{ m}^3$$

Con los datos obtenidos, procedemos a dimensionar el tanque que abastecerá a la compuerta hidráulica.

$$V = b \cdot h \cdot a \quad (13)$$

$$0.06 = 0.3 \cdot 0.3 \cdot a$$

$$a = 0.667 \text{ m}$$

Por lo tanto, ocuparemos $a = 69 \text{ cm}$.

En la tabla 2.1, se encuentran las dimensiones con las que se diseñará el modelo físico.

Tabla 2. 1. Dimensiones del modelo físico prototipo

Dimensiones	
a	69 cm
b	30 cm
h	30 cm

Fuente: Autores

2.2.Diseño y construcción

Primero realizaremos un modelo físico prototipo de madera para comprobar las medidas calculadas, dicho modelo tendrá una longitud de 2.0 m para elaborar las pruebas.

Para la construcción se utilizó una plancha de madera contrachapada de 1.22m x 2.44m y se cortaron las secciones ilustradas en la figura 2.1.

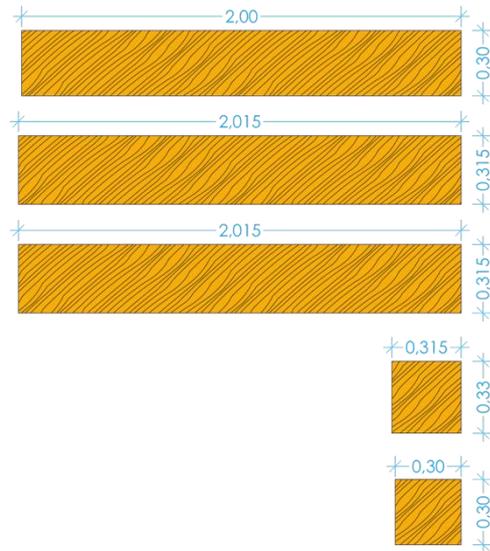


Figura 2. 1. Secciones de madera para el modelo físico
Fuente: Autores

Se armó el canal pegando las secciones y atornillándolas con pernos autoroscables.

Se impermeabilizó la madera con pintura plástica, sobre la cual se pegó un plástico tipo mica.

Para la compuerta se utilizaron perfiles de aluminio con caucho logrando que se pueda deslizar (figura 2.2)

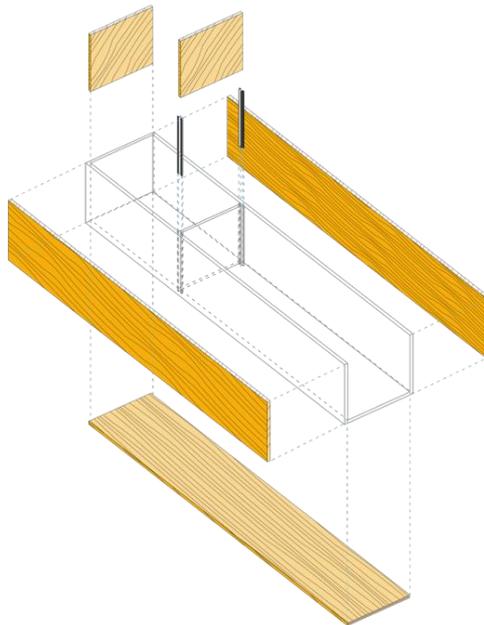


Figura 2. 2. Secciones de madera para el modelo físico
Fuente: Autores

Una vez construido el modelo físico prototipo (figura 2.3), se procedió a probarlo y se pudo observar que se producía un resalto hidráulico de alrededor de 20 cm de largo, con una altura de 5 cm aproximadamente, por lo tanto, se eligió acortar el largo de la maqueta a 1.50 m y generar un salto de 10 cm en la salida de la compuerta para evitar el resalto que se produjo en la maqueta prototipo.

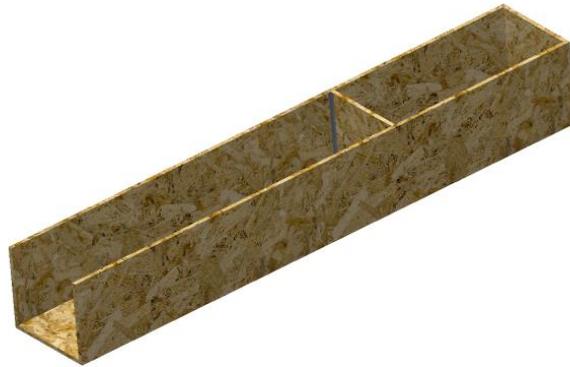


Figura 2. 3. Modelo físico prototipo
Fuente: Autores

Con las pruebas realizadas, se dimensionó el modelo físico el cual se construyó con un vidrio de 6.0 mm de espesor, en la figura 2.4 se puede observar las secciones utilizadas.

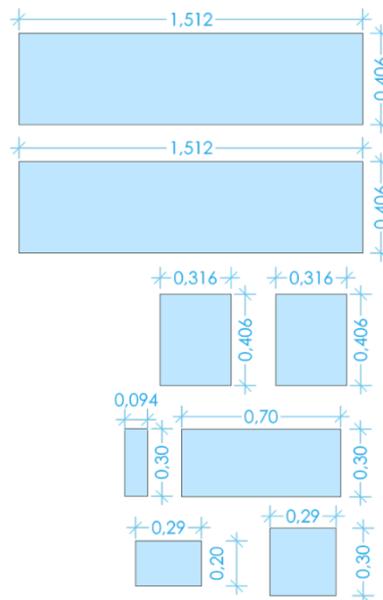


Figura 2. 4. Secciones de vidrio para el modelo físico
Fuente: Autores

El modelo físico contará con dos compuertas, la compuerta 1 será necesaria para realizar el ensayo y la compuerta 2 será tipo vertedero y servirá para inundar a la compuerta 1.

Para lograr que la compuerta se abra y se cierre se utilizó un perfil de aluminio, además, se pegó un caucho en la compuerta de vidrio para sellar las fugas de agua. La figura 2.5 muestra las secciones que constituyen el modelo físico.

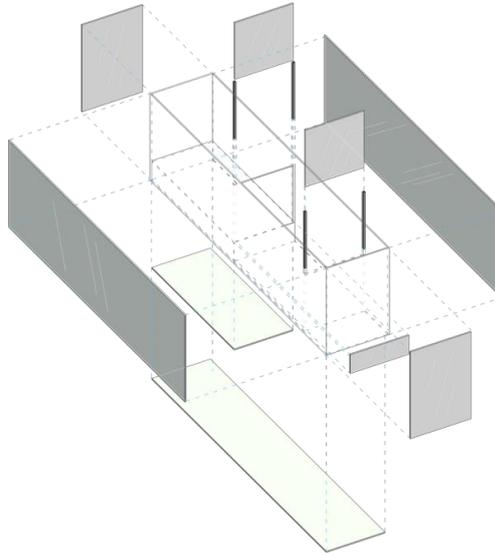


Figura 2. 5. Secciones de vidrio para el modelo físico
Fuente: Autores

Como se necesita que la compuerta se vaya abriendo o cerrando paulatinamente, se utilizó un sistema que consiste en una varilla roscada, la misma que baja la compuerta a medida que se va girando a la derecha y sube la compuerta cuando se gira en sentido contrario.

Se utilizó silicón para pegar las secciones, tanto las de vidrio como los perfiles de aluminio y así obtener el modelo físico representado en la figura 2.6.

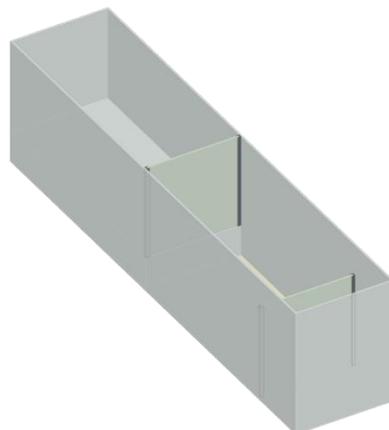


Figura 2. 6. Modelo físico
Fuente: Autores

Es necesario contar con el agua suficiente para abastecer el modelo, por lo que ha sido necesario diseñar un sistema de recirculación (figura 2.7), el mismo que consiste en almacenar agua en un tanque de latón y subirlo a la maqueta por medio de una bomba.

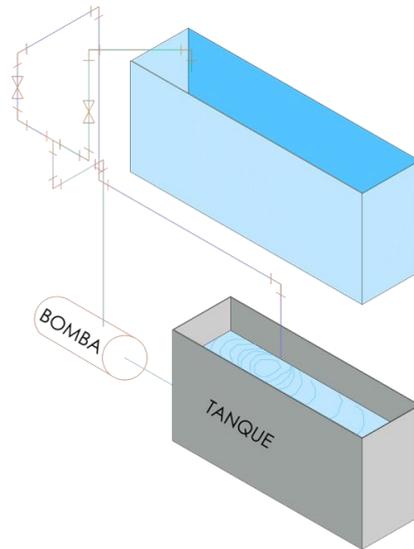


Figura 2. 7. Sistema de recirculación
Fuente: Autores

Para saber la cantidad de agua necesaria para abastecer el sistema calculamos el volumen de la maqueta con la ecuación (13).

$$Volumen\ 1 = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 0.7 = 0.063\ m^3$$

$$Volumen\ 2 = 0.3 \cdot 0.4 \cdot 0.6 = 0.072\ m^3$$

$$Volumen\ total = 0.063 + 0.072 = 0.135\ m^3$$

Por esta razón, se ha construido un tanque de latón de 1.2 metros de largo, 0.3 metros de ancho y una altura de 0.5 metros, obteniendo un volumen de $0.18\ m^3$.

En las pruebas realizadas con la maqueta prototipo, utilizando un caudal de una red doméstica, se pudo apreciar que la apertura de la compuerta era de 5mm aproximadamente, una altura muy pequeña como para lograr una variación de caudales. Por lo tanto, se decidió buscar una bomba de baja altura y un caudal mayor a 5 l/s para incrementar la apertura de la compuerta y así obtener un modelo más fácil de operar.

Las características de la bomba son: potencia de 2HP, diámetro de entrada y salida de 2", altura máxima de 20mca y caudal máximo de 480 l/min.

El sistema de recirculación debe contar con un mecanismo para variar el caudal que va a ingresar a la maqueta, el mismo está conformado por 2 llaves, una para controlar el caudal que ingresa al modelo físico y la otra que alivia la presión de la bomba enviando el agua al tanque de latón. Para armar este sistema se utilizó un tubo roscable de PVC de 2" de diámetro. Los accesorios necesarios para el modelo físico están especificados en la tabla 2.2 y la figura 2.8.

Tabla 2. 2. Accesorios del modelo físico

Accesorios	Cantidad
Codo	10
Neplo	6
Tee	1
Unión para el tanque	1

Fuente: Autores

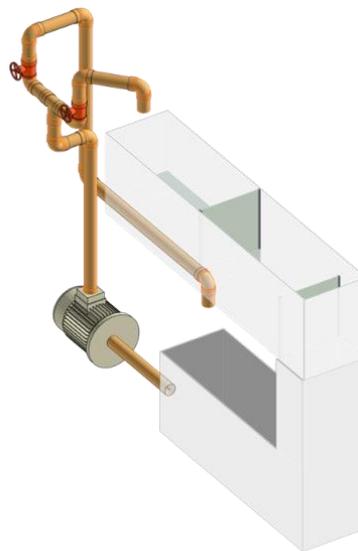


Figura 2. 8. Accesorios del modelo físico

Fuente: Autores

Finalmente, el modelo físico está asentado en una mesa construida con tubo cuadrado de 1 ½ pulgadas (figura 2.9), sus dimensiones son: 2.20m de largo, 1.00m de alto y 0.50m de ancho. En ella estará ubicado el modelo físico en la parte superior y el tanque y la bomba en la parte inferior.

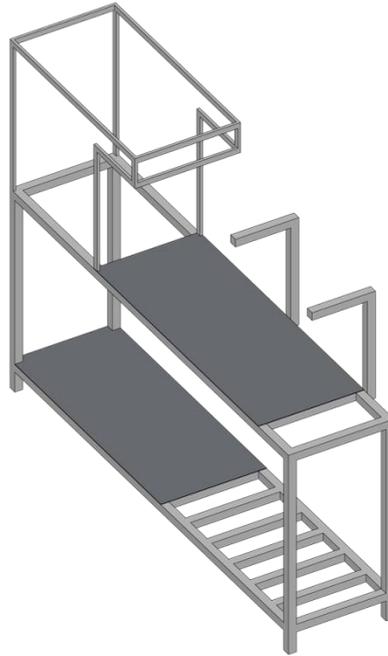


Figura 2. 9. Mesa del modelo físico
Fuente: Autores

Además, como se detalla en la figura 2.10, cuenta con dos tubos de 1 ½ pulgadas en forma de L, en los cuales irán anclados las varillas roscables que sirven para subir y bajar las compuertas y una estructura formada de tubo rectangular de 1"x0.5", donde se ubicará el panel de instrumentos.

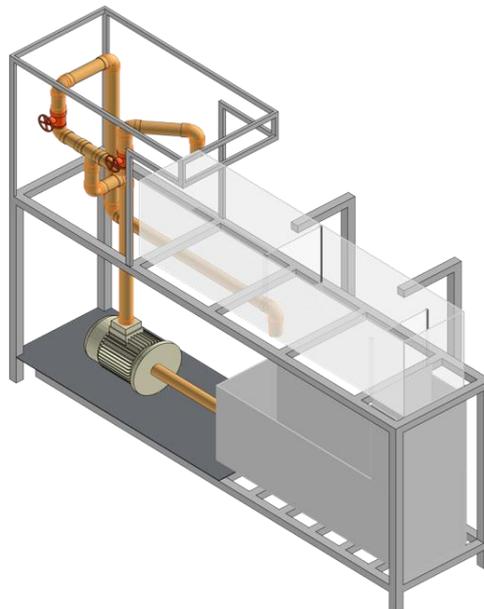


Figura 2. 10. Estructura del modelo físico
Fuente: Autores

2.3. Pruebas

Con las pruebas realizadas se pudo observar que era demasiado complicado medir el caudal máximo que proporciona la bomba debido a la velocidad con la que sale el fluido. Se intentó medir el caudal utilizando el volumen del tanque de vidrio del modelo físico midiendo la altura en una fracción de tiempo entre el momento en que se prende y se apaga la bomba, sin embargo, este método generó un error debido a que quedaban residuos en las tuberías luego de apagada la bomba, por esta razón se decidió no trabajar con el máximo caudal.

Se debe tomar en cuenta que por ningún motivo se tiene que encender la bomba con la compuerta completamente cerrada pues no se tendrá el tiempo suficiente para abrir dicha compuerta y el agua se empezará a desbordar del modelo físico.

La secuencia de apertura de compuerta debe ser siempre desde la apertura más pequeña hasta la más alta para que la carga de agua vaya disminuyendo, debido a que si se le hace de manera inversa no se alcanza la carga máxima.

Si nos excedemos en la apertura de la compuerta, la carga de agua disminuye considerablemente y mientras más pequeña se haga dicha carga es más difícil lograr la lectura de su medida a causa de la falta de estabilidad del agua.

Otro punto importante a tomar en consideración al momento de realizar el ensayo, es que las medidas de la carga de agua no se deben tomar muy apegadas a la compuerta pues la parte más estable del fluido se encuentra a dos o tres centímetros antes de la misma.

Para tener una referencia al momento de ubicar la compuerta en la práctica de laboratorio, la rosca utilizada en la varilla es milimétrica, es decir, que por cada vuelta que se dé a la varilla, la compuerta subirá o bajará un milímetro.

Luego de varias pruebas se llegó a la conclusión, que cuando la altura que se ahoga la compuerta es pequeña se tiende a formar un resalto hidráulico, el mismo que va desapareciendo a medida que se sube la compuerta tipo vertedero.

2.4. Validación de datos

Luego de realizados el pre-diseño y las pruebas correspondientes, se obtuvieron las dimensiones definitivas para la maqueta, necesaria para la práctica de laboratorio, las cuales están descritas en la tabla 2.3, teniendo en cuenta que para las medidas del tanque de vidrio se dividió la maqueta en dos partes (figura 2.11).

Tabla 2. 3. Dimensiones del modelo físico

MODELO FÍSICO		
Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
1.50	0.30	0.40
Tanque 1		
Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
0.691	0.30	0.30
Tanque 2		
Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
0.603	0.30	0.40
Compuerta 1		
Ancho (m)	Espesor (m)	Altura (m)
0.30	0.006	0.30
Compuerta 2		
Ancho (m)	Espesor (m)	Altura (m)
0.30	0.006	0.20

Fuente: Autores



Figura 2. 11. Tanque 1- tanque 2

Fuente: Autores

Las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua para la recirculación se encuentran detalladas en la tabla 2.4.

Tabla 2. 4. Dimensiones del tanque de latón

TANQUE DE LATÓN		
Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
1.20	0.30	0.50

Fuente: Autores

Para el sistema de recirculación se utilizarán los accesorios descritos en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5. Accesorios del sistema de recirculación

Accesorios		
Tipo	Material	Cantidad
Tubo	PVC	6 metros
Codo	PVC	10
Neplo	PVC	6
Tee	PVC	1
Unión	PVC	1
Llave	PVC	2

Fuente: Autores

Finalmente, las características de la bomba a utilizar se encuentran en la tabla 2.6.

Tabla 2. 6. Características de la bomba

BOMBA	
Potencia	2 HP
H _{máx}	20 m
Q _{máx}	480 l/min

Fuente: Autores

CAPÍTULO III

GUÍA METODOLÓGICA PARA COMPUERTAS HIDRÁULICAS

3.1. Ensayo de compuertas con descarga libre

3.1.1. Objetivo

Establecer el método para realizar la práctica de laboratorio referente a compuertas hidráulicas con descarga libre de la asignatura de Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay.

3.1.2. Alcance

Esta práctica de laboratorio proporciona una manera más didáctica de comprender el funcionamiento de compuertas hidráulicas con descarga libre debido a que es posible observar el comportamiento del sistema, así como también cuenta con la posibilidad de variar sus parámetros.

3.1.3. Definiciones

Compuerta hidráulica es un dispositivo hidráulico-mecánico empleado para regular el paso del agua; una compuerta con descarga libre como su nombre lo indica, es aquella que no tiene ninguna restricción aguas abajo.

3.1.4. Instrumentos

Recipiente de volumen conocido. El recipiente tendrá un volumen de 2 litros.

Cronómetro. Para medir el tiempo en el que se llena el recipiente.

Modelo físico. Cuenta con una compuerta, sistema de recirculación, tanque de 0.18m³ de capacidad y un desnivel de 10cm para garantizar que la descarga de la compuerta sea libre.

Paleta de caucho. Para limpiar los residuos de agua.

3.1.5. Metodología

Caudal constante

1. Con la ayuda del recipiente de volumen conocido y el cronómetro, medimos el tiempo en el que se llena el recipiente. Se debe repetir este punto tres veces.
2. Calculamos los caudales con la ecuación (12)
3. Determinamos el caudal medio con los valores del punto anterior.

$$Q_m = \frac{\sum Q}{n} \quad (14)$$

Donde:

Q = caudal

n = número de caudales

4. Abrimos la compuerta y procedemos a medir tanto la carga de agua que se produce como la apertura de la compuerta; realizamos el mismo proceso con cinco aperturas diferentes.
5. Obtenemos el valor del coeficiente de descarga (Cd) con la siguiente fórmula:

$$Cd = \frac{Q}{a \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot y_1}} \quad (15)$$

Donde:

Cd = coeficiente de descarga

Q = caudal [m³/seg]

a = apertura de la compuerta [m]

b = ancho de la compuerta [m]

g = aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]

y₁ = carga de agua [m]

6. Dibujamos el valor de Cd y calculamos Cd medio
7. Obtenemos el porcentaje de error de cada Cd, con la siguiente expresión (Porcentaje de error, s.f.).

$$\%error = \frac{|valor\ exacto - valor\ aproximado|}{valor\ exacto} \cdot 100 \quad (16)$$

$$\% error \leq 5\%$$

Dónde:

Valor exacto = Cd medio.

Valor aproximado = Cd calculado.

Variación de caudales

8. Imponemos una apertura fija de compuerta.
9. Con la ayuda de las llaves, que se encuentran implementadas en el modelo físico, reducimos el caudal.
10. Con el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, medimos el tiempo que se demora en llenar.
11. Repetimos el punto 2 y 3 para obtener el caudal medio. Con cada variación de caudal se debe medir la carga de agua que se produce.
12. Calculamos el valor del coeficiente de descarga (C_d) con la ecuación (15).
13. Dibujamos los valores de C_d .

3.1.6. Cálculos

Caudal constante

1. Con la ayuda del recipiente de 3 litros y el cronómetro, medimos el tiempo en el que se llena el recipiente, obteniendo los siguientes valores:

$$t_1 = 0.79 \text{ segundos}$$

$$t_2 = 0.76 \text{ segundos}$$

$$t_3 = 0.75 \text{ segundos}$$

2. Calculamos los caudales con la ecuación (12)

$$Q_1 = \frac{0.003}{0.79} \cdot 1000 = 3.797 \text{ lt/seg}$$

$$Q_2 = \frac{0.003}{0.76} \cdot 1000 = 3.947 \text{ lt/seg}$$

$$Q_3 = \frac{0.003}{0.75} \cdot 1000 = 4.000 \text{ lt/seg}$$

3. Determinamos el caudal medio con la ecuación (14)

$$Q_m = \frac{3.797 + 3.947 + 4.000}{3} = 3.915 \text{ lt/seg}$$

4. Abrimos la compuerta y procedemos a medir tanto la carga de agua que se produce como la apertura de la compuerta. Los datos obtenidos se encuentran en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Apertura-carga

Apertura (cm)	Carga (cm)
1.0	23.5
1.2	18.0
1.3	15.0
1.4	12.0
1.5	11.0

Fuente: Autores

5. Obtenemos el valor del coeficiente de descarga (C_d) con la ecuación (15)

$$Cd_1 = \frac{0.003915}{0.01 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.235}} = 0.651$$

$$Cd_2 = \frac{0.003915}{0.012 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.18}} = 0.620$$

$$Cd_3 = \frac{0.003915}{0.013 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.15}} = 0.627$$

$$Cd_4 = \frac{0.003915}{0.014 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.12}} = 0.651$$

$$Cd_5 = \frac{0.003915}{0.015 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.11}} = 0.635$$

6. Dibujamos el valor de C_d en el gráfico 3.1, con los datos de la tabla 3.2, y calculamos C_d medio.

Tabla 3. 2. Apertura- C_d

Apertura (cm)	C_d
1	0.651
1.2	0.62
1.3	0.627
1.4	0.651
1.5	0.635

Fuente: Autores

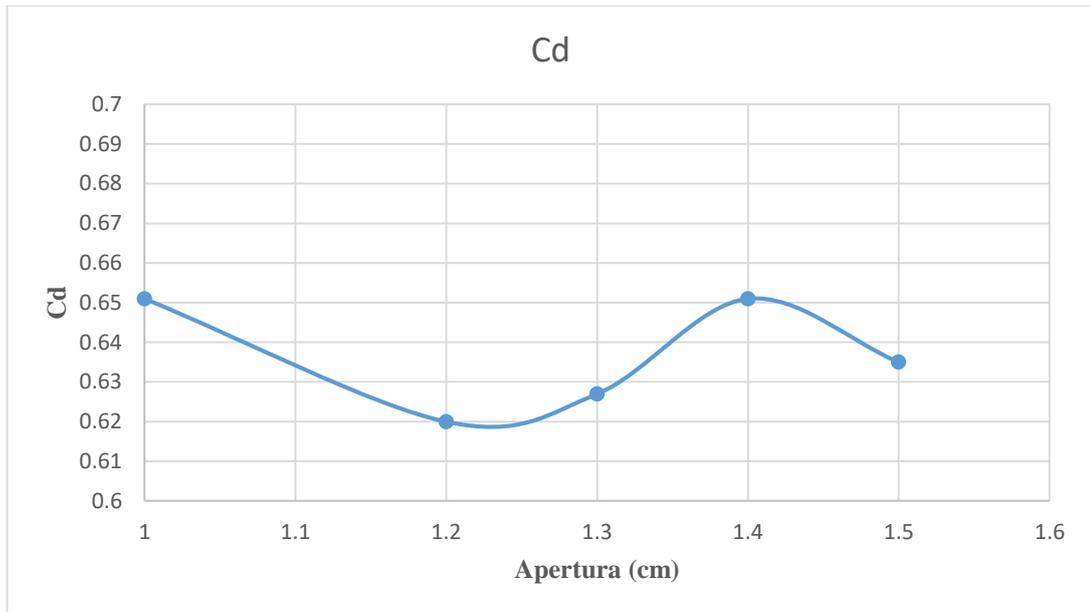


Gráfico 3.1

Cd medio = 0.637

- Obtenemos el porcentaje de error de cada Cd, con la ecuación (16), y anotamos los datos en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3. Porcentaje de error

	% error
Cd1	2.23%
Cd2	2.64%
Cd3	1.54%
Cd4	2.23%
Cd5	0.28%

Fuente: Autores

Variación de caudales

- Imponemos una apertura fija de compuerta, en este caso utilizaremos 1.0 cm.
- Primero realizaremos las mediciones con las 2 llaves completamente abiertas, luego con la llave de abastecimiento cerrada $\frac{1}{4}$ y finalmente, con la llave de abastecimiento cerrada $\frac{1}{2}$.
- Con el recipiente de 3 litros, medimos el tiempo que se demora en llenar.

11. Calculamos el caudal con la Ecuación 1. y obtenemos el caudal medio con la Ecuación 4. Con cada variación de caudal se mide la carga de agua que se produce.

LLAVE COMPLETAMENTE ABIERTA

Carga de agua = 13.9 cm

$$t_1 = 1.08 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.777 \text{ lt/s}$$

$$t_2 = 0.98 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 3.076 \text{ lt/s}$$

$$t_3 = 0.99 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 3.030 \text{ lt/s}$$

$$\boxed{Q_m = 2.961 \text{ lt/s}}$$

LLAVE CERRADA $\frac{1}{4}$

Carga de agua = 9.5 cm

$$t_1 = 1.09 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.750 \text{ lt/s}$$

$$t_2 = 1.14 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.631 \text{ lt/s}$$

$$t_3 = 1.25 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.400 \text{ lt/s}$$

$$\boxed{Q_m = 2.593 \text{ lt/s}}$$

LLAVE CERRADA $\frac{1}{2}$

Carga de agua = 3.0 cm

$$t_1 = 1.92 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 1.562 \text{ lt/s}$$

$$t_2 = 1.98 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 1.515 \text{ lt/s}$$

$$t_3 = 1.91 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 1.574 \text{ lt/s}$$

$$\boxed{Q_m = 1.550 \text{ lt/s}}$$

12. Calculamos el valor del coeficiente de descarga (C_d) con la ecuación (15).

$$Cd_1 = \frac{0.002961}{0.01 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.139}} = 0.640$$

$$Cd_2 = \frac{0.002592}{0.01 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.095}} = 0.678$$

$$Cd_3 = \frac{0.001552}{0.01 \cdot 0.28 \cdot \sqrt{2(9.81) \cdot 0.03}} = 0.722$$

13. Dibujamos los valores de Cd en el gráfico 3.2, con los datos de la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Caudal-Cd

Q (lt/s)	Cd
2.961	0.64
2.593	0.678
1.55	0.722

Fuente: Autores

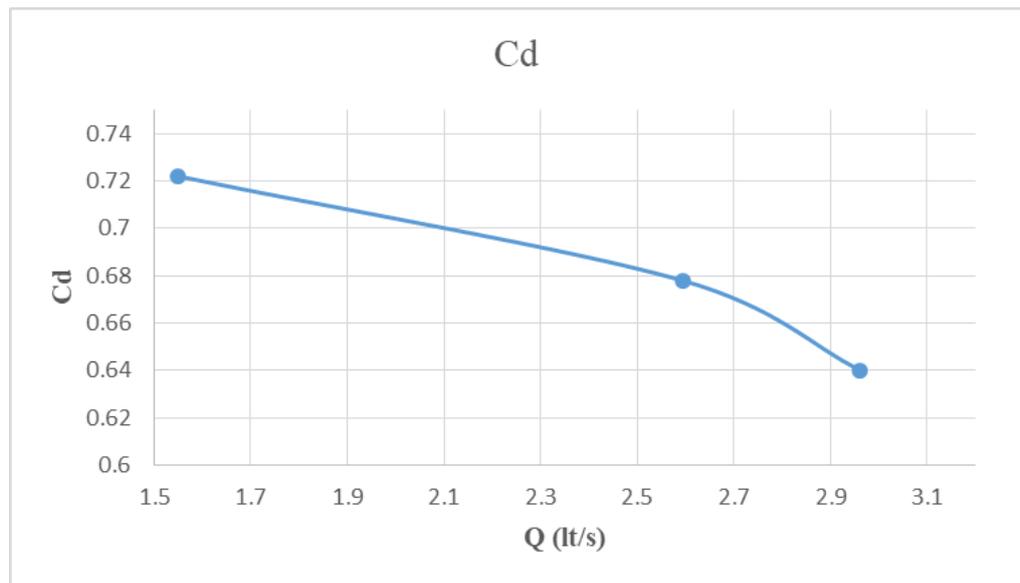


Gráfico 3.2.

3.1.7. Resultados

Con la gráfica obtenida con el caudal constante, los valores de Cd están entre 0.62 y 0.65 con aperturas de compuerta de 1.0 centímetros a 1.5 centímetros, teniendo un valor de Cd promedio de 0.637.

Con la variación de caudales obtenemos los valores de Cd de 0.64 cuando la llave está completamente abierta, 0.678 cuando está abierta $\frac{1}{4}$ y 0.722 cuando está abierta $\frac{1}{2}$. En la gráfica se puede observar que cuando se aumenta el caudal, el valor de Cd disminuye.

3.2. Ensayo de compuertas con descarga sumergida

3.2.1. Objetivo

Establecer el método para realizar la práctica de laboratorio referente a compuertas hidráulicas con descarga sumergida de la asignatura de Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay.

3.2.2. Alcance

Esta práctica de laboratorio proporciona una manera más didáctica de comprender el funcionamiento de compuertas hidráulicas con descarga sumergida debido a que es posible observar el comportamiento del sistema, así como también cuenta con la posibilidad de variar sus parámetros.

3.2.3. Definiciones

Compuerta hidráulica es un dispositivo hidráulico-mecánico empleado para regular el paso del agua; una compuerta con descarga sumergida es aquella que descarga su fluido bajo una carga de agua.

3.2.4. Instrumentos

Recipiente de volumen conocido. El recipiente tendrá un volumen de 2 litros.

Cronómetro. Para medir el tiempo en el que se llena el recipiente.

Modelo físico. Cuenta con una compuerta, un vertedero, sistema de recirculación y un tanque de 0.18m^3 de capacidad.

Paleta de caucho. Para limpiar los residuos de agua.

3.2.5. Metodología

Caudal constante

1. Con la ayuda del recipiente de volumen conocido y el cronómetro, medimos el tiempo en el que se llena el recipiente. Se debe repetir este punto tres veces.
2. Calculamos los caudales con la ecuación (12).

3. Determinamos el caudal medio con la ecuación (14), utilizando los valores del punto anterior.
4. Se introduce la compuerta tipo vertedero con una altura mayor a la apertura de la compuerta.
5. Abrimos la compuerta y procedemos a medir la carga de agua que se produce, la apertura de la compuerta y la altura a la que se encuentra sumergida la base de la apertura de la compuerta; realizamos el mismo proceso con cinco aperturas diferentes.
6. Obtenemos el valor del coeficiente de contracción (C_c) con las siguientes fórmulas:

$$C_c = \frac{Q}{a \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot (H_o - h')}} \quad (17)$$

$$H_o = h_o + \frac{V_o^2}{2g} \quad (17.1)$$

$$V_o = \frac{Q}{A} \quad (17.2)$$

$$A = B \cdot h_o \quad (17.3)$$

Donde:

C_c = coeficiente de contracción

Q = caudal [m^3/seg]

a = apertura de la compuerta [m]

b = ancho de la compuerta [m]

g = aceleración de la gravedad [9.81 m/s^2]

h' = altura sumergida [m]

h_o = carga de agua [m]

V_o = velocidad de entrada [m/s]

A = área de la sección transversal del fluido [m^2]

B = ancho del canal [m]

7. Dibujamos el valor de C_c y calculamos C_c medio
8. Obtenemos el porcentaje de error de cada C_d , con la ecuación (16).

Variación de caudales

9. Imponemos una apertura fija de compuerta y una altura fija del vertedero.

10. Con la ayuda de las llaves, que se encuentran implementadas en el modelo físico, reducimos el caudal.
11. Con el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, medimos el tiempo que se demora en llenar.
12. Repetimos el punto 2 y 3 para obtener el caudal medio. Con cada variación de caudal se debe medir la carga de agua que se produce.
13. Calculamos el valor del coeficiente de contracción (C_c) con la ecuación (17).
14. Dibujamos los valores de C_c

3.2.6. Cálculos

Caudal constante

1. Con la ayuda del recipiente de 3 litros y el cronómetro, medimos el tiempo en el que se llena el recipiente, obteniendo los siguientes valores:

$$t_1 = 0.79 \text{ segundos}$$

$$t_2 = 0.76 \text{ segundos}$$

$$t_3 = 0.75 \text{ segundos}$$

2. Calculamos los caudales con la ecuación (12):

$$Q_1 = \frac{0.003}{0.79} \cdot 1000 = 3.797 \text{ lt/seg}$$

$$Q_2 = \frac{0.003}{0.76} \cdot 1000 = 3.947 \text{ lt/seg}$$

$$Q_3 = \frac{0.003}{0.75} \cdot 1000 = 4.000 \text{ lt/seg}$$

3. Determinamos el caudal medio con la ecuación (14).

$$Q_m = \frac{3.797 + 3.947 + 4.000}{3} = 3.915 \text{ lt/seg}$$

4. Se introduce la compuerta tipo vertedero con una altura mayor a la apertura de la compuerta. En este caso, la altura del vertedero será de 20 cm.

5. Abrimos la compuerta y procedemos a medir la carga de agua que se produce, la apertura de la compuerta y la altura a la que se encuentra sumergida la base de la apertura de la compuerta. Anotamos los datos obtenidos en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5. Tabla de datos necesarios para el cálculo de C_c

Apertura (cm)	Carga (cm)	Compuerta sumergida (cm)
1.5	22.5	12.0
1.7	20.5	12.0
1.9	18.5	12.0
2.1	17	12.0
2.3	16.5	12.0

Fuente: Autores

6. Se obtiene el valor del coeficiente de descarga (C_c) con las ecuaciones (17), (17.1), (17.2) y (17.3). Los cálculos se encuentran en la tabla 3.6.

Considerando:

$$\begin{aligned} \text{Caudal} &= 0.003915 \text{ m}^3/\text{seg} \\ b &= 0.28 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tabla 3. 6. Cálculo del coeficiente de contracción

Apertura (m)	Carga (m)	B (m)	Área (m ²)	V _o (m/s)	H _o (m)	h' (m)	C _c
0.015	0.225	0.3	0.0675	0.058	0.225	0.120	0.649
0.017	0.205	0.3	0.0615	0.064	0.205	0.120	0.636
0.019	0.185	0.3	0.0555	0.071	0.185	0.120	0.650
0.021	0.17	0.3	0.051	0.077	0.170	0.120	0.670
0.023	0.165	0.3	0.0495	0.079	0.165	0.120	0.645

Fuente: Autores

7. Dibujamos el valor de C_c en el gráfico 3.3, con los datos de la tabla 3.7, y calculamos C_c medio.

Tabla 3. 7. Apertura-Cc

Apertura (cm)	Cc
1.5	0.649
1.7	0.636
1.9	0.65
2.1	0.67
2.3	0.645

Fuente: Autores

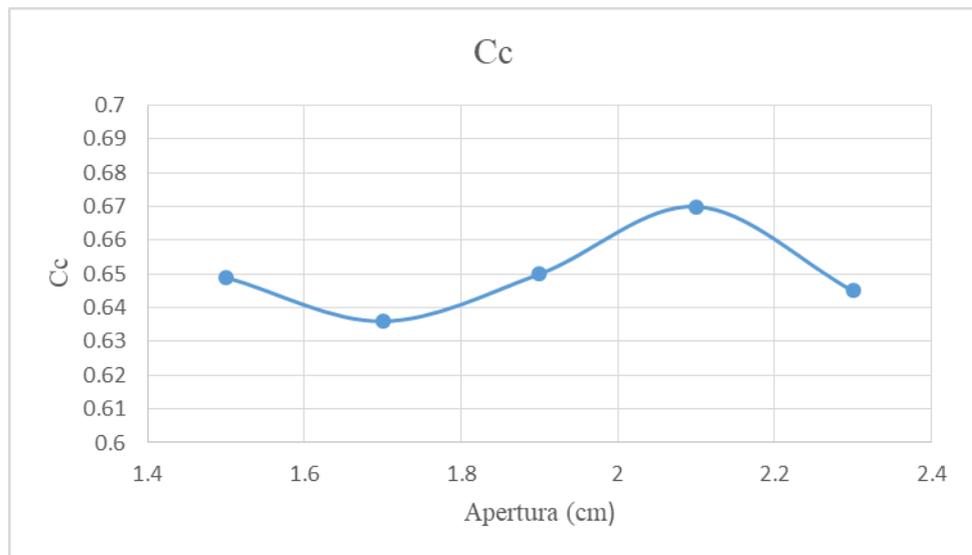


Gráfico 3.3

Cd medio = 0.65

- Obtenemos el porcentaje de error de cada Cd , con la ecuación (16). Anotamos los datos en la tabla 3.8.

Tabla 3. 8. Porcentaje de error

	% error
Cc1	0.15%
Cc2	2.15%
Cc3	0.00%
Cc4	3.08%
Cc5	0.77%

Fuente: Autores

Variación de caudales

9. Imponemos una apertura fija de compuerta de 2.0 cm y una altura fija del vertedero de 19.0cm.
10. Primero realizaremos las mediciones con las 2 llaves completamente abiertas, luego con la llave de abastecimiento cerrada $\frac{1}{4}$ y finalmente, con la llave de abastecimiento cerrada $\frac{1}{2}$.
11. Con el recipiente de 3 litros, medimos el tiempo que se demora en llenar.
12. Calculamos el caudal con la Ecuación 1. y obtenemos el caudal medio con la Ecuación 4. Con cada variación de caudal se mide la carga de agua que se produce.

LLAVE COMPLETAMENTE ABIERTA

Carga de agua = 14.7 cm

$$t_1 = 1.08 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.777 \text{ lt/s}$$

$$t_2 = 0.98 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 3.076 \text{ lt/s}$$

$$t_3 = 0.99 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 3.030 \text{ lt/s}$$

$$\boxed{Q_m = 2.961 \text{ lt/s}}$$

LLAVE CERRADA $\frac{1}{4}$

Carga de agua = 13.3 cm

$$t_1 = 1.09 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.750 \text{ lt/s}$$

$$t_2 = 1.14 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.631 \text{ lt/s}$$

$$t_3 = 1.25 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 2.400 \text{ lt/s}$$

$$\boxed{Q_m = 2.593 \text{ lt/s}}$$

LLAVE CERRADA $\frac{1}{2}$

Carga de agua = 10.9 cm

$$t_1 = 1.92 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 1.562 \text{ lt/s}$$

$$t_2 = 1.98 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 1.515 \text{ lt/s}$$

$$t_3 = 1.91 \text{ segundos} \quad \Longrightarrow \quad Q = 1.574 \text{ lt/s}$$

$$\boxed{Q_m = 1.550 \text{ lt/s}}$$

13. Calculamos el valor del coeficiente de contracción (C_c) con la ecuación (17).
Los cálculos se encuentran en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9. Cálculo del coeficiente de contracción

	Apertura (m)	Carga (m)	B (m)	Caudal (m ³ /s)	Área (m ²)	Vo (m/s)	Ho (m)	h' (m)	Cc
Llave completamente abierta	0.02	0.147	0.3	0.0030	0.044	0.067	0.147	0.112	0.636
Llave cerrada ¼	0.02	0.133	0.3	0.0026	0.040	0.065	0.133	0.109	0.672
Llave cerrada ½	0.02	0.109	0.3	0.0016	0.033	0.047	0.109	0.099	0.621

Fuente: Autores

14. Dibujamos el valor de Cc en el gráfico 3.4, con los datos de la tabla 3.10.

Tabla 3. 10. Caudal-Cc

Q (lt/s)	Cc
2.961	0.636
2.593	0.672
1.55	0.621

Fuente: Autores

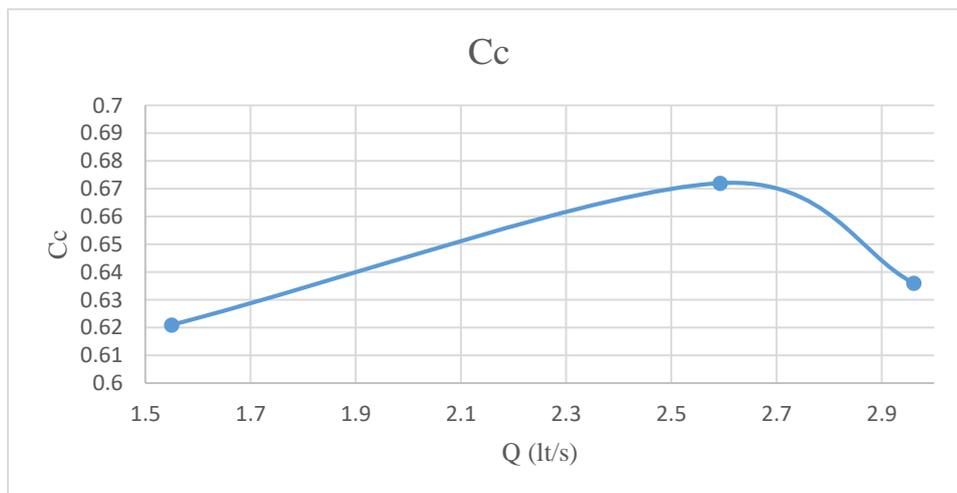


Gráfico 3.4.

3.2.7. Resultados

Con la gráfica obtenida con el caudal constante, los valores de Cc están entre 0.63 y 0.65 con aperturas de compuerta de 1.5 centímetros a 2.3 centímetros, teniendo un valor de Cc promedio de 0.65. Con la variación de caudales obtenemos los valores de Cc de 0.636 cuando la llave está completamente abierta, 0.672 cuando está abierta ¼ y 0.621 cuando está abierta ½.

3.3.Elaboración de guías para la realización de ensayos

3.3.1. Ensayo de compuertas con descarga libre

OBJETIVO

Establecer el método para realizar la práctica de laboratorio referente a compuertas hidráulicas con descarga libre de la asignatura de Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay, en base a una guía metodológica que describe los pasos a seguir para dicha práctica.

DESCRIPCIÓN

Las compuertas son dispositivos hidráulicos-mecánicos empleados para regular el paso del agua en un canal, consiste en una placa móvil plana que al levantarse permite medir y a su vez regular el caudal que atraviesa la compuerta. Una compuerta con descarga libre es aquella en la que el fluido no tiene ninguna restricción aguas abajo.

El funcionamiento de la compuerta consiste en regular el caudal, el mismo que depende de algunos factores como la carga hidráulica antes de la compuerta, la apertura y el ancho de la compuerta y finalmente, de un coeficiente conocido como coeficiente de descarga (C_d).

FÓRMULAS A EMPLEAR

Fórmula 1: Ecuación de caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q = caudal.

V = volumen de agua [litro]

t = tiempo medido con el cronómetro [segundo]

Fórmula 2: Ecuación de caudal medio

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$$

Dónde:

Q_m= caudal medio.

Q₁= primer caudal calculado.

Q2= segundo caudal calculado.

Q3= tercer caudal calculado.

Fórmula 3: Ecuación del coeficiente de descarga

$$Cd = \frac{Q}{a \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot y1}}$$

Dónde:

Cd = coeficiente de descarga.

Q = caudal [m³/seg].

a = apertura de la compuerta [m].

b = ancho de la compuerta [m].

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

y1 = altura de agua [m].

Fórmula 4: Ecuación de porcentaje de error

$$\%error = \frac{|valor\ exacto - valor\ aproximado|}{valor\ exacto} \cdot 100$$

% error ≤ 5%

Dónde:

Valor exacto = Cd medio.

Valor aproximado = Cd calculado.

Esquema del modelo físico

En la figura 3.1 y 3.2, se encuentra de manera detallada los elementos que constituyen el modelo físico, los mismos que son necesarios para la realización de la práctica de laboratorio de compuertas hidráulica con descarga libre.

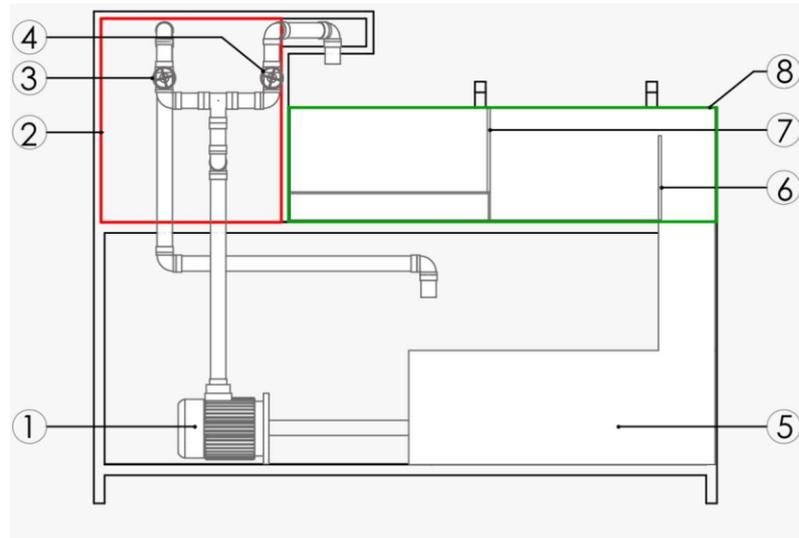


Figura 3. 1. Esquema del modelo físico
Fuente: Autores

1. Bomba de agua de 2HP.
2. Panel de instrumentos.
3. Llave A.
4. Llave B.
5. Tanque de almacenamiento de agua para recirculación.
6. Compuerta 2.
7. Compuerta 1.
8. Modelo físico.



Figura 3. 2. Modelo físico
Fuente: Autores

Pasos para realizar la práctica de compuertas hidráulicas con descarga libre

En la figura 3.3 se encuentra un ejemplo del funcionamiento de una compuerta hidráulica con descarga libre.

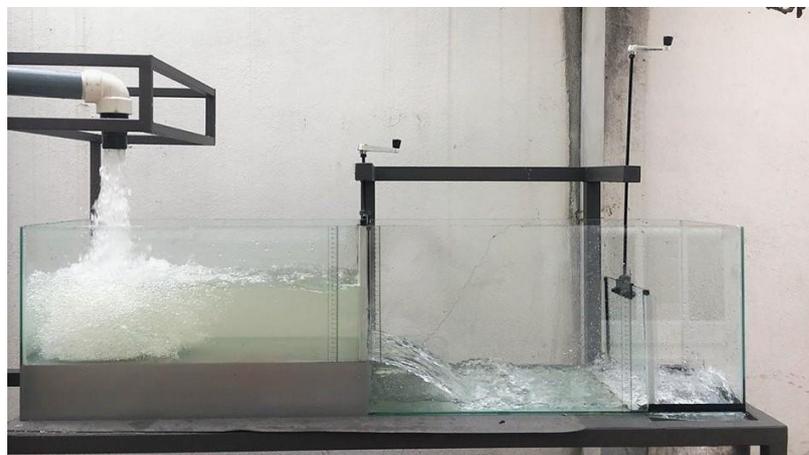


Figura 3. 3. Compuerta hidráulica con descarga libre
Fuente: Autores

1. Abra la puerta trasera y con una manguera conectada al abastecimiento de agua del laboratorio, llene el tanque metálico que se encuentra en la parte inferior de la maqueta, hasta llegar a la línea de máximo (figura 3.4).



Figura 3. 4. Altura máxima en el tanque metálico
Fuente: Autores

2. Colocar la llave A en la posición 2 y la llave B en la posición 1, como se indica en la figura 3.5.

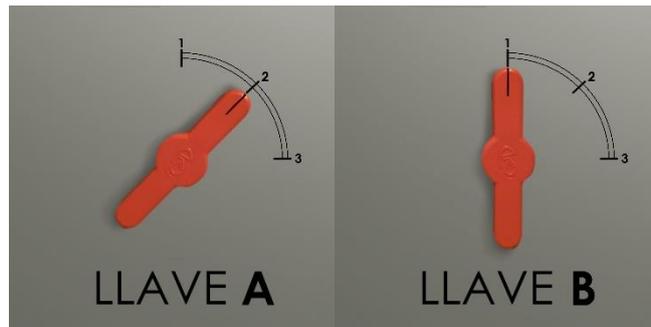


Figura 3. 5. Llave A en la posición 2 y llave B en la posición 1
Fuente: Autores

3. Con la compuerta 1 abierta, prenda la bomba con el botón ON del panel de instrumentos (figura 3.6).



Figura 3. 6. Botones de la bomba
Fuente: Autores

4. Utilizando el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, mida el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente hasta la marca (figura 3.7), con el caudal que está entrando al tanque de vidrio.



Figura 3. 7. Altura de agua en el recipiente de volumen conocido
Fuente: Autores

5. Anote los valores en la tabla 1 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
6. Calcule el caudal con la fórmula 1. Anote los resultados en la tabla 1 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre I”.

7. Repita los pasos del 3 al 6 tres veces y luego calcule el caudal medio con la fórmula 2. Anote los resultados en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
8. Apague la bomba con el botón OFF del panel de instrumentos (figura 3.8).



Figura 3. 8. Botones de la bomba
Fuente: Autores

9. Abra la compuerta 1 hasta una altura de 1 cm, como se muestra en la figura 3.9.

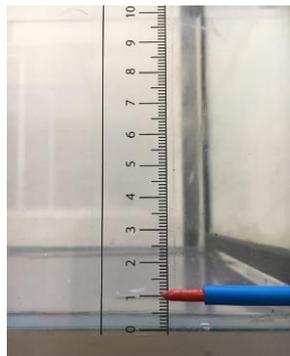


Figura 3. 9. Apertura de 1 cm de la compuerta 1
Fuente: Autores

10. Prenda la bomba y espere hasta que la altura del agua en el tanque sea estable.
11. Mida la altura del agua antes de la compuerta 1 (figura 3.10) y llene los valores de la tabla 2 en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.

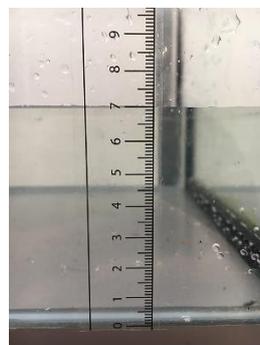


Figura 3. 10. Altura del agua antes de la compuerta 1
Fuente: Autores

12. Sin apagar la bomba repita los pasos del 9 al 11 con las siguientes aperturas de compuerta.

Apertura (cm)
1.0
1.2
1.3
1.4
1.5

13. Con los datos obtenidos calcule los coeficientes de descarga, aplicando la fórmula 3.
14. Llene la tabla 2 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
15. Apague la bomba con el botón OFF del panel de instrumentos.
16. Dibuje los resultados de C_d en el gráfico 1 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
17. Calcule el C_d medio y anote el resultado en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
18. Obtenga el porcentaje de error de cada C_d , con la fórmula 4. Anote los resultados en la tabla 3 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
19. Colocar la llave A en la posición 1 y la llave B en la posición 1, como se indica en la figura 3.11, para obtener Q_1 .

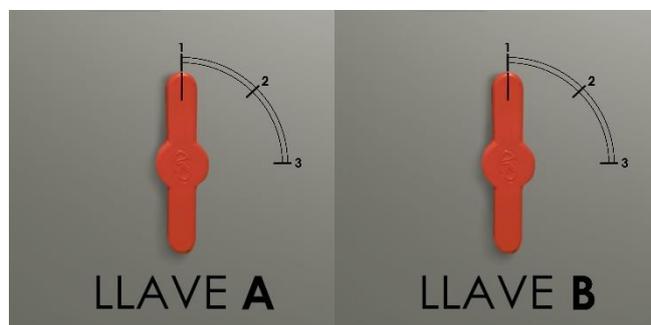


Figura 3. 11. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 1
Fuente: Autores

20. Con la compuerta 1 abierta, prenda la bomba con el botón ON del panel de instrumentos.

21. Utilizando el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, mida el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente con el caudal que está entrando al tanque de vidrio.
22. Anote los resultados en la tabla 4 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
23. Repita el paso 21 tres veces y llene la tabla 4 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
24. Calcule el caudal medio con la fórmula 2. Anote los resultados en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
25. Colocar la apertura de la compuerta 1 hasta una altura de 1.0 cm, como se indica en la figura 3.12.

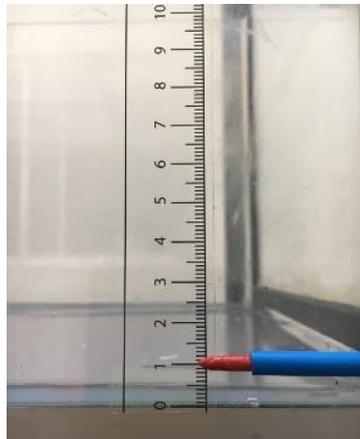


Figura 3. 12. Apertura de 1 cm de la compuerta 1
Fuente: Autores

26. Espere que la altura del agua antes de la compuerta 1 se estabilice y mida la altura del agua.
27. Anote los resultados en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
28. Con los datos obtenidos calcule el coeficiente de descarga, aplicando la fórmula 3. Anote los resultados en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
29. Abra la compuerta 1 hasta reducir al máximo la carga de agua.
30. Sin apagar la bomba, coloque la llave A en la posición 1 y la llave B en la posición 2, como se indica en la figura 3.13, para obtener Q2.

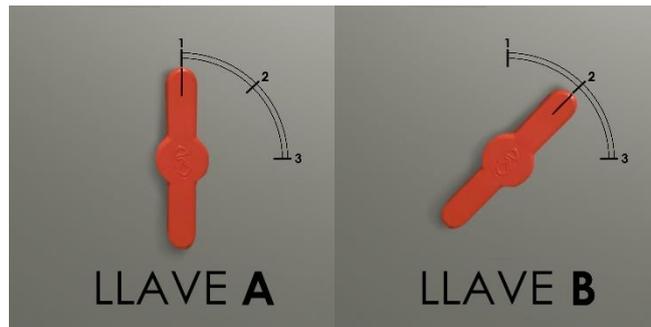


Figura 3. 13. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 2
Fuente: Autores

31. Repita los pasos del 21 al 29, colocando los valores en la tabla 5 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
32. Sin apagar la bomba, coloque la llave A en la posición 1 y la llave B en la posición 3, como se indica en la figura 3.14, para obtener Q3.

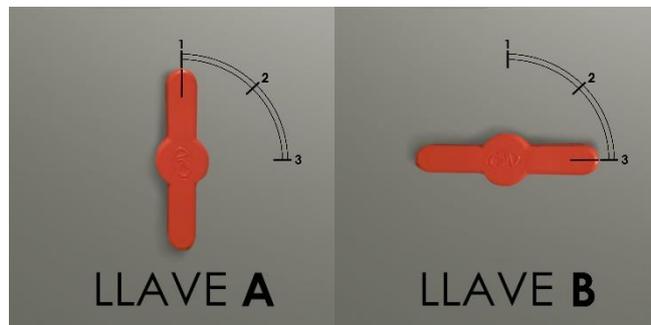


Figura 3. 14. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 3
Fuente: Autores

33. Repita los pasos del 21 al 29, colocando los valores en la tabla 6 la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
34. Apague la bomba con el botón OFF en el panel de instrumentos.
35. Dibuje los resultados de Cd en el gráfico 2 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.
36. Responda el cuestionario de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga libre”.

3.3.2. Ensayo de compuertas con descarga sumergida

OBJETIVO

Establecer el método para realizar la práctica de laboratorio referente a compuertas hidráulicas con descarga sumergida de la asignatura de Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay, en base a una guía metodológica que describe los pasos a seguir para dicha práctica.

DESCRIPCIÓN

Las compuertas son dispositivos hidráulicos-mecánicos empleados para regular el paso del agua en un canal, consiste en una placa móvil plana que al levantarse permite medir y a su vez regular el caudal que atraviesa la compuerta. Una compuerta con descarga sumergida es aquella en la que la compuerta trabaja inundada debido a sus condiciones aguas abajo.

El funcionamiento de la compuerta consiste en regular el caudal, el mismo que depende de algunos factores como la carga hidráulica antes de la compuerta, la apertura y el ancho de la compuerta, altura sumergida y finalmente, de un coeficiente conocido como coeficiente de contracción (C_c).

FÓRMULAS A EMPLEAR

Fórmula 1: Ecuación de caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q = caudal.

V = volumen de agua [litro]

t = tiempo medido con el cronómetro [segundo]

Fórmula 2: Ecuación de caudal medio

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$$

Dónde:

Q_m = caudal medio.

Q₁ = primer caudal calculado.

Q2= segundo caudal calculado.

Q3= tercer caudal calculado.

Fórmula 3: Ecuación del coeficiente de contracción

$$C_c = \frac{Q}{a \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot (H_o - h')}}}$$

Dónde:

Cc = coeficiente de contracción

Q = caudal [m³/seg]

a = apertura de la compuerta [m]

b = ancho de la compuerta [m]

g = aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]

h' = altura sumergida [m]

Fórmula 4: Ecuación de altura de agua

$$H_o = h_o + \frac{V_o^2}{2g}$$

Dónde:

h_o = carga de agua [m]

V_o = velocidad de entrada [m/s]

Fórmula 5: Ecuación de velocidad de entrada

$$V_o = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

A = área de la sección transversal del fluido [m²]

Fórmula 6: Ecuación de área

$$A = B \cdot h_o$$

Dónde:

B = ancho del canal [m]

Fórmula 7: Ecuación de porcentaje de error

$$\%error = \frac{|valor\ exacto - valor\ aproximado|}{valor\ exacto} \cdot 100$$

% error ≤ 5%

Dónde:

Valor exacto = Cc medio.

Valor aproximado = Cc calculado.

Esquema del modelo físico

En la figura 3.15 y 3.16, se encuentra de manera detallada los elementos que constituyen el modelo físico, los mismos que son necesarios para la realización de la práctica de laboratorio de compuertas hidráulica con descarga libre.

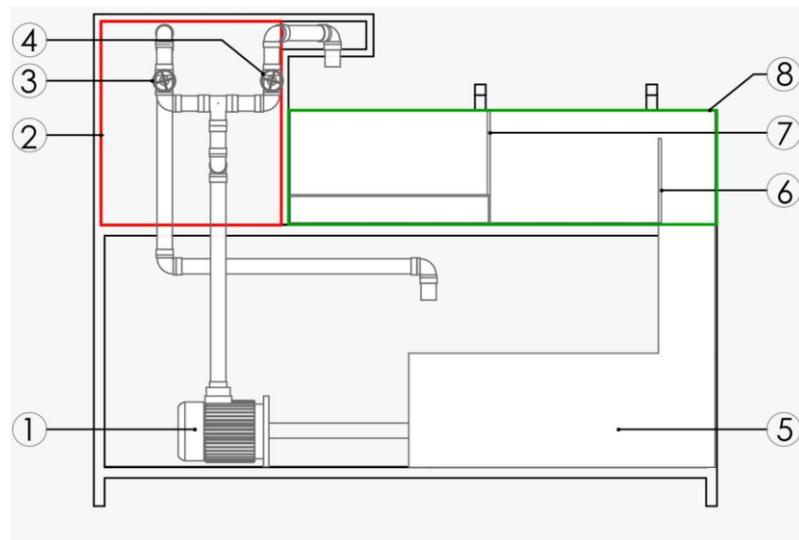


Figura 3. 15. Esquema del modelo físico

Fuente: Autores

1. Bomba de agua de 2HP.
2. Panel de instrumentos.
3. Llave A.
4. Llave B.
5. Tanque de almacenamiento de agua para recirculación.
6. Compuerta 2.
7. Compuerta 1.
8. Modelo físico.



Figura 3. 16. Modelo físico
Fuente: Autores

Pasos para realizar la práctica de compuertas hidráulicas con descarga sumergida.

En la figura 3.17 se encuentra un ejemplo del funcionamiento de una compuerta hidráulica con descarga sumergida.



Figura 3. 17. Compuerta hidráulica con descarga sumergida
Fuente: Autores

1. Abra la puerta trasera y con una manguera conectada al abastecimiento de agua del laboratorio, llene el tanque metálico que se encuentra en la parte inferior de la maqueta hasta llegar a la línea de máximo (figura 3.18)



Figura 3. 18. Altura máxima en el tanque metálico
Fuente: Autores

2. Colocar la llave A en la posición 2 y la llave B en la posición 1, como se indica en la figura 3.19.

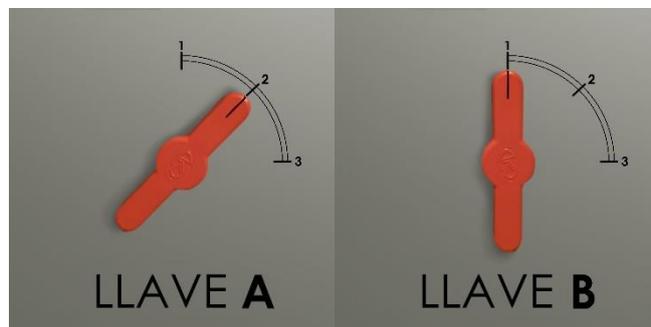


Figura 3. 19. Llave A en la posición 2 y llave B en la posición 1
Fuente: Autores

3. Con la compuerta 1 abierta, prenda la bomba con el botón ON del panel de instrumentos (figura 3.20).



Figura 3. 20. Botones de la bomba
Fuente: Autores

4. Utilizando el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, mida el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente hasta la marca (figura 3.21), con el caudal que está entrando al tanque de vidrio.



Figura 3. 21. Altura de agua en el recipiente de volumen conocido
Fuente: Autores

5. Anote los valores en la tabla 1 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
6. Calcule el caudal con la fórmula 1. Anote los resultados en la tabla 1 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
7. Repita los pasos del 4 al 6 tres veces y luego calcule el caudal medio con la fórmula 2. Anote los resultados en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
8. Apague la bomba con el botón OFF del panel de instrumentos (figura 3.22).



Figura 3. 22. Botones de la bomba
Fuente: Autores

9. Baje la compuerta 2 tipo vertedero hasta que su altura sea de 20 cm, como se indica en la figura 3.23.

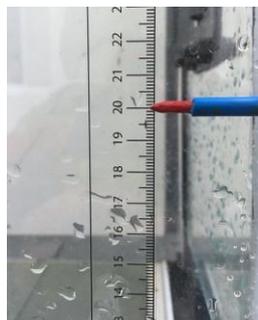


Figura 3. 23. Altura de 20 cm de la compuerta 2 tipo vertedero
Fuente: Autores

10. Abra la compuerta 1 hasta una altura de 1.5 cm, como se muestra en la figura 3.24.

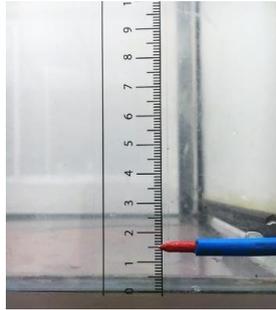


Figura 3. 24. Apertura de 1.5 cm de la compuerta 1
Fuente: Autores

11. Con una manguera conectada al abastecimiento de agua del laboratorio llene el tanque de vidrio luego de la compuerta 1 (tanque 2), hasta que el agua se desborde por la compuerta 2 (figura 3.25).



Figura 3. 25. Tanque 2
Fuente: Autores

12. Prenda la bomba y espere hasta que la altura del agua en el tanque sea estable.
13. Mida la altura del agua antes de la compuerta 1 (figura 3.26) y llene los valores de la tabla 2 en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.

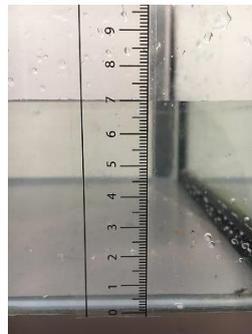


Figura 3. 26. Altura del agua antes de la compuerta 1
Fuente: Autores

- 14.** Mida la altura del agua después de la compuerta 1 (h'), como se indica en la figura 3.27, y llene los valores de la tabla 2 en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.



Figura 3. 27. Altura de agua después de la compuerta 1
Fuente: Autores

- 15.** Sin apagar la bomba, repita los pasos del 10 al 14, excepto el paso 11, con las siguientes aperturas de compuerta.

Apertura (cm)
1.5
1.7
1.9
2.1
2.3

- 16.** Con los datos obtenidos, calcule el coeficiente de contracción aplicando las fórmulas 3, 4, 5 y 6.
- 17.** Llene la tabla 3 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 18.** Apague la bomba con el botón OFF del panel de instrumentos.
- 19.** Dibuje los resultados de C_c en el gráfico 1 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 20.** Calcule el C_c medio y anote el resultado en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 21.** Obtenga el porcentaje de error de cada C_c , con la fórmula 7. Anote los resultados en la tabla 4 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.

- 22.** Colocar la llave A en la posición 1 y la llave B en la posición 1, como se indica en la figura 3.28, para obtener Q1.

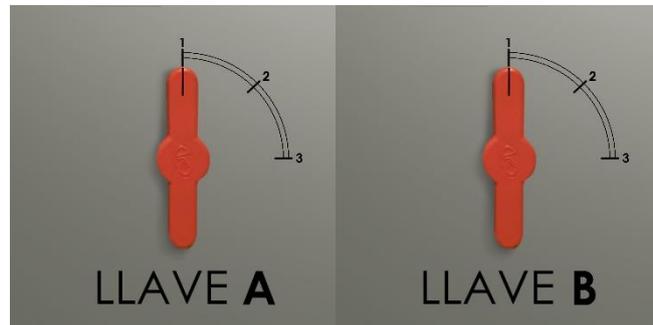


Figura 3. 28. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 1
Fuente: Autores

- 23.** Con la compuerta 1 abierta, prenda la bomba con el botón ON del panel de instrumentos.
- 24.** Con el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, mida el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente con el caudal que está entrando al tanque de vidrio.
- 25.** Anote los resultados en la tabla 5 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 26.** Repita el paso 24 tres veces y llene la tabla 5 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 27.** Calcule el caudal medio con la fórmula 2. Anote los resultados en la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 28.** Colocar la apertura de la compuerta 1 hasta una altura de 2 cm, como se muestra en la figura 3.29.

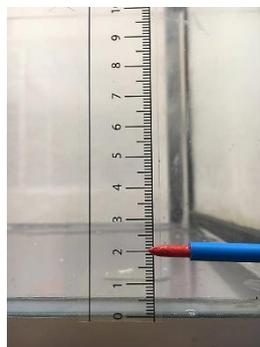


Figura 3. 29. Apertura de 2 cm de la compuerta 1
Fuente: Autores

- 29.** Baje la compuerta 2 tipo vertedero, hasta que su altura sea de 19 cm, como se indica en la figura 3.30.

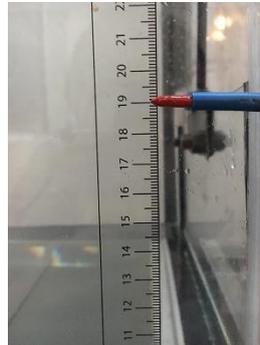


Figura 3. 30. Altura de 19 cm de la compuerta 2 tipo vertedero
Fuente: Autores

- 30.** Espere que la altura del agua antes de la compuerta 1 se estabilice y mida la altura del agua.
- 31.** Anote los resultados en la tabla 6 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 32.** Con los datos obtenidos, calcule el coeficiente de contracción aplicando las fórmulas 3, 4, 5 y 6.
- 33.** Anote los valores en la tabla 6 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 34.** Sin apagar la bomba, coloque la llave A en la posición 1 coloque la llave B en la posición 2, como se indica en la figura 3.31, para obtener Q2.

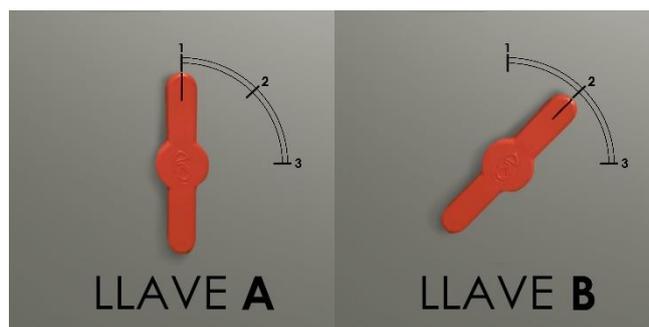


Figura 3. 31. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 2
Fuente: Autores

- 35.** Repita los pasos del 30 al 33 y anote los resultados en las tablas 7 y 8 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
- 36.** Sin apagar la bomba, coloque la llave A en la posición 1 coloque la llave B en la posición 3, como se indica en la figura 3.32, para obtener Q3.

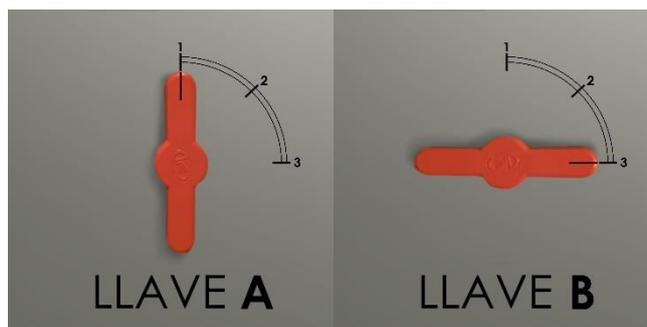


Figura 3. 32. Llave A en la posición 1 y llave B en la posición 3
Fuente: Autores

37. Repita los pasos del 30 al 33 y anote los resultados en las tablas 9 y 10 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
38. Apague la bomba con el botón OFF, que se encuentra en el panel de instrumentos.
39. Dibuje los resultados de C_c en el gráfico 2 de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.
40. Responda el cuestionario de la hoja “Ensayo de compuertas hidráulicas con descarga sumergida”.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO III

- Para complementar el cálculo de compuertas hidráulicas, ya sea de descarga libre o sumergida, se puede realizar una práctica de laboratorio para observar y entender el funcionamiento del sistema.
- Con el modelo físico es más fácil ver en que parámetros se tienen las mejores condiciones para trabajar,
- Una guía metodológica, que describe paso a paso como se realiza la práctica de laboratorio, nos ayuda a realizar la misma en menor tiempo y con mayor eficiencia, pues orienta al lector sobre el orden cronológico en el que debe realizar cada actividad.
- Luego de realizadas las pruebas para compuertas hidráulicas de descarga libre, con cinco aperturas en un rango de 1.0 centímetro a 1.5 centímetros, se tiene un C_d medio de 0.637 y un porcentaje de error máximo de 2.64%, el cual es menor al permisible que es 5%.
- Con la variación de caudales en la práctica de compuertas con descarga libre, se obtuvieron los valores de C_d de 0.64 cuando la llave está completamente abierta, 0.678 cuando está abierta $\frac{1}{4}$ y 0.722 cuando está abierta $\frac{1}{2}$. Al

momento de graficar se pudo observar que cuando se aumenta el caudal, el valor de C_d disminuye.

- Para la prueba de compuertas hidráulicas de descarga sumergida con aperturas en un rango de 1.5 centímetros a 2.3 centímetros, se obtuvo un C_c medio de 0.65 y un porcentaje de error máximo de 3.08% que está dentro del límite aceptable.
- Finalmente, con la variación de caudales en la práctica de compuertas con descarga sumergida, se calcularon los valores de C_c de 0.636 cuando la llave está completamente abierta, 0.672 cuando está abierta $\frac{1}{4}$ y 0.621 cuando está abierta $\frac{1}{2}$.

CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se construyó el modelo físico, el cual incluye la guía metodológica, para elaborar la práctica de laboratorio respecto a compuertas hidráulicas con descarga libre y compuertas hidráulicas con descarga sumergida.
- Se definieron los conceptos necesarios para entender una guía metodológica, así como también las definiciones que facilitan el entendimiento de un sistema de compuertas hidráulicas, las cuales fueron desarrolladas en el capítulo uno.
- En el segundo capítulo se muestra el diseño del modelo físico final, para el cual se realizaron varias pruebas y ensayos con diferentes secciones y materiales, teniendo como resultado un modelo físico de vidrio de 30 x 40 x 150 centímetros, un sistema de recirculación construido con tubo roscable de 2" de diámetro y una bomba de 2 HP de potencia.
- Finalmente, en el capítulo tres se muestra el desarrollo de las prácticas de laboratorio, las que se podrán realizar con la ayuda de la guía metodológica propuesta, ya que esta describe paso a paso la secuencia que se debe seguir para concluir con éxito dichas prácticas.

RECOMENDACIONES

- Antes de realizar la práctica de laboratorio se debe revisar la parte teórica, ecuaciones y variables que intervienen en el funcionamiento de las compuertas hidráulicas con descarga libre y de compuertas hidráulicas con descarga sumergida.
- Se debe seguir los pasos de la guía metodológica de manera secuencial, pues si se omite alguno de ellos se alteraría las condiciones del ensayo.
- No tomar las medidas inmediatamente después de que cambien las condiciones en el modelo físico; es necesario esperar un tiempo para que el sistema se estabilice. En algunos casos, las medidas varían pocos milímetros por lo que se debe tomar las medidas con sus debidas precauciones.
- Al momento de llenar el recipiente de volumen conocido, el fluido debe llegar a la marca, caso contrario se desecha la muestra.

Bibliografía

- Alonzo, A. (2013). *Medición de flujo en compuertas y orificios*. Guatemala.
- Amaya, C. (2016). *Diseño y simulación de una compuerta plana deslizante para la empresa Armetco*. Cuenca.
- Calderón, F. (2010). *Diseño y construcción de un sistema electromecánico para apertura y cierre de una compuerta del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable el Cebollar de Cuenca*. Cuenca.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Mc Graw W-Hill Interamericana S.A.
- Córdoba, H. (2012). *Protocolo de Operación Hidráulica con Compuertas en Alcantarillados*. Bogotá.
- Marbello, R. (2014). *Fundamentos para las prácticas de Laboratorio de Hidráulica*. Medellín.
- Masapanta, J. F. (2016). *Lectura crítica*. La Maná.
- Mora, A. (2010). *Incidencia y Políticas Públicas*. Obtenido de Guía para elaborar planes de incidencia:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/17A67531B7D7335A052578CB0073B843/\\$FILE/dc0375.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/17A67531B7D7335A052578CB0073B843/$FILE/dc0375.pdf)
- Porcentaje de error*. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikihow.com/calcular-el-porcentaje-de-error>
- Ugarte, A. (13 de Diciembre de 2010). *Cálculo de compuertas planas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/365487358/Coeficientes-de-gasto-de-compuertas-pdf>
- Zambrano, A. (2014). *Disipadores de energía*. Obtenido de https://prezi.com/7zsu-yvcwj_h/disipadores-de-energia/