



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA DE LABORATORIO, UTILIZANDO ELEMENTOS BÁSICOS DE  
HIDRÁULICA, APLICADOS A UN PROTOTIPO DE CANAL  
RECTANGULAR, UBICADO EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Hilduara Alejandra Loaiza Delgado

Holander Romeo Romo Hurtado

TUTOR: Byron Andrés Heredia Hidalgo

Quito – Ecuador

2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros Hilduara Alejandra Loaiza Delgado, con documento de identificación N° 2101192504 y Holander Romeo Romo Hurtado con documento de identificación N° 1727184291, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de julio del 2022

Atentamente,



---

Hilduara Alejandra Loaiza Delgado

2101192504



---

Holander Romeo Romo Hurtado

1727184291

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros Hilduara Alejandra Loaiza Delgado, con documento de identificación N° 2101192504 y Holander Romeo Romo Hurtado con documento de identificación N° 1727184291; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Guía de Laboratorio, utilizando Elementos básicos de Hidráulica, aplicados a un Prototipo de Canal Rectangular, ubicado en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e Ingeniera Civil. en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de julio del 2022

Atentamente,



---

Hilduara Alejandra Loaiza Delgado

2101192504



---

Holander Romeo Romo Hurtado

1727184291

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, Byron Andrés Heredia Hidalgo con documento de identificación N° 1719147066, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: GUÍA DE LABORATORIO, UTILIZANDO ELEMENTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA, APLICADOS A UN PROTOTIPO DE CANAL RECTANGULAR, UBICADO EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR, realizado por Hilduara Alejandra Loaiza Delgado, con documento de identificación N° 2101192504 y Holander Romeo Romo Hurtado con documento de identificación N° 1727184291, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de julio del 2022

Atentamente,



---

Ing. Byron Andrés Heredia Hidalgo, MSc.

1719147066

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios porque ha sido mi motor y fortaleza para superar cada obstáculo, a mi amada madre Nancy por su apoyo y amor incondicional pues sin ella no lo habría logrado, a mi querido padre Teodoro por su paciencia y bendición que me guía y lleva por el camino del bien, a mis hermanitos Landher, Valeria y Felipe quienes me alientan e inspiran a mejorar cada día. A mis tíos Wilmer, Lorena, Felipe y Guido por su apoyo económico, su confianza, cariño y guía durante este camino. Quiero dedicar mi tesis a todos ustedes quienes son muy importantes para mí.

*Hilduara Alejandra Loaiza Delgado*

Este trabajo de titulación se lo dedico primero a Dios, a las personas que a pesar de encontrarse a la distancia se que me apoyan de todo corazón, a mi familia y amigos, por darme su apoyo, consejos y compañía en los momentos más difíciles, pero en especial se lo dedico a mis padres, quienes se han esforzado infinitamente por motivarme a nunca rendirme y poder continuar con mis estudios.

*Holander Romeo Romo Hurtado*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios infinitamente por regalarme la bendición de tener una familia tan maravillosa, humilde, amorosa y unida a quienes amo con todo mi corazón y a quienes espero devolver todo lo que han hecho por mí; quiero agradecer a todos quienes han sido mis profesores pues de ellos he aprendido mucho de manera académica y me han inspirado a ser una buena profesional, a mis amigos y personas especiales en mi vida aunque algunos ya no estén han sido un apoyo fundamental para concluir este trabajo. A mi tutor de tesis Ing. Andrés Heredia quien con su paciencia, nobleza y sabiduría me ha guiado en todo este proyecto de titulación, también agradecer a mi compañero Holander por ser partícipe de esta meta. Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes, he logrado concluir con éxito mi tesis y obtener una afectuosa titulación profesional.

*Hilduara Alejandra Loaiza Delgado*

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mi padre Manuel, quien siempre me motivo a mejorar, ha aprender de verdad y ser un excelente profesional, a mi madre Doris que me ha sabido animar a lo largo de la carrera, a mi abuelita Juana por darme compañía, a mi hermana Noelia, que ha sido para mí un motivo de inspiración, a mi tutor el Ing. Andrés Heredia que me ha inculcado conocimientos muy valiosos tanto académicos como morales, a mi compañera Alejandra quien aportó para realizar esta meta y a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme permitido ser parte de la misma.

*Holander Romeo Romo Hurtado*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Problema .....	1
1.3 Delimitación.....	2
1.4 Justificación .....	3
1.5 Objetivos .....	4
1.5.1 Objetivo General .....	4
1.5.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Clasificación de flujos en canales abiertos .....	5
2.2 Estados de flujo.....	5
2.3 Resalto Hidráulico .....	6
2.4 Flujo Gradualmente Variado .....	8
2.5 Flujo Rápidamente Variado .....	8
2.6 Flujo Uniforme .....	9
2.7 Rejilla.....	9
2.8 Vertedero rectangular de pared delgada .....	10
2.9 Vertedero perfil USBR .....	12
2.10 Vertedero pared gruesa .....	14
2.11 Vertedero rectangular con 2 contracciones.....	16
2.12 Compuerta plana .....	18
2.13 Vertedero triangular .....	19
2.14 Orificio.....	21
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>23</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
3.1 Tipos de Investigación. ....	23
3.2. Método. ....	24
3.3 Técnicas e Instrumentos de Investigación. ....	24
3.4 Proceso Técnico de Ingeniería Civil. ....	24
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>26</b>

<b>ANÁLISIS VISUAL Y ANALÍTICO DE LOS ESCENARIOS IMPUESTOS AL CANAL RECTANGULAR.....</b>	<b>26</b>
4.1 Experimentación y toma de datos para determinar el caudal por giro de válvula en el canal rectangular. ....	26
4.1.1 Factor de corrección .....	29
4.2 Cálculo analítico para los escenarios impuestos a flujo uniforme.....	30
4.2.1 Flujo Uniforme.....	30
4.2.2 Rejilla. ....	32
4.2.3 Vertedero rectangular de pared delgada.....	33
4.2.4 Vertedero rectangular con 2 contracciones. ....	35
4.2.5 Vertedero pared gruesa.....	37
4.2.6 Compuerta plana. ....	39
4.2.7 Compuerta con Resalto Hidráulico. ....	40
4.2.8 Vertedero perfil USBR.....	41
4.2.9 Vertedero triangular. ....	42
4.2.10 Orificio. ....	44
4.3 Recopilación de resultados. ....	46
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>47</b>
<b>ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS ESCENARIOS IMPUESTOS AL CANAL RECTANGULAR.....</b>	<b>47</b>
5.1 Modelamiento numérico en Flow 3D .....	47
5.1.1 Rejilla. ....	47
5.1.2 Vertedero rectangular de pared delgada.....	48
5.1.3 Compuerta plana. ....	49
5.1.4 Compuerta con resalto hidráulico. ....	51
5.1.5 Vertedero pared gruesa.....	52
5.1.6 Vertedero rectangular con 2 contracciones. ....	54
5.1.7 Vertedero perfil USBR.....	56
5.1.8 Vertedero triangular. ....	58
5.1.9 Orificio. ....	62
5.2 Recopilación de resultados.....	64
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>65</b>
<b>RECOPIACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
6.1 Recopilación de resultados del análisis empírico, analítico y numérico. ....	65
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>



<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Aforo Volumétrico</i> .....	26
Tabla 2 <i>Factor de corrección</i> .....	30
Tabla 3 <i>Coeficiente de Manning</i> .....	31
Tabla 4 <i>Pérdida hidráulica en rejilla</i> .....	32
Tabla 5 <i>Coeficiente de contracción para vertedero rectangular de pared delgada</i> .....	33
Tabla 6 <i>Coeficiente de contracción u para vertedero de pared delgada con 2 contracciones</i> .....	35
Tabla 7 <i>Coeficiente de contracción u para vertedero de pared gruesa</i> .....	37
Tabla 8 <i>Coeficiente de descarga para compuerta plana</i> .....	39
Tabla 9 <i>Tirante Y2 en compuerta con resalto hidráulico</i> .....	40
Tabla 10 <i>Coeficiente de descarga para vertedero USBR</i> .....	41
Tabla 11 <i>Coeficiente de contracción u para vertedero triangular de 60° y 90°</i> .....	42
Tabla 12 <i>Coeficiente de descarga para orificio con descarga libre y sumergida</i> .....	45
Tabla 13 <i>Resultados de las prácticas de laboratorio</i> .....	46
Tabla 14 <i>Resultado Flow 3D para Rejilla</i> .....	48
Tabla 15 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q1</i> .....	48
Tabla 16 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q2</i> .....	49
Tabla 17 <i>Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q1</i> .....	50
Tabla 18 <i>Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q2</i> .....	50
Tabla 19 <i>Resultado Flow 3D para Compuerta plana con Resalto Hidráulico</i> .....	51
Tabla 20 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q1</i> .....	52
Tabla 21 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q2</i> .....	53
Tabla 22 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q1</i> .....	54
Tabla 23 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q2</i> .....	55
Tabla 24 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q1</i> .....	56
Tabla 25 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q2</i> .....	57
Tabla 26 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q1</i> .....	58
Tabla 27 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q2</i> .....	59
Tabla 28 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q1</i> .....	60
Tabla 29 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q2</i> .....	61
Tabla 30 <i>Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Libre</i> .....	62
Tabla 31 <i>Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Sumergida</i> .....	63
Tabla 32 <i>Recopilación de resultados Flow 3D</i> .....	64

Tabla 33 <i>Recopilación de resultados final.</i> .....	65
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Canal Rectangular.</i> .....	3
Figura 2 <i>Resalto Hidráulico</i> .....	7
Figura 3 <i>Flujo gradualmente variado</i> .....	8
Figura 4 <i>Flujo rápidamente variado</i> .....	8
Figura 5 <i>Rejilla</i> .....	9
Figura 6 <i>Vertedero Pared delgada</i> .....	11
Figura 7 <i>Coeficiente de descarga <math>C_o</math> para USBR.</i> .....	13
Figura 8 <i>Perfil USBR.</i> .....	13
Figura 9 <i>Vertedero Pared gruesa</i> .....	15
Figura 10 <i>Vertedero Pared delgada con 2 contracciones</i> .....	17
Figura 11 <i>Compuerta plana</i> .....	19
Figura 12 <i>Vertedero triangular</i> .....	21
Figura 13 <i>Orificio descarga libre</i> .....	22
Figura 14 <i>Orificio descarga sumergida</i> .....	22
Figura 15 <i>Gráfico (Giros de válvula vs Caudal)</i> .....	28
Figura 16 <i>Resultado Flow 3D para Rejilla.</i> .....	47
Figura 17 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q1.</i> .....	48
Figura 18 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q2.</i> .....	49
Figura 19 <i>Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q1.</i> .....	49
Figura 20 <i>Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q2.</i> .....	50
Figura 21 <i>Resultado Flow 3D para Compuerta plana con Resalto Hidráulico.</i> .....	51
Figura 22 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q1.</i> .....	52
Figura 23 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q2.</i> .....	53
Figura 24 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q1.</i> .....	54
Figura 25 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q2.</i> .....	55
Figura 26 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q1.</i> .....	56
Figura 27 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q2.</i> .....	57
Figura 28 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q1.</i> .....	58
Figura 29 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q2.</i> .....	59
Figura 30 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q1.</i> .....	60
Figura 31 <i>Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q2.</i> .....	61
Figura 32 <i>Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Libre.</i> .....	62
Figura 33 <i>Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Sumergida.</i> .....	63

## RESUMEN

Los estudiantes que presentan interés por un laboratorio enfocado al área Hidráulica han tenido que recurrir a material externo, sin poder presenciar de primera mano un procedimiento de laboratorio adecuado. Las guías de laboratorio se realizaron con la finalidad de que los estudiantes puedan acceder rápidamente a la información y procedimiento para cada caso de análisis en el laboratorio de hidráulica de la UPS, haciendo uso de los modelos físicos y numéricos de escenarios básicos de la hidráulica, utilizando el canal rectangular ubicado en el laboratorio de Hidráulica de la carrera de Ingeniería civil. Cabe indicar, que las guías de laboratorio abarcan contenido teórico, empírico y práctico.

Realizando los casos de la práctica, el estudiante conocerá conceptos básicos de hidráulica y reforzará las técnicas de medición de fenómenos hidráulicos. Los modelos numéricos realizados en el programa Flow 3D, se utilizarán para visualizar de manera virtual los fenómenos hidráulicos estudiados, donde se podrá observar y mejorar el entendimiento sobre el comportamiento del flujo de agua cuando es sometida a diferentes casos. Las prácticas presentadas en las guías de laboratorio son: aforo volumétrico, flujo uniforme, rejilla, vertedero de pared delgada, vertedero de pared gruesa, vertedero rectangular con 2 contracciones, compuerta con descarga libre, compuerta con resalto hidráulico, vertedero perfil USBR, vertedero triangular y orificio de pared delgada de descarga libre y sumergida.

**Palabras clave:** Flow 3D, guía de laboratorio, modelo numérico, vertedero, canal rectangular.

## ABSTRACT

Students who are interested in a laboratory focused on the Hydraulic area have had to resort to external material, without being able to witness first-hand an adequate laboratory procedure. The laboratory guides were made so that students can quickly access the information and procedure for each case of analysis in the UPS hydraulics laboratory, making use of physical and numerical models of basic hydraulic scenarios. using the rectangular channel located in the Hydraulics laboratory of the Civil Engineering career. It should be noted that the laboratory guides cover theoretical, empirical and practical content.

Carrying out the cases of the practice, the student will know basic concepts of hydraulics and will reinforce the techniques of measurement of hydraulic phenomena. The numerical models made in the Flow 3D program will be used to virtually visualize the studied hydraulic phenomena, where it will be possible to observe and improve the understanding of the behavior of the water flow when it is subjected to different cases. The practices presented in the laboratory guides are: volumetric capacity, uniform flow, grid, thin-walled weir, thick-walled weir, rectangular weir with 2 contractions, gate with free discharge, gate with hydraulic jump, USBR profile weir, triangular weir and submerged and free discharge thin-walled orifice.

**Keywords:** Flow 3D, laboratory guide, numerical model, weir, rectangular channel.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES Y GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

Las guías de laboratorio son utilizadas como herramientas que facilitan el aprendizaje de uno o varios temas. En la actualidad la universidad no cuenta con guías de laboratorio enfocadas al área Hidráulica, debido a esta problemática, se planteó realizar el presente proyecto, mismo que facilitará información de procedimientos de laboratorio hacia futuros estudiantes que presenten interés en la asignatura, además, se plantea realizar un modelo de rejilla expandiendo las posibilidades para la aplicación del prototipo de canal rectangular.

La materia de hidráulica a lo largo de los anteriores periodos educativos se ha venido impartiendo de manera teórica, incluyendo cálculos manuales, sin embargo, no se han realizado prácticas de laboratorio. Se han utilizado videos subidos al sitio web “YouTube” donde se puede observar el procedimiento, y el flujo de agua con sus efectos que dependen de la superficie del canal, pendiente, el tipo de vertedero, etc. Sin embargo, con la reciente adquisición del canal rectangular por parte de la universidad, se podrá realizar la práctica en el laboratorio de hidráulica sin problema alguno.

### **1.2 Problema**

Los estudiantes que presentan interés por un laboratorio enfocado al área Hidráulica han tenido que recurrir a material externo, sin poder presenciar de primera mano un procedimiento de laboratorio adecuado, debido que, en la actualidad, la universidad no cuenta con una guía de laboratorio para el prototipo de canal rectangular, misma que es necesaria para facilitar el aprendizaje, abarcar la teoría básica de movimiento de fluidos y visualizar una simulación numérica en 3D.

La guía de laboratorio se considerará una herramienta para comprender de forma ordenada y sistemática el fenómeno hidráulico estudiado. Al no disponer de una guía de laboratorio, los estudiantes se han visto en la necesidad de consultar procedimientos, o a su vez improvisarlos, generando una práctica errónea. Se debe tomar en cuenta que no toda la información de internet es verificada, además, el material utilizado en prácticas externas, pertenece a un procedimiento basado en los instrumentos que posee el laboratorio a cargo, que pueden ser diferentes a los que tiene la universidad.

La guía de laboratorio ayudará a que los estudiantes puedan acceder a la información y procedimiento de su respectiva práctica, contando con los materiales que existen en la actualidad en la universidad, además, se dispone realizar una rejilla metálica con el fin de expandir las posibilidades del uso que se le puede dar al canal, así mismo, se puede contar con el modelado numérico que se realizará con el fin de verificar el comportamiento del flujo de agua a través de un canal abierto y compararlo con el análisis empírico.

### **1.3 Delimitación**

El presente proyecto utilizará el canal rectangular ubicado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus sur, ubicada en la intersección de la Av. Rumichaca Ñan y la Av. Morán Valverde.



## **Figura 1**

### *Canal Rectangular.*



*Nota.* La fotografía muestra los elementos que componen el canal rectangular de longitud 3.6m, con dimensiones de 20cm x 20cm regulado por una válvula de compuerta.

Elaborado por: Los Autores.

### **1.4 Justificación**

El profesional de ingeniería involucra la integración de saberes, habilidades y actitudes generales y específicas que se irán acumulando a lo largo de la carrera universitaria. La vinculación entre la teoría y la práctica es uno de los problemas que más esfuerzo conlleva en el desarrollo de los programas para la asignatura de Hidráulica. La guía de laboratorio permitirá facilitar la comprensión del estudiante hacia el tema tratado, así mismo, servirá como un antecedente para futuras investigaciones relacionadas al estudio de canales abiertos.

Para desarrollar la guía de laboratorio se cuenta con los conocimientos previamente adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Civil, programas de simulación en 3D como “Flow - 3D” y bibliografía específica. Además, se dispone del laboratorio y del canal rectangular y apoyo de la dirección de carrera.

La guía de laboratorio es de vital importancia, puesto que, el conocimiento obtenido y desarrollado quedará registrado en la misma, evitando que futuros estudiantes cometan errores de improvisación en cuanto a prácticas hidráulicas. Además, a futuro servirá como base para los estudiantes que requieran no solo el procedimiento de la práctica, sino también, la teoría en la que esta tiene sus bases.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Desarrollar una guía práctica de laboratorio, aplicado al prototipo de canal rectangular, utilizando cálculo empírico y numérico para los elementos básicos de hidráulica, con el fin de utilizarla en el área de Hidráulica.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Aplicar los conocimientos aprendidos en el área de Hidráulica, desarrollando la guía práctica de laboratorio, para facilitar el aprendizaje de los estudiantes.

Imponer valores en las condiciones iniciales y diversos casos de estudio, tomando como base un aforo volumétrico del caudal, para realizar los cálculos analíticos aplicables para cada elemento existente en el laboratorio a condiciones de flujo básicas.

Aplicar simulación numérica 3D para visualizar el estado de flujo de agua sobre elementos y casos escogidos aplicables al canal rectangular, mediante el uso del software “Flow 3D”, para comprobarlos con los resultados obtenidos mediante cálculo analítico.

Organizar la guía sistemáticamente, analizando los casos de estudio: estudio del comportamiento del agua en el prototipo de canal rectangular, estudio en el software “Flow 3D” y comparación de resultados, con el fin de aplicarlo en la práctica de laboratorio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Clasificación de flujos en canales abiertos**

Tomando como criterio de clasificación el tiempo, se puede clasificar el tirante de flujo como permanente en el tiempo, lo cual implica que el mismo no cambia en el tiempo, así mismo, podemos clasificarlo como no permanente en el tiempo, lo que quiere decir que este si cambia con el tiempo.

Si se toma como criterio de clasificación el espacio, como resultado, podemos clasificar el tirante de flujo como uniforme, lo cual implica que este no varía en la distancia, por tanto, también lo podemos clasificar como no uniforme, es decir, existirá variación con respecto a la distancia,

Además, se puede tomar como criterio de clasificación la viscosidad, misma que depende de un número adimensional conocido como el número de Reynolds, si este es menor a 2000, podemos considerar el flujo como un flujo laminar, si esta entre 2000 y 4000 se le conoce como un flujo en transición y si es mayor a 4000 se le conoce como flujo turbulento.

#### **2.2 Estados de flujo**

El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de la viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo.

✚ Efecto de la viscosidad: el flujo puede ser laminar, turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia.

- ✚ El flujo es laminar: si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega un papel importante para determinar el comportamiento del flujo.
- ✚ El flujo es turbulento: si las fuerzas son débiles en relación con las fuerzas inerciales.
- ✚ Efecto de la gravedad: el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales.

La relación antes mencionada está dada por el número de Froude, la cual se representa como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (1.1)$$

Siendo:

D = Diámetro (m).

V = velocidad de flujo (m/s).

g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>). F = número de Froude.

Clasificación de flujo en canales:

Si F=1, crítico; Si F>1, supercrítico; Si F<1, subcrítico.

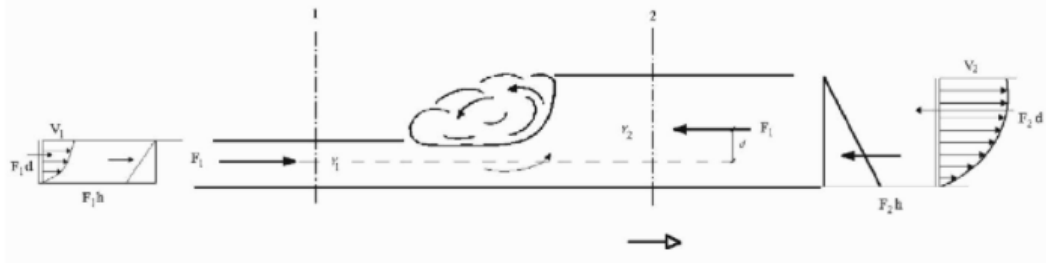
### 2.3 Resalto Hidráulico

Es el ascenso brusco del nivel de agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad y pasa a una zona de baja velocidad.

Este fenómeno presenta un estado de fuerzas en equilibrio, en el que tiene un cambio brusco de flujo de supercrítico a subcrítico.

**Figura 2**

*Resalto Hidráulico*



*Nota.* El gráfico muestra el volumen de control en el resalto hidráulico, fuerzas hidrostáticas  $F_h$  y fuerzas hidrodinámicas  $F_d$ . Tomado de *Guía del estudio del flujo rápidamente variado retardado, resalto hidráulico. Artículo académico* (p.1.1), por, A. Bravo, 2018, Universidad del Cauca, Departamento de hidráulica.

De acuerdo con el grafico en las secciones 1 y 2 tenemos que:

$$\frac{\gamma \cdot q}{g} (V_1 - V_2) = \frac{\gamma}{2} (\gamma_2^2 - \gamma_1^2) \quad (1.2)$$

$$\text{Tirante conjugado aguas abajo: } \gamma_2 = \frac{1}{2} (-\gamma_1 \pm \sqrt{\gamma_1^2 + \frac{8\gamma_1 V_1^2}{g}}); \quad \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + \frac{8q^2}{g \cdot \gamma_1^3}} - 1)$$

Expresión adimensional de tirantes conjugados:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 * F_{g1}^2} - 1) \quad (1.3)$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

$V$  = velocidad de flujo ( $m/s$ ).

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$y_1, y_2$  = tirantes de agua ( $m$ ).

$F$  = número de Froude.

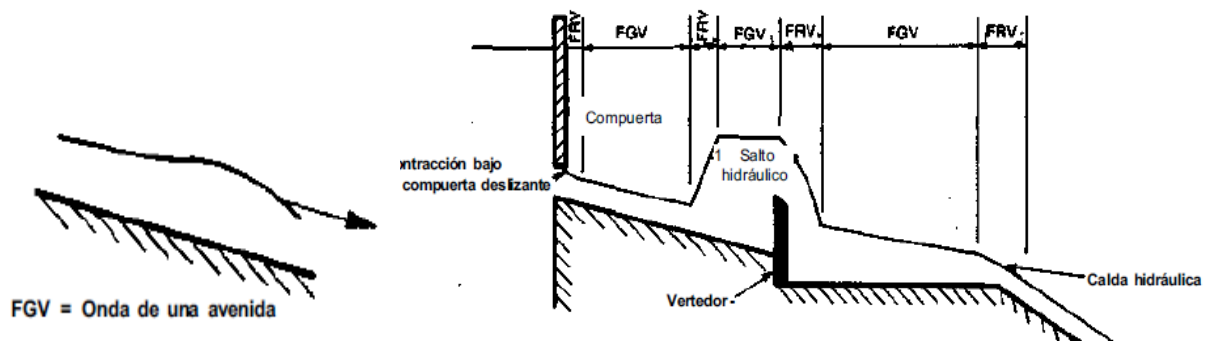
$L$  = longitud del resalto ( $m$ ).

## 2.4 Flujo Gradualmente Variado

Este tipo de flujo (F.G.V), se da cuando los parámetros de profundidad cambian de manera gradual a lo largo del canal.

**Figura 3**

*Flujo gradualmente variado*



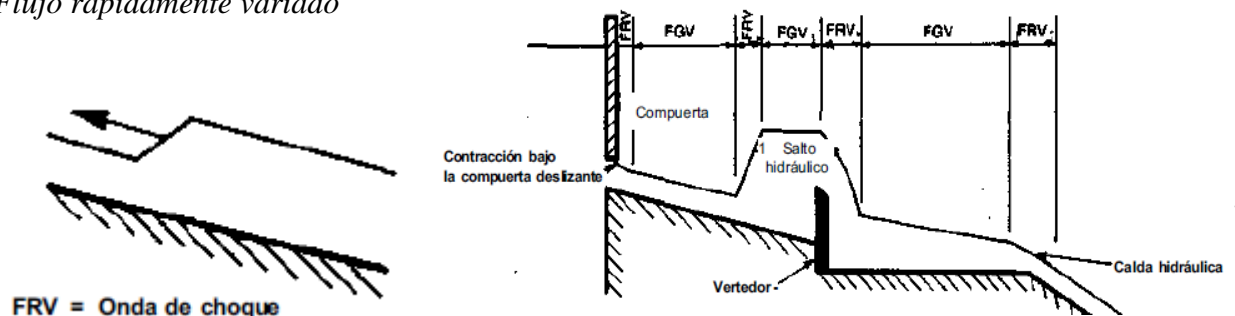
*Nota.* El gráfico muestra los tipos de variación que puede tener un flujo. Tomado de *Hidráulica de Canales Abiertos* (p.4), por R. French, 1988, McGrawHill Inc.

## 2.5 Flujo Rápidamente Variado

Se produce un flujo rápidamente variado (F.R.V), si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias cortas, como con el resalto hidráulico.

**Figura 4**

*Flujo rápidamente variado*



*Nota.* El gráfico muestra los tipos de variación que puede tener un flujo. Tomado de *Hidráulica de Canales Abiertos* (p.4), por R. French, 1988, McGrawHill Inc.

## 2.6 Flujo Uniforme

El coeficiente de Manning expresa la cantidad de resistencia al movimiento del agua, toma en cuenta muchos factores como el caudal, régimen de circulación, etc.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

Siendo:

V: velocidad en m/s

Q: caudal en m<sup>3</sup>/s

n: coeficiente de rugosidad de Manning

g: gravedad en m/s<sup>2</sup>

Rh: radio hidráulico

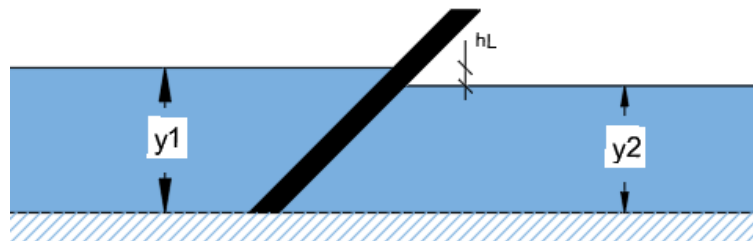
S: pendiente (%)

## 2.7 Rejilla

Es una red que se implanta en una captación que impide de tal modo el paso de elementos flotantes o sólidos de gran tamaño. Estas deben diseñarse para la retención de sólidos o desechos que no permiten la correcta operación del sistema hidráulico, la rejilla se acondiciona al tamaño de los sólidos que puedan pasar por el canal rectangular, a excepción de que cuando la obra requiera protección contra sólidos más pequeños.

**Figura 5**

*Rejilla*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de una rejilla. Elaborado por: Los Autores.

Para barras circulares podemos calcular la pérdida de energía ocasionada por la rejilla con la expresión de Kinnhmer:

$$hL = \beta * \left(\frac{ds}{C}\right)^{\frac{4}{3}} * hr * \sin(\phi) \quad (1.5)$$

Donde:

$$hr = \frac{V^2}{2 * g} \quad (1.6); \quad V = \frac{Q}{A} \quad (1.7);$$

$$Vr = \frac{Q}{A - Ar} \quad (1.8); \quad Ar = n * ds * yo \quad (1.9);$$

Siendo:

hL= pérdida hidráulica (m)	$\beta = 1.79$ para barras circulares
ds = espesor de la barra (m)	C = apertura (m)
$\phi$ = ángulo horizontal	hr = energía de velocidad de flujo de aproximación (m)
Q = caudal (m <sup>3</sup> /s)	V = velocidad antes de la reja (m/s)
A = área de canal (m <sup>2</sup> )	Vr = velocidad a través de la reja (m/s)
Ar= área de las rejillas (m <sup>2</sup> )	yo = tirante hidráulico (m)
n = número de espacios	n-1 = número de barras
ds = espesor de la barra (m)	

## 2.8 Vertedero rectangular de pared delgada

El vertedero de pared delgada, es uno de los vertederos más utilizados y de mayor facilidad para su construcción, cuando la descarga es libre el caudal que fluye está dado por la ecuación de Francis:

$$Q \left(\frac{m^3}{s}\right) = Cd * b * H^{\frac{3}{2}} \quad (2.0)$$

El coeficiente de descarga puede escribirse de la siguiente manera:

$$Cd = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g * u} \quad (2.1)$$



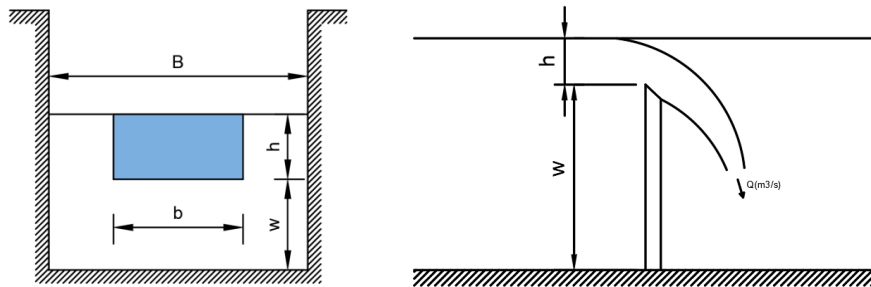
El coeficiente  $u$  que aparece en la ecuación [2.1] representa la relación entre la verdadera distribución de velocidades y la parábola correspondiente a una distribución hipotética de velocidades. En síntesis, representa un coeficiente que toma en consideración la contracción de las líneas de flujo.

Cuando el vertedero rectangular se encuentra al centro de un canal de ancho  $B$ , mayor que la longitud de la cresta  $b$  del vertedor, se producen contracciones laterales que disminuyen el coeficiente de descarga.

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, de entre ellos se reproducen las ecuaciones de Hégly, Rehbock y SIAS.

## Figura 6

### Vertedero Pared delgada



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de un vertedero de pared delgada. Elaborado por: Los Autores.

Hegly:

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B-b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad (2.2)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.1m \leq h \leq 0.6m$ ;  $0.5m \leq b \leq 2m$ ;

$$0.2m \leq w \leq 1.13m;$$

Rehbock:

$$u = \left( 0.6035 + 0.0813 * \left( \frac{h+0.0011}{w} \right) \right) * \left( 1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.3)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.18m \leq h \leq 0.5m;$   $b \geq 0.3m;$   $w \geq 0.06m;$

$$\frac{h}{w} \leq 1;$$

Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad (2.4)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.025m \leq h \leq 0.8m;$   $0.3m \leq w;$   $\frac{h}{w} \leq 1;$

Siendo:

Q = Caudal (m<sup>3</sup> / s)

u = coeficiente de contracción adimensional.

g = aceleración de la gravedad (m /s<sup>2</sup>)

h = carga sobre el vertedero (m)

b = ancho del vertedero (m)

w = altura del vertedero (m)

## 2.9 Vertedero perfil USBR

El vertedero tipo USBR se construye con el fin de encausar el exceso de agua sin producir erosión ni deterioro a la estructura, controlando que el flujo no se desborde y conserve su caudal.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = Cd * L * H^{\frac{3}{2}} \quad (2.5)$$

Siendo:

Q = Caudal (m<sup>3</sup> / s)

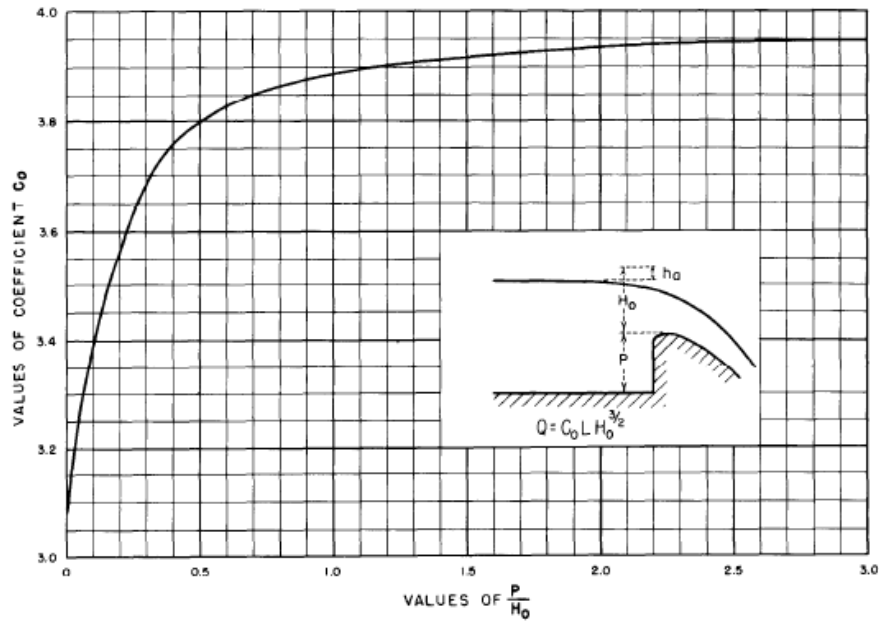
Cd = coeficiente de descarga adimensional.

H = carga sobre el vertedero (m)

L = ancho del vertedero (m)

**Figura 7**

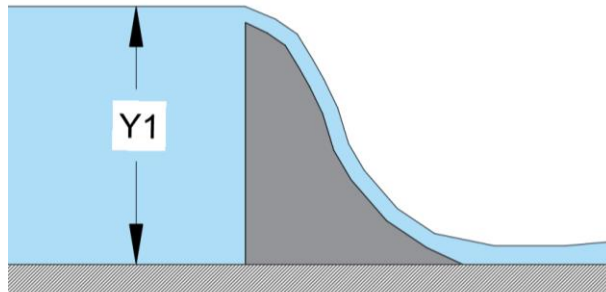
*Coeficiente de descarga  $C_o$  para USBR.*



*Nota.* El gráfico muestra la relación  $P/H_o$  para obtener el coeficiente de descarga  $C_o$  de un perfil USBR. Tomado de: *Design of Small Dams* (p.370), por United States Bureau of Reclamation, 1987, U. S. Government Printing Office.

**Figura 8**

*Perfil USBR.*



*Nota.* El gráfico muestra la altura las dimensiones a usar para el cálculo de un perfil USBR. Elaborado por: Los Autores.

## 2.10 Vertedero pared gruesa

Los vertederos de pared gruesa son utilizados en la medición de caudal y el control de flujo en canales, sin embargo, no son adecuados para flujos que arrastren gran cantidad de sedimentos. Se considera a un vertedero de pared gruesa cuando su relación de espesor sea:

$$\frac{e}{H} > 0.67$$

Este tipo de vertedero presenta una distribución hidrostática de presiones uniforme a través del flujo que pasa sobre la cresta del mismo.

Cuando la descarga es libre el caudal que fluye se representa por la siguiente ecuación:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \epsilon_1 * Cd * b * H^{3/2} \quad (2.6)$$

El coeficiente de descarga puede escribirse de la siguiente manera:

$$Cd = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u \quad (2.7)$$

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \epsilon_1 * \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{3/2} \quad [2.6 \text{ y } 2.7]$$

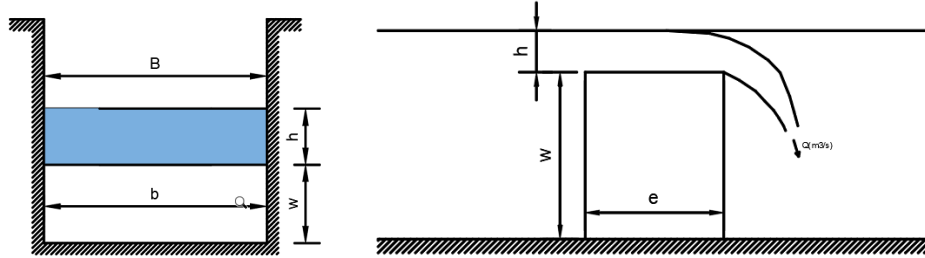
El valor de  $\epsilon_1$ , esta considerado a partir de los siguientes límites:

$$\text{Si } 0,67 < e/H < 3 \quad \epsilon_1 = 0,7 + \frac{0,185}{e/H} \quad (2.8); \quad \text{Si } e/H > 3 \quad \epsilon_1 = 0,75 + \frac{0,1}{e/H} \quad (2.9)$$

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, de entre ellos se reproducen las ecuaciones de Hégly, Rehbock y SIAS.

**Figura 9**

*Vertedero Pared gruesa*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de un vertedero de pared gruesa. Elaborado por: Los Autores.

Hegly:

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B-b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad (3.0)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.1m \leq h \leq 0.6m$ ;  $0.5m \leq b \leq 2m$ ;  $0.2m \leq w \leq 1.13m$ ;

Rehbock:

$$u = \left( 0.6035 + 0.0813 * \left( \frac{h+0.0011}{w} \right) \right) * \left( 1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.1)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.18m \leq h \leq 0.5m$ ;  $b \geq 0.3m$ ;  $w \geq 0.06m$ ;  $\frac{h}{w} \leq 1$ ;

Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad (3.2)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.025m \leq h \leq 0.8m$ ;  $0.3m \leq w$ ;  $\frac{h}{w} \leq 1$ ;

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

$u$  = coeficiente de contracción adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ ).

$h$  = carga sobre el vertedero (m).

$b$  = ancho del vertedero (m).

$w$  = altura del vertedero (m).

## 2.11 Vertedero rectangular con 2 contracciones

El vertedero de pared delgada, es uno de los vertederos más utilizados y de mayor facilidad para su construcción, cuando la descarga es libre el caudal que fluye está dado por la ecuación de Francis:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = Cd * b * H^{\frac{3}{2}} \quad (3.3)$$

El coeficiente de descarga puede escribirse de la siguiente manera:

$$Cd = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u \quad (3.4)$$

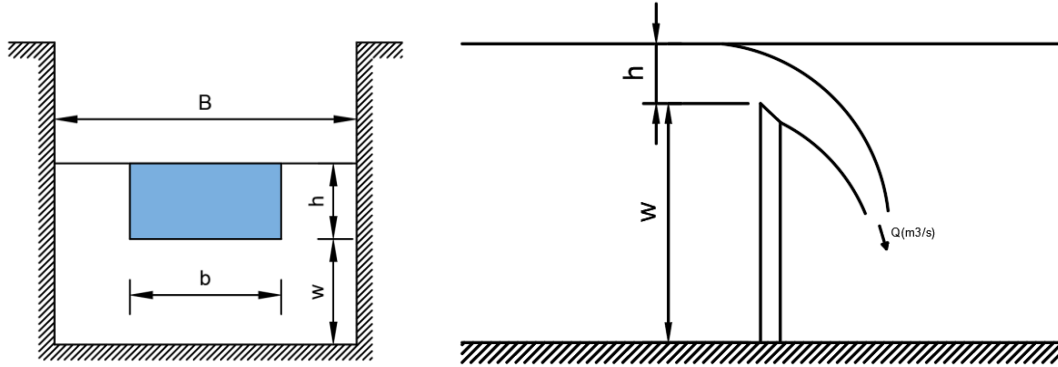
El coeficiente  $u$  que aparece en la ecuación [3.2] representa la relación entre la verdadera distribución de velocidades y la parábola correspondiente a una distribución hipotética de velocidades. En síntesis, representa un coeficiente que toma en consideración la contracción de las líneas de flujo.

Cuando el vertedero rectangular se encuentra al centro de un canal de ancho  $B$ , mayor que la longitud de la cresta  $b$  del vertedor, se producen contracciones laterales que disminuyen el coeficiente de descarga.

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, de entre ellos se reproducen las ecuaciones de Hégly, Hamilton Smith y SIAS.

**Figura 10**

*Vertedero Pared delgada con 2 contracciones*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de un vertedero de pared delgada con 2 contracciones. Elaborado por: Los Autores.

Hegly:

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B-b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad (3.5)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.1m \leq h \leq 0.6m$ ;  $0.5m \leq b \leq 2m$ ;  $0.2m \leq w \leq 1.13m$ ;

Hamilton Smith:

$$u = (0.616) * \left( 1 - \frac{b}{10*B} \right) \quad (3.6)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.075m \leq h \leq 0.6m$ ;  $0.3m \leq b$ ;  $0.3m \leq w$ ;

$$h \leq \frac{w}{2}; \quad b \leq (B - 2h); \quad \frac{h}{b} \leq 0.5$$

Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad (3.7)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.025m \leq h \leq 0.8m$ ;  $0.3m \leq w$ ;  $\frac{h}{w} \leq 1$ ;

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ )  $u$  = coeficiente de contracción adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ )  $h$  = carga sobre el vertedero (m)

$b$  = ancho contraído del vertedero (m)  $w$  = altura del vertedero (m)

$B$  = ancho del vertedero (m)

## 2.12 Compuerta plana

Una compuerta plana, es una placa móvil que al levantarse forma una abertura generalmente desde el piso hasta el borde inferior de dicha placa, se puede emplear como medidor de flujo y regulador de flujo, reteniendo o permitiendo el paso del agua embalsada.

Se puede caracterizar según las condiciones de flujo aguas abajo como compuerta plana de descarga libre y compuerta plana de descarga sumergida. Para medir el flujo a descarga libre, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$Q = Cd * b * a * \sqrt{2 * g * y1} \quad (3.8)$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).  $Cd$  = coeficiente de descarga adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ ).  $y1$  = altura aguas arriba de la compuerta(m).

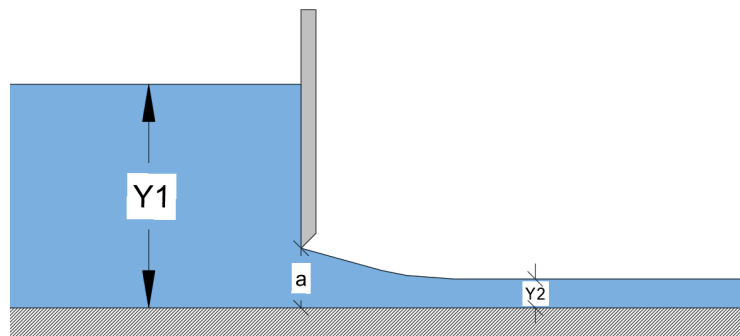
$b$  = ancho del vertedero (m).  $a$  = abertura de la compuerta (m).

El flujo experimenta una contracción en las líneas de corriente al pasar por la abertura de la compuerta, generando así un aumento de velocidad. Las diferentes formas que puede llegar a tener una compuerta dependen del uso que se le vaya a dar, del tamaño, de la carga que soportara y de la forma de abertura.



**Figura 11**

*Compuerta plana*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de una compuerta plana.

Elaborado por: Los Autores.

### 2.13 Vertedero triangular

Un vertedero triangular permite tener mayor precisión en el cálculo de la altura  $H$  a caudales reducidos, usado para controlar el nivel del flujo de agua, los vertederos triangulares de mayor uso son los de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ .

Las fórmulas para vertederos dependen de la rugosidad del canal, por tanto, es preferible usar un canal liso, para el cálculo del caudal tanto de un vertedero de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ , se utiliza la expresión:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * g} * u * \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) * H^{5/2} \quad (3.9)$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

$u$  = coeficiente de contracción adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ ).

$H$  = altura aguas arriba del vertedero (m).

$\theta$  = ángulo en el vértice de la escotadura.

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, sin embargo, estos dependen del ángulo en el vértice de la escotadura, para un vertedero triangular de  $90^\circ$ , podemos tomar las ecuaciones de Hegly y Barr, y para un vertedero triangular de  $60^\circ$ , podemos tomar la ecuación de Heyndricks.

Hegly:

$$u = \left[ 0,5812 + \frac{0,00375}{h} \right] * \left[ 1 + \frac{h^2}{B*(h+w)} \right]^2 \quad (4.0)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $\theta = 90^\circ$ ;  $0.1m \leq h \leq 0.5m$ ; y  $w$  pequeñas

Barr:

$$u = (0.565) + \left( \frac{0.0087}{h^{0.5}} \right) \quad (4.1)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $\theta = 90^\circ$ ;  $0.05m \leq h \leq 0.25m$ ;  $w \geq 3h$ ;  $B \geq 3h$

Heyndrick:

$$u = (0.5775 + 0.214 * h^{1.25}) * \left( 1 + \left( \frac{h^2}{B(h+w)} \right)^2 \right) \quad (4.2)$$

Cuyos límites de aplicación son:  $\theta = 60^\circ$  y cargas normales.

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ )

$u$  = coeficiente de contracción adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

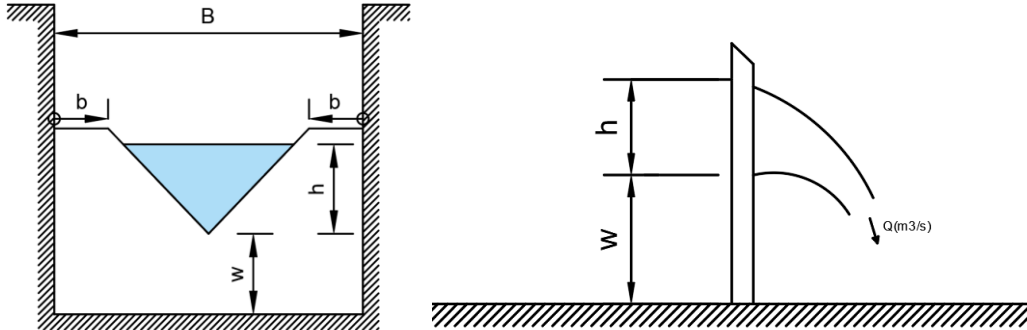
$h$  = carga sobre el vertedero (m)

$B$  = ancho del vertedero (m)

$w$  = altura del vertedero (m)

**Figura 12**

*Vertedero triangular*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de un vertedero triangular.

Elaborado por: Los Autores.

## 2.14 Orificio

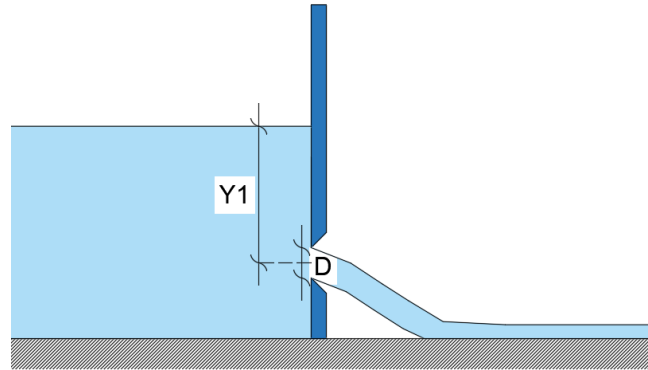
Un orificio es una abertura o perforación circular en una superficie que puede ser plana o no, a través de él, se puede drenar cierta cantidad de agua embalsada. Posee un contorno cerrado, cuyo perímetro puede estar completamente mojado, la corriente de agua por la que circula el flujo se le puede llamar chorro.

Existen orificios de descarga libre, que se da cuando la cota aguas abajo es menor que el borde inferior del orificio, de descarga sumergida, que se da cuando la cota aguas abajo es mayor que el borde superior del orificio, asimismo, se pueden clasificar los orificios dependiendo de su espesor como orificios de pared delgada y gruesa y dependiendo de su inclinación como orificio de pared vertical e inclinada.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = Cd * A * \sqrt{2 * g * H} \quad (4.3)$$

**Figura 13**

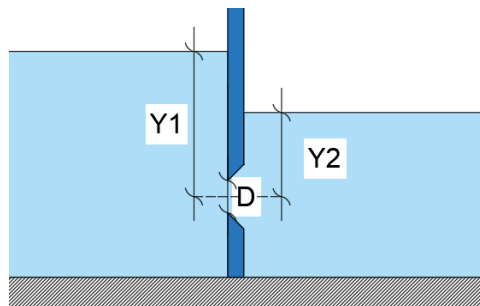
*Orificio descarga libre*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de un orificio de descarga libre. Elaborado por: Los Autores.

**Figura 14**

*Orificio descarga sumergida*



*Nota.* El gráfico muestra las dimensiones a usar para el cálculo de un orificio de descarga sumergida. Elaborado por: Los Autores.

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

$C_d$  = coeficiente de descarga adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ ).

$A$  = área del orificio ( $m^2$ ).

$H = Y1$  tirante de agua (m): (desde el centro del orificio hasta el tirante aguas arriba para orificio con descarga libre).

$D$  = diámetro del orificio (m).

$H = (Y1 - Y2)$  tirante de agua (m): (diferencia de cotas aguas arriba y aguas abajo para orificio con descarga sumergida).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipos de Investigación.**

Para este proyecto aplicaremos la investigación explicativa y experimental. Según Fideas G. Arias (2012):

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de la hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

El proyecto presente usará la investigación explicativa, puesto que, existe la relación causa-efecto, como causa, se considera que no se cuenta en la actualidad con una guía práctica de laboratorio que guíe de manera adecuada al estudiante, como efecto, se plantea desarrollar la guía mediante diversos ensayos utilizando el canal rectangular sometido a diferentes escenarios.

Según el autor (Fideas G. Arias (2012)), “La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. Se considera que el proyecto utilizará la investigación experimental, puesto que, para la toma de datos se impondrá a distintos escenarios al canal rectangular.

### **3.2. Método.**

Para el proyecto se utilizará el método experimental, puesto que, se tomará datos del canal rectangular y se realizará una comparación a partir de métodos analíticos y numéricos de distintos casos de flujo y de caudales a los que se impondrá al canal abierto, concluyendo así, un punto de vista diferente para cada caso.

### **3.3 Técnicas e Instrumentos de Investigación.**

Se obtendrá la información a partir de imponer a un canal rectangular hecho de acrílico a diferentes caudales y condiciones, se verificarán los resultados a partir de un software “Flow 3D”. También se realizará el análisis de la información recolectada de libros, tesis, artículos académicos, entre otros, que servirá para el proceso investigativo.

### **3.4 Proceso Técnico de Ingeniería Civil.**

Se realizará un aforo volumétrico en una hoja de Excel, misma que presentará los resultados, de los ensayos realizados con el fin de obtener el caudal liberado por cada media vuelta de la válvula de compuerta, a continuación, se procederá a ensayar los escenarios en el canal rectangular de 20cm x 20cm x 360cm a caudales diferentes impuestos como condiciones iniciales a los casos a estudiar, estos casos son:

**Vertedero perfil hidrodinámico**, se hará uso de la unión de placas de acrílico correctamente ubicadas para simular las condiciones del perfil tipo USBR.

**Resalto hidráulico**, para simular este caso se utiliza la compuerta plana aplicando una barrera de 15cm al final del canal, debido que, es necesaria una corriente super crítica y con poca profundidad, caso que se da cuando el flujo de agua es expulsado de la apertura de la compuerta, generando un resalto hidráulico al estabilizarse el flujo después de haber chocado con la barrera, dando como consecuencia que la corriente se vuelva lenta y profunda.

Se utilizará una placa de acrílico diferente para simular los siguientes casos: **vertedero pared gruesa, vertedero rectangular con 2 contracciones, vertedero pared delgada sin contracción, vertedero triangular 90°, vertedero triangular 60°, orificio y compuerta plana.**

**Rejilla**, para simular este caso se propone realizar un prototipo de rejilla de acero cuyas dimensiones dependerán del cálculo analítico.

Una vez obtenida una base sólida y toda la información necesaria para el proyecto, se realizará el cálculo a partir de los métodos analíticos. Además, se obtendrá una mejor visualización de los fenómenos hidráulicos, a partir de las diferentes condiciones a la que será sometido el canal rectangular y se realizará un modelo numérico para cada condición. En base a los resultados, se planteará las respectivas conclusiones.

Se organizará la información obtenida y se expondrá un modelo de guía de laboratorio en cuyo contenido se tenga la teoría básica de temas hidráulicos aplicados al canal rectangular, los materiales utilizados, fotografías y videos de cuando se experimentó en dicho canal y la simulación en video del método numérico aplicado a los diferentes casos con el software “Flow 3D”. En los documentos (guía de laboratorio) se explicará detalladamente la manera de obtención de datos necesarios para la elaboración de la práctica a ejecutar y los respectivos cálculos a realizar por el estudiante.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS VISUAL Y ANALÍTICO DE LOS ESCENARIOS IMPUESTOS AL CANAL RECTANGULAR

#### 4.1 Experimentación y toma de datos para determinar el caudal por giro de válvula en el canal rectangular.

Se plantea obtener un valor de caudal  $Q$ , por cada medio giro de válvula para el canal rectangular, a partir de la práctica “AFORO VOLUMÉTRICO”.

**Tabla 1**

*Aforo Volumétrico*

Giros de válvula	Experimento	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Medida con Cronómetro		Q (l/s)
				Tiempo (segundos)	Q (m <sup>3</sup> /s)	
1	1	18800	0,0188	16,44	0,00114	1,14
	2	18800	0,0188	16,64	0,00113	1,13
	3	18800	0,0188	16,35	0,00115	1,15
1,5	1	18800	0,0188	8,06	0,00233	2,33
	2	18800	0,0188	8,03	0,00234	2,34
	3	18800	0,0188	8,31	0,00226	2,26
2	1	18800	0,0188	6,11	0,00308	3,08
	2	18800	0,0188	6,26	0,00300	3,00
	3	18800	0,0188	6,32	0,00297	2,97
2,5	1	18800	0,0188	5,64	0,00333	3,33
	2	18800	0,0188	5,55	0,00339	3,39
	3	18800	0,0188	5,61	0,00335	3,35
3	1	18800	0,0188	5,44	0,00346	3,46
	2	18800	0,0188	5,41	0,00348	3,48
	3	18800	0,0188	5,47	0,00344	3,44
3,5	1	18800	0,0188	5,31	0,00354	3,54
	2	18800	0,0188	5,28	0,00356	3,56
	3	18800	0,0188	5,33	0,00353	3,53
4	1	18800	0,0188	5,18	0,00363	3,63
	2	18800	0,0188	5,19	0,00362	3,62
	3	18800	0,0188	5,15	0,00365	3,65
4,5	1	18800	0,0188	5,12	0,00367	3,67
	2	18800	0,0188	5,09	0,00369	3,69
	3	18800	0,0188	5,11	0,00368	3,68
5	1	18800	0,0188	5,11	0,00368	3,68
	2	18800	0,0188	5,08	0,00370	3,70
	3	18800	0,0188	5,1	0,00369	3,69

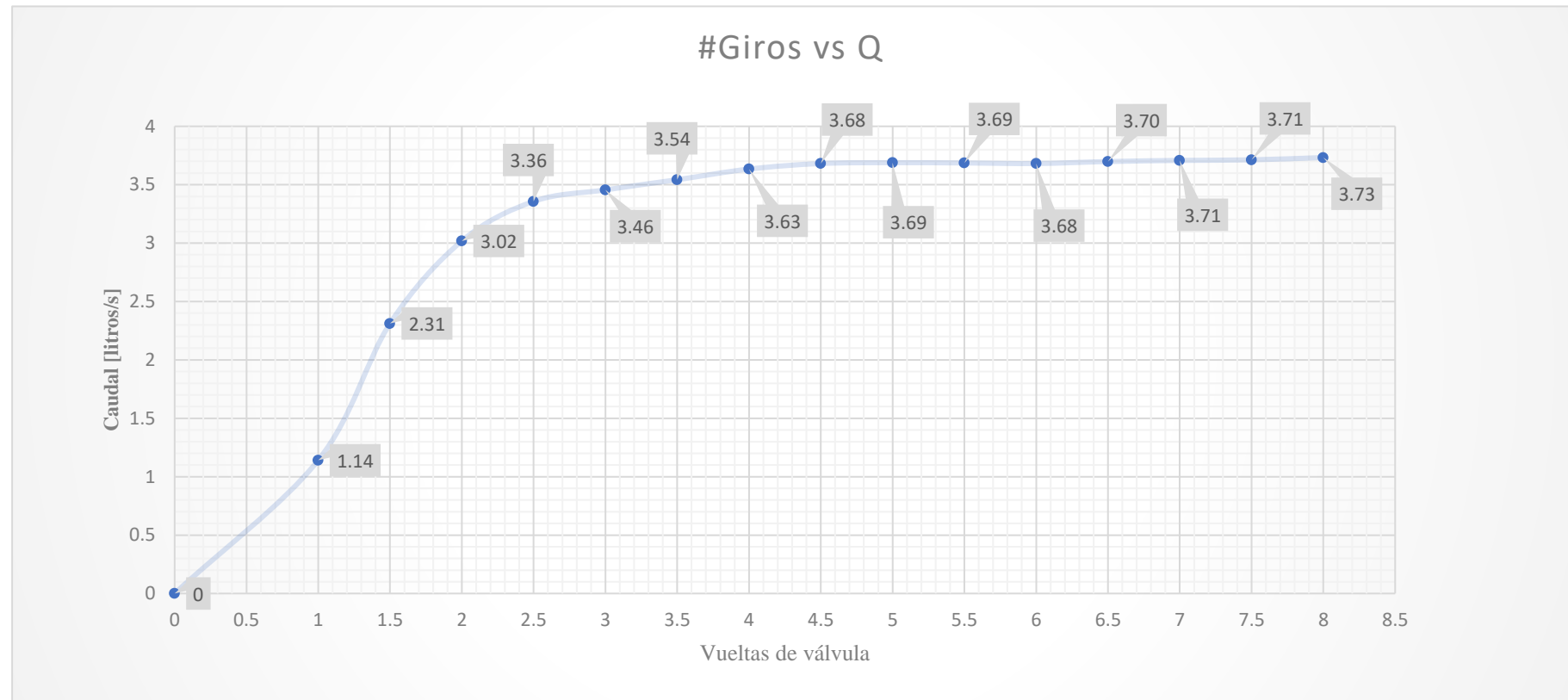


5,5	1	18800	0,0188	5,11	0,00368	3,68
	2	18800	0,0188	5,09	0,00369	3,69
	3	18800	0,0188	5,1	0,00369	3,69
6	1	18800	0,0188	5,11	0,00368	3,68
	2	18800	0,0188	5,11	0,00368	3,68
	3	18800	0,0188	5,1	0,00369	3,69
6,5	1	18800	0,0188	5,1	0,00369	3,69
	2	18800	0,0188	5,06	0,00372	3,72
	3	18800	0,0188	5,09	0,00369	3,69
7	1	18800	0,0188	5,08	0,00370	3,70
	2	18800	0,0188	5,06	0,00372	3,72
	3	18800	0,0188	5,07	0,00371	3,71
7,5	1	18800	0,0188	5,04	0,00373	3,73
	2	18800	0,0188	5,07	0,00371	3,71
	3	18800	0,0188	5,08	0,00370	3,70
8	1	18800	0,0188	5,06	0,00372	3,72
	2	18800	0,0188	5,04	0,00373	3,73
	3	18800	0,0188	5,01	0,00375	3,75

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
1	1,14
1,5	2,31
2	3,02
2,5	3,36
3	3,46
3,5	3,54
4	3,63
4,5	3,68
5	3,69
5,5	3,69
6	3,68
6,5	3,70
7	3,71
7,5	3,71
8	3,73

**Figura 15**

*Gráfico (Giros de válvula vs Caudal)*



*Nota.* El gráfico muestra la relación de giros de válvula vs caudal, cuyos datos se toman del “Aforo Volumétrico”. Elaborado por: Los Autores.

**Observaciones:**

- Para obtener los valores de la gráfica (Número de giros vs Caudal), se realizó en promedio de las 3 repeticiones establecidas para cada 0.5 giros de válvula,
- Se observa que a partir de 4.5 giros de válvula el caudal comienza a tener menor variación en su valor y se establece un caudal de bombeo de 3.73 [litros/s] para 8 giros de válvula.
- Para el uso posterior de los valores obtenidos en el aforo volumétrico será necesario realizar una nueva medición de caudal calculando un factor de corrección (J), que dependerá del tipo de estructura hidráulica a analiza

**4.1.1 Factor de corrección**

Es necesario una alteración del caudal obtenido en la práctica de aforo volumétrico mediante un factor de corrección (J), puesto que, el flujo de agua que pasa sobre una estructura hidráulica en el canal rectangular varía ligeramente en comparación cuando el agua transita en un canal libre.

Para el cálculo del factor de corrección (J) es necesario tomar un valor referencial de caudal para cualquier giro de válvula, ubicar la estructura hidráulica en el canal y una vez correctamente ubicada, realizar 3 mediciones nuevas de caudal y comparar con el caudal obteniendo mediante aforo volumétrico. El factor de corrección se obtiene mediante la fórmula:

$$J = \frac{Q_{\text{prac}}}{Q_{\text{aforo}}} * 100\%$$

El promedio de los factores de corrección para estos valores de caudal medido con la estructura colocada será el valor del factor de corrección (J).

Se toma como ejemplo el caso del vertedero rectangular de pared delgada sometido a 8 giros de válvula con un caudal correspondiente de 3.73 [litros/s], dando como resultado un factor de corrección  $J = 103\%$  para una de las 3 mediciones a realizar, mediante un promedio de los resultados se obtiene un valor  $J$  final, este afectará a cada valor de caudal obtenido en la práctica de aforo volumétrico, aproximándose a resultados más confiables.

$$Q[8 \text{ giros}] = Q_{aforo} = 3.73 \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

$$[Q - \text{Nueva Medición}] \quad Q[8 \text{ giros}] = Q_{prac} = \frac{18.8}{4.87} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = 3.86 \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

$$\text{Factor de Corrección:} \quad J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \frac{3.86}{3.73} * 100\% = 103\%$$

**Tabla 2**

*Factor de corrección*

# G	V	T	Q	Q -av	F C
8	18,80	4,81	3,91	3,73269	1,05
8	18,80	4,87	3,86	3,73269	1,03
8	18,80	4,87	3,86	3,73269	1,03
					<b>1,04</b>

## 4.2 Cálculo analítico para los escenarios impuestos a flujo uniforme.

### 4.2.1 Flujo Uniforme

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de rugosidad de Manning para el canal rectangular, a partir de la práctica “FLUJO UNIFORME”:

**Tabla 3**

*Coeficiente de Manning*

# de medias vueltas	1-1,5-2
Pendiente (S)	1%

# Giros Válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Base (m)	Altura h (cm)	Altura h (m)	Rh	S (%)	n	Velocidad m/s	# Froude	Régimen
1	1,14	0,00114107	0,2	1	0,01	0,0091	1,00%	0,0076	0,5705	1,8216	SUPERCRÍTICO
1,5	2,31	0,00231202	0,2	1,5	0,015	0,0130	1,00%	0,0072	0,7707	2,0090	SUPERCRÍTICO
2	3,02	0,00301827	0,2	1,8	0,018	0,0153	1,00%	0,0073	0,8384	1,9952	SUPERCRÍTICO

Q (l/s)	n
1,14	0,0076
2,31	0,0072
3,02	0,0073

# de medias vueltas	1-1,5-2
Pendiente (S)	1,5%

# Giros Válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Base (m)	Altura h (cm)	Altura h (m)	Rh	S (%)	n	Velocidad m/s	# Froude	Régimen
1	1,14	0,00114107	0,2	1	0,01	0,0091	1,50%	0,0094	0,5705	1,8216	SUPERCRÍTICO
1,5	2,31	0,00231202	0,2	1,2	0,012	0,0107	1,50%	0,0062	0,9633	2,8077	SUPERCRÍTICO
2	3,02	0,00301827	0,2	1,6	0,016	0,0138	1,50%	0,0075	0,9432	2,3807	SUPERCRÍTICO

Q (l/s)	n
1,14	0,0094
2,31	0,0062
3,02	0,0075

# de medias vueltas	1-1,5-2
Pendiente (S)	2%

# Giros Válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Base (m)	Altura h (cm)	Altura h (m)	Rh	S (%)	n	Velocidad m/s	# Froude	Régimen
1	1,14	0,00114107	0,2	0,9	0,009	0,0083	2,00%	0,0091	0,6339	2,1335	SUPERCRÍTICO
1,5	2,31	0,00231202	0,2	1,3	0,013	0,0115	2,00%	0,0081	0,8892	2,4901	SUPERCRÍTICO
2	3,02	0,00301827	0,2	1,4	0,014	0,0123	2,00%	0,0070	1,0780	2,9087	SUPERCRÍTICO

Q (l/s)	n
1,14	0,0091
2,31	0,0081
3,02	0,0070

n - general	0,008
-------------	-------

### Observaciones:

- Se realizó el cálculo del coeficiente de Manning para pendientes del 1%, 1.5% y 2%
- El valor del caudal de los giros de válvula 1, 1.5 y 2 fueron obtenidos, a partir, del aforo volumétrico.
- Se pudo obtener un valor general empírico para el coeficiente de Manning de 0,008, a partir de la ecuación general de canales rectangulares considerando flujo uniforme.
- No es conveniente realizar el cálculo del coeficiente de Manning a más de 2 giros de válvula, puesto que, el flujo no se mantiene uniforme y se dificulta medir el calado de agua.
- Se observa un flujo supercrítico en el canal debido al aumento de pendiente.

### 4.2.2 Rejilla.

Se plantea obtener la pérdida de energía que ocasiona la rejilla haciendo uso de la ecuación de Kinnhmer, a partir de la práctica “FLUJO A TRAVÉS DE REJILLA”:

**Tabla 4**

*Pérdida hidráulica en rejilla*

° Rejilla	45	Factor Corrección	104,72%					
Giros de válvula	Q (l/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q Corregido	ds (m)	C (m)	y1 (m)	Sin (45°)	β -circular
2	3,02	0,00302	0,00316	0,015	0,01	0,046	0,70710678	1,79
3	3,46	0,00346	0,00362			0,048		
4	3,63	0,00363	0,00381			0,051		

hr (m)	hL - Kinnhmer (m)	hL - Kinnhmer (cm)	y1	y2	hL
0,00602	0,01308	1,30754	4,6	3,5	1,1
0,00724	0,01574	1,57437	5	3,8	1,2
0,00710	0,01542	1,54205	5,1	3,9	1,2

### Observaciones:

- Se tiene que asemejar a un flujo uniforme para poder realizar la medición, puesto que, a más de 4 giros de válvula como máximo, el flujo se vuelve inestable.
- Se obtuvo un factor de corrección de 104.72% que aumenta el caudal, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce la rejilla.
- No se recomienda incrementar la pendiente puesto que aumenta la velocidad y, por lo tanto, no se puede visualizar de mejor manera el fenómeno y realizar el estudio de nuestro caso.
- Las condiciones deben ser tales que no se debe generar resalto aguas arriba.
- Para hallar el valor de la pérdida, se mide la cota aguas arriba y aguas abajo.
- Se obtiene el valor de la pérdida teóricamente, haciendo uso de la expresión de Kinnhmer.

#### 4.2.3 Vertedero rectangular de pared delgada.

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de contracción  $u$ , de un vertedero de pared delgada, a partir de la práctica “FLUJO SOBRE VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES LATERALES” y contrastarlos con valores para  $u$  obtenido de las expresiones de Rehbock, Hegly y de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):

**Tabla 5**

*Coeficiente de contracción para vertedero rectangular de pared delgada*

h (m)	0,04
w(m)	0,12
b (m)	0,2
Factor de Corrección	103,85%

<b>Factor de Corrección</b>	103,85%		<b>b (m)</b>	0,2			
<b>Giros de válvula</b>	<b>Q (ltr/s)</b>	<b>Q corregido (ltr/s)</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>H (m)</b>	<b>u</b>	<b>Cd</b>
1	1,14	1,19	0,00119	1,70	0,017	0,905	2,673
1,5	2,31	2,40	0,00240	2,90	0,029	0,823	2,431
2	3,02	3,13	0,00313	3,60	0,036	0,777	2,294
2,5	3,36	3,49	0,00349	3,80	0,038	0,797	2,353
3	3,46	3,59	0,00359	3,90	0,039	0,789	2,330
3,5	3,54	3,68	0,00368	4,00	0,040	0,779	2,299
4	3,63	3,77	0,00377	4,00	0,040	0,799	2,359
4,5	3,68	3,82	0,00382	4,00	0,040	0,809	2,390
5	3,69	3,83	0,00383	4,00	0,040	0,811	2,394
5,5	3,69	3,83	0,00383	4,00	0,040	0,810	2,393
6	3,68	3,82	0,00382	4,00	0,040	0,809	2,390
6,5	3,70	3,84	0,00384	4,00	0,040	0,813	2,401
7	3,71	3,85	0,00385	4,00	0,040	0,815	2,407
7,5	3,71	3,86	0,00386	4,00	0,040	0,816	2,410
8	3,73	3,88	0,00388	4,00	0,040	0,820	2,423

### Contrastar los valores de u:

Obtenido a partir de ensayos:

u - Ensayos	0,812
-------------	-------

Obtenido a partir de la ecuación de Rehbock:

u - Rehbock	0,658
-------------	-------

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

u - Hegly	0,73
-----------	------

Obtenido a partir de la ecuación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos  
(1924) (Fórmula SIAS).

u - SIAS	0,649
----------	-------

### Observaciones:

- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 8 giros de válvula.



- Se obtuvo un factor de corrección de 103.85% que aumenta el caudal, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce el vertedero.
- El valor del coeficiente de contracción  $u$ , se obtuvo mediante un promedio desde 1 giro hasta 8 giros de válvula.
- Se debe observar que el vertedero presente una descarga aireada, a 0.5 giros de válvula, no se da esta condición, razón por la cual no se toma en cuenta para los cálculos del coeficiente de contracción  $u$ .
- Se concluye un valor para el coeficiente de contracción  $u$  del vertedero de 0.812.
- El uso de los límites de aplicación, ha sido de vital importancia para comprender el resultado de los ensayos y darle significado.

#### 4.2.4 Vertedero rectangular con 2 contracciones.

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de contracción  $u$ , de un vertedero de pared delgada, a partir de la práctica “FLUJO SOBRE VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON 2 CONTRACCIONES LATERALES” y contrastarlos con valores para  $u$  obtenido de las expresiones de Hamilton Smith, Hegly y de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):

**Tabla 6**

*Coficiente de contracción  $u$  para vertedero de pared delgada con 2 contracciones*

b (m)	0,1				
B (m)	0,2				
h (m)	0,04				
w(m)	0,12				
		Factor de Corrección		108,71%	
Contracciones (m)	0,05	b (m)	0,1	B (m)	0,2

Giros de válvula	Q (ltr/s)	corregido (ltr/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
1	1,14	1,24	0,00124	2,70	0,027	0,947
1,5	2,31	2,51	0,00251	4,60	0,046	0,863
2	3,02	3,28	0,00328	5,50	0,055	0,861
2,5	3,36	3,65	0,00365	6,00	0,060	0,841
3	3,46	3,76	0,00376	6,30	0,063	0,805
3,5	3,54	3,85	0,00385	6,30	0,063	0,825
4	3,63	3,95	0,00395	6,40	0,064	0,826
4,5	3,68	4,00	0,00400	6,40	0,064	0,837
5	3,69	4,01	0,00401	6,40	0,064	0,839
5,5	3,69	4,01	0,00401	6,40	0,064	0,838
6	3,68	4,00	0,00400	6,40	0,064	0,837
6,5	3,70	4,02	0,00402	6,50	0,065	0,822
7	3,71	4,03	0,00403	6,50	0,065	0,824
7,5	3,71	4,04	0,00404	6,50	0,065	0,825
8	3,73	4,06	0,00406	6,60	0,066	0,810

**Contrastar los valores de u:**

Obtenido a partir de ensayos:

u - Ensayos	0,840
-------------	-------

Obtenido a partir de la ecuación de Hamilton Smith:

u - Hamilton Smith	0,585
--------------------	-------

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

u - Hegly	0,69
-----------	------

Obtenido a partir de la ecuación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos  
(1924) (Fórmula SIAS).

u - SIAS	0,657
----------	-------

### Observaciones:

- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 2 giros de válvula.
- Se obtuvo un factor de corrección de 108.71% que aumenta el caudal, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a super crítico que produce el vertedero.
- El valor del coeficiente de contracción u, se obtuvo mediante un promedio desde 1 giro hasta 8 giros de válvula.

- Se debe observar que el vertedero presente una descarga aireada, a 0.5 giros de válvula, no se da esta condición, razón por la cual no se toma en cuenta para los cálculos del coeficiente de contracción  $u$ .
- Se concluye un valor para el coeficiente de contracción  $u$  del vertedero con contracciones de 0.84.
- El uso de los límites de aplicación, ha sido de vital importancia para comprender el resultado de los ensayos y darle significado.

#### 4.2.5 Vertedero pared gruesa.

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de contracción  $u$ , de un vertedero de pared gruesa, a partir de la práctica “FLUJO SOBRE VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED GRUESA” y contrastarlos con valores para  $u$  obtenido de las expresiones de Rehbock, Hegly y de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):

**Tabla 7**

*Coeficiente de contracción  $u$  para vertedero de pared gruesa*

<b>e (m)</b>	<b>0,12</b>	<b>b (m)</b>	<b>0,2</b>
<b>Factor de Corrección</b>	<b>107,73%</b>		

Giros de válvula	Q (litr/s)	Q corregido (litr/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	e/H	0,67 < e/H < 3	e/H > 3	u	$\epsilon$	Cd
1	1,14	1,23	0,00123	2,90	0,029	4,138	0,745	0,774	0,544	0,774	1,24
1,5	2,31	2,49	0,00249	4,20	0,042	2,857	0,765	0,785	0,641	0,765	1,45
2	3,02	3,25	0,00325	4,70	0,047	2,553	0,772	0,789	0,699	0,772	1,60
2,5	3,36	3,62	0,00362	5,00	0,050	2,400	0,777	0,792	0,705	0,777	1,62
3	3,46	3,72	0,00372	5,20	0,052	2,308	0,780	0,793	0,681	0,780	1,57
3,5	3,54	3,82	0,00382	5,30	0,053	2,264	0,782	0,794	0,678	0,782	1,56
4	3,63	3,91	0,00391	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,674	0,783	1,56
4,5	3,68	3,97	0,00397	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,683	0,783	1,58
5	3,69	3,97	0,00397	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,685	0,783	1,58
5,5	3,69	3,97	0,00397	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,684	0,783	1,58
6	3,68	3,97	0,00397	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,683	0,783	1,58
6,5	3,70	3,98	0,00398	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,686	0,783	1,59
7	3,71	3,99	0,00399	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,688	0,783	1,59
7,5	3,71	4,00	0,00400	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,689	0,783	1,59
8	3,73	4,02	0,00402	5,40	0,054	2,222	0,783	0,795	0,693	0,783	1,60

### Contrastar los valores de u:

h (m)	0,054
w(m)	0,12

Obtenido a partir de ensayos:

u - Ensayos	0,674
-------------	-------

Obtenido a partir de la ecuación de Rehbock:

u - Rehbock	0,661
-------------	-------

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

u - Hegly	0,72
-----------	------

Obtenido a partir de la ecuación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

u - SIAS	0,656
----------	-------

### Observaciones:

- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 4 giros de válvula.
- Se obtuvo un factor de corrección que aumenta el caudal en un 7.73%, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce el vertedero.
- El valor del coeficiente de contracción u, se obtuvo mediante un promedio desde 1 giro hasta 8 giros de válvula.
- Se debe observar que el vertedero presente una descarga aireada, a 0.5 giros de válvula, no se da esta condición, razón por la cual no se toma en cuenta para los cálculos del coeficiente de contracción u.
- Se concluye un valor para el coeficiente de contracción u del vertedero de 0.67.
- El uso de los límites de aplicación, ha sido de vital importancia para comprender el resultado de los ensayos y darle significado.

#### 4.2.6 Compuerta plana.

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de descarga  $C_d$ , de una compuerta plana, a partir de la práctica “FLUJO A TRAVÉS DE COMPUERTA PLANA CON DESCARGA LIBRE”:

**Tabla 8**

*Coeficiente de descarga para compuerta plana*

Factor de Corrección	102,39%
----------------------	---------

COMPUERTA - apertura 1cm						
Giros de válvula	Q (l/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q Corregido	a (m)	Y <sub>1</sub> (m)	C <sub>d</sub>
1	1,14	0,00114107	0,00116838	0,01	0,032	0,737273778
1,5	2,31	0,00231202	0,00236735	0,01	0,117	0,781251
2	3,02	0,00301827	0,0030905	0,01	0,185	0,811079964
2,5	3,36	0,00335729	0,00343764	0,01	0,226	0,816256963
3	3,46	0,00345595	0,00353866	0,01	0,252	0,795718293

C <sub>d</sub> - General	0,788
--------------------------	-------

#### Observaciones:

- Es necesario esperar un tiempo prudente de al menos 60 segundos cuando se realiza un cambio en el número de giros de válvula para que el caudal se estabilice y se pueda tomar las medidas con el calibrador.
- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 3 giros de válvula, con una apertura de compuerta de 1cm.
- - Se obtuvo un factor de corrección de 102.39% que aumenta el caudal, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce el paso del flujo a través de la compuerta.
- Se concluye un valor para el coeficiente de descarga  $C_d$  para la compuerta de 0.788.

- Para la medición del tirante  $y_1$ , se hizo uso de un calibrador y de un piezómetro que hace parte del canal.

#### 4.2.7 Compuerta con Resalto Hidráulico.

Se plantea obtener el tirante aguas abajo  $Y_2$  y la longitud del resalto generado por una barrera de 3 cm para diferentes caudales, a partir de la práctica “FLUJO A TRAVÉS DE COMPUERTA CON RESALTO HIDRÁULICO”:

**Tabla 9**

*Tirante  $Y_2$  en compuerta con resalto hidráulico*

Factor de Corrección		101,78%	
Barrera (cm)	3	Apertura compuerta (cm)	1

RESALTO HIDRÁULICO					
Giros de válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Qcorregido (m3/s)	Y1 (m)	V1 (m/s)
3,5	3,54	0,003542767	0,003605914	0,011	1,63905168
4,5	3,68	0,003681484	0,003747104	0,011	1,70322891
8	3,73	0,00373269	0,003799222	0,011	1,72691898

Y2 (m)	Y2 (cm)	Y2 medido	L resalto (m)	L resalto (cm)
0,0723	7,2314	6,8000	0,3679	36,7883
0,0753	7,5346	6,8000	0,3861	38,6074
0,0765	7,6465	6,9000	0,3928	39,2790

#### Observaciones:

- Es necesario esperar un tiempo prudente de al menos 60 segundos cuando se realiza un cambio en el número de giros de válvula para que el caudal se estabilice y se pueda tomar las medidas con el calibrador.
- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 8 giros de válvula, con una apertura de compuerta de 1cm y una barrera de 3 cm ubicada al final del canal rectangular.

- Se obtuvo un factor de corrección de 101.78% que aumenta el caudal, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce el paso del flujo a través de la compuerta.
- En el canal no fue posible la medición de la longitud del resalto debido a la velocidad del flujo, sin embargo, se utilizó la ecuación de Smetana para obtener su valor en cada caso.

#### 4.2.8 Vertedero perfil USBR.

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de descarga  $C_d$ , de un perfil USBR, a partir de la práctica “FLUJO SOBRE VERTEDERO TIPO USBR”:

**Tabla 10**

*Coeficiente de descarga para vertedero USBR*

Factor de Corrección	104,95%		b (m)	0,2		ha (m)	0	
Giros de válvula	Q (litr/s)	Q corregido (litr/s)	Q (m3/s)	Ho (cm)	Ho (m)	Paramento (m)	q = Q/b	P/Ho
4	3,63	3,81	0,00381	3,3	0,033	0,200	0,019	6,061
8	3,73	3,92	0,00392	3,4	0,034	0,200	0,020	5,882

C - Ecuación general		
ha (m)	C	Va (m/s)
0,00	3,18105831	0,005
0,00	3,12430883	0,005

#### Observaciones:

- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 4 giros de válvula.
- Se obtuvo un factor de corrección de 104.95% que aumenta el caudal, el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce el vertedero.

- El valor de caudal en el canal rectangular no genera una velocidad de gran magnitud, por tanto, el valor de  $h_a$  se considera nulo.
- Mediante el uso de la tabla para diseño USBR, el coeficiente de descarga  $C$  es de 2.18.
- La altura del paramento en el perfil USBR es de 20cm, a un caudal de 3.81[ltrs/s], correspondiente a 4 giros de válvula, se pudo medir una altura  $H_o$  de 3.3[cm], y a un caudal de 3.92[ltrs/s], correspondiente a 8 giros de válvula, se pudo medir una altura  $H_o$  de 3.4[cm].

#### 4.2.9 Vertedero triangular.

Se plantea obtener un valor general para el coeficiente de contracción  $u$ , de un vertedero triangular de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ , a partir de la práctica “FLUJO SOBRE VERTEDERO TRIANGULAR DE  $60^\circ$  Y  $90^\circ$ ” y contrastarlos con valores para  $u$  obtenido de las expresiones de Heyndrick, Hegly y Barr:

**Tabla 11**

*Coeficiente de contracción  $u$  para vertedero triangular de  $60^\circ$  y  $90^\circ$*

Factor de Corrección	104,17%	$b$ (m)	0,2	Abertura	60	
Giros de válvula	$Q$ (litr/s)	$Q$ corregido	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$H$ (cm)	$H$ (m)	$u$
1	1,14	1,19	0,00119	6,50	0,065	0,809
2	3,02	3,14	0,00314	9,70	0,097	0,787
3	3,46	3,60	0,00360	10,40	0,104	0,757
4	3,63	3,79	0,00379	10,70	0,107	0,741
5	3,69	3,84	0,00384	10,80	0,108	0,735
6	3,68	3,83	0,00383	10,80	0,108	0,734
7	3,71	3,86	0,00386	10,80	0,108	0,739
8	3,73	3,89	0,00389	10,80	0,108	0,744



<b>Factor de Corrección</b>	108,23%	<b>b (m)</b>	0,2	<b>Abertura</b>	90	
<b>Giros de válvula</b>	<b>Q (ltr/s)</b>	<b>Q corregido</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>H (m)</b>	<b>u</b>
1	1,14	1,23	0,00123	5,50	0,055	0,737
2	3,02	3,27	0,00327	7,90	0,079	0,788
3	3,46	3,74	0,00374	8,40	0,084	0,774
4	3,63	3,93	0,00393	8,50	0,085	0,790
5	3,69	3,99	0,00399	8,60	0,086	0,779
6	3,68	3,98	0,00398	8,60	0,086	0,778
7	3,71	4,01	0,00401	8,70	0,087	0,761
8	3,73	4,04	0,00404	8,70	0,087	0,766

**Contrastar los valores de u del Vertedero de 60°:**

B	0,2
H	0,108
w	0,052

Obtenido a partir de ensayos:

u-Ensayos	$\theta = 60^\circ$	0,76
-----------	---------------------	------

Obtenido a partir de la ecuación de Heyndrick.

Heyndricks	$\theta = 60^\circ$	0,67
------------	---------------------	------

**Contrastar los valores de u del Vertedero de 90°:**

B	0,2
H	0,087
w	0,07

Obtenido a partir de ensayos:

u-Ensayos	$\theta = 90^\circ$	0,77
-----------	---------------------	------

Obtenido a partir de la ecuación de Barr:

Barr	$\theta = 90^\circ$	0,59
------	---------------------	------

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

Hegly	$\theta = 90^\circ$	0,66
-------	---------------------	------

**Observaciones:**

- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 4 giros de válvula.
- Se obtuvo un factor de corrección de 104.17% que aumenta el caudal para un vertedero triangular de  $60^\circ$  y un factor de corrección de 108.23% que aumenta el caudal para un vertedero triangular de  $90^\circ$ , el mismo se origina debido al cambio de un flujo subcrítico a un flujo super crítico que produce el vertedero.
- El valor del coeficiente de contracción  $u$ , se obtuvo mediante un promedio desde 1 giro hasta 8 giros de válvula, se debe observar que el vertedero presente una descarga aireada, a 0.5 giros de válvula, no se da esta condición, razón por la cual no se toma en cuenta para los cálculos del coeficiente de contracción  $u$ .
- Se concluye un valor para el coeficiente de contracción  $u$  para el vertedero triangular de  $90^\circ$  de 0.77, y un valor para el coeficiente de contracción  $u$  para el vertedero triangular de  $60^\circ$  de 0.76.
- El uso de los límites de aplicación, ha sido de vital importancia para comprender el resultado de los ensayos y darle significado.

**4.2.10 Orificio.**

Se plantea obtener valores para el coeficiente de descarga  $C_d$ , de un orificio con descarga libre y con descarga sumergida, a partir de la práctica “FLUJO A TRAVÉS DE UN ORIFICIO CON DESCARGA LIBRE Y SUMERGIDA”:

**Tabla 12**

*Coefficiente de descarga para orificio con descarga libre y sumergida*

<b>Factor de Corrección</b>	98,96%	<b>D (m)</b>	0,045			
<b>Orificio - Descarga libre</b>						
<b>Giros de válvula</b>	<b>Q (ltr/s)</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Área(m2)</b>	<b>Y1 = H (m)</b>	<b>Cd</b>
1	1,14	0,00114	0,00113	0,00159	0,03	0,92539027
1,5	2,31	0,00231	0,00229	0,00159	0,115	0,95767108

<b>Cd - general</b>	<b>0,942</b>
---------------------	--------------

<b>Factor de Corrección</b>	92,91%	<b>D (m)</b>	0,045	<b>Barrera (cm)</b>	15			
<b>Orificio - Descarga sumergida</b>								
<b>Giros de válvula</b>	<b>Q (ltr/s)</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Área(m2)</b>	<b>Y1 (m)</b>	<b>Y2 (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Cd</b>
1	1,14	0,00114	0,00106	0,00159	0,132	0,083	0,049	0,68

<b>Cd - general</b>	<b>0,680</b>
---------------------	--------------

**Observaciones:**

- Es necesario esperar un tiempo prudente cuando se realiza un cambio en el número de giros de válvula para que el caudal se estabilice y se pueda tomar las medidas con el calibrador.
- El factor de corrección de caudal se obtuvo a partir de realizar una nueva medición para el caudal de 1 giro de válvula para el caso de orificio con descarga libre y sumergida.
- Para el caso de orificio, se obtuvo un factor de corrección que disminuye el caudal, el mismo se origina debido a la retención del flujo aguas arriba.
- Para la medición del tirante H, se hizo uso de un calibrador y de un piezómetro que hace parte del canal.

### 4.3 Recopilación de resultados.

**Tabla 13**

*Resultados de las prácticas de laboratorio*

Valores Obtenidos en las Prácticas de Laboratorio																					
N°	Práctica	Descripción	Q (ltrs/s) - Giros de Válvula	Valor Calculado Prácticas		Valor Medido		hL - Kinnhmer		u - Rehbock		u - Hegly		u - SIAS		u - Hamilton Smith		u - Barr		u - Heyndrick	
1	Flujo Uniforme	n de Manning	Promedio AV (1, 1.5, 2)	0,008	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Rejilla	Pérdida de energía hL	3,81	-	-	1,2	cm	1,54	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Vertedero de pared delgada	Coefficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,812	adim	-	-	-	-	0,658	adim	0,73	adim	0,645	adim	-	-	-	-	-	
4	Vertedero con 2 contracciones	Coefficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,84	adim	-	-	-	-	-	-	0,66	adim	0,632	adim	0,585	adim	-	-	-	
5	Vertedero de pared gruesa	Coefficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,674	adim	-	-	-	-	0,661	adim	0,72	adim	0,656	adim	-	-	-	-	-	
6	Compuerta plana	Coefficiente de descarga Cd	Promedio AV (1-3)	0,788	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	Compuerta con resalto hidráulico	Tirante Y2	3,8	7,64	cm	6,9	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Compuerta con resalto hidráulico	Longitud del resalto	3,8	39,28	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	Vertedero tipo USBR	Coefficiente C	3,81	3,18	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Vertedero tipo USBR	Coefficiente C	3,92	3,12	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	Vertedero triangular 60°	Coefficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,77	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	adim	
	Vertedero triangular 90°	Coefficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,76	adim	-	-	-	-	-	-	0,66	adim	-	-	-	-	0,59	adim	-	
10	Orificio con descarga libre	Coefficiente de descarga Cd	Promedio AV (1, 1.5)	0,94	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Orificio con descarga sumergida	Coefficiente de descarga Cd	1,06	0,68	adim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

## CAPÍTULO V

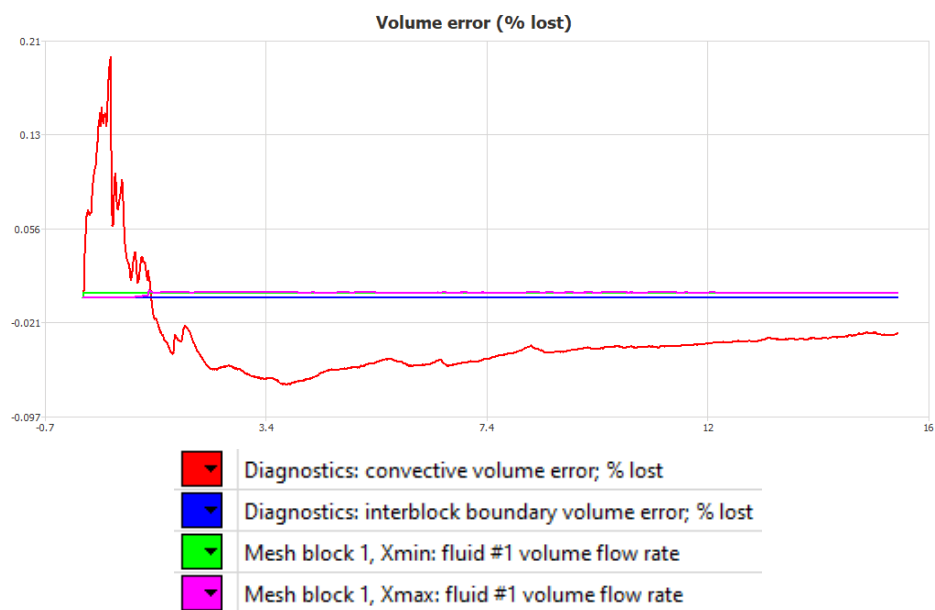
### ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS ESCENARIOS IMPUESTOS AL CANAL RECTANGULAR

#### 5.1 Modelamiento numérico en Flow 3D

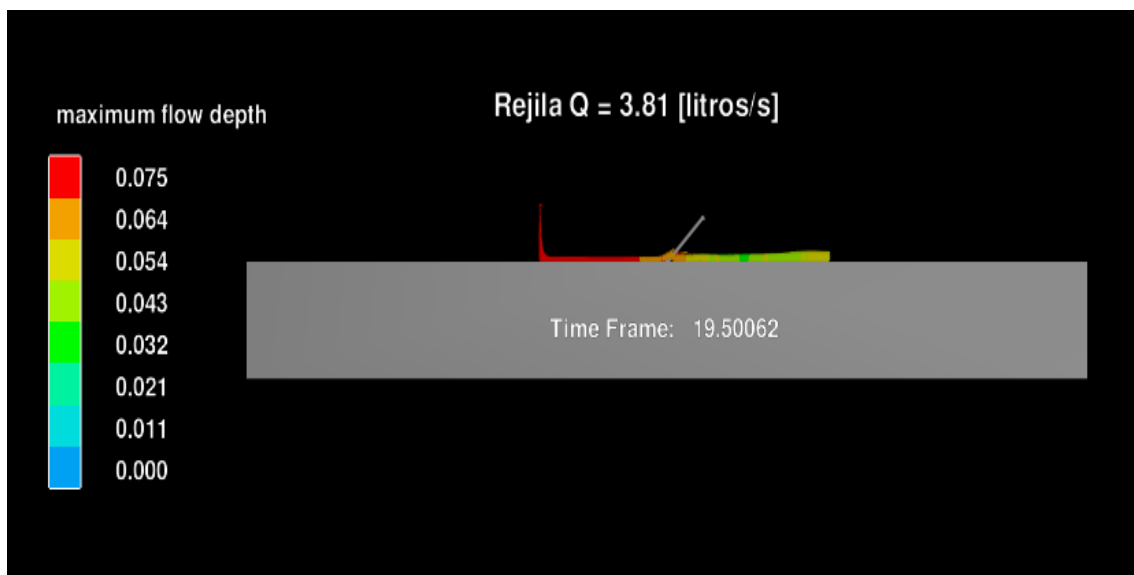
##### 5.1.1 Rejilla.

**Figura 16**

*Resultado Flow 3D para Rejilla.*



$$Q = 3.81 \text{ [ltrs/s]}$$



**Tabla 14**

*Resultado Flow 3D para Rejilla*

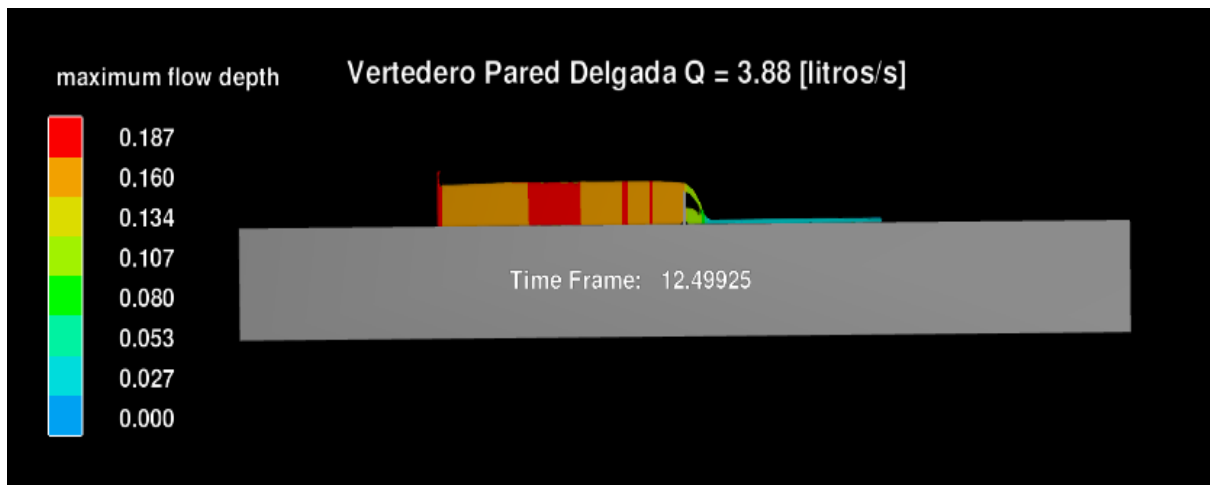
y1 [cm]	y2 [cm]	hL [cm]
6,4	5,4	1,0

### 5.1.2 Vertedero rectangular de pared delgada.

**Figura 17**

*Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q1.*

$$Q1 = 3.88 \text{ [ltrs/s]}$$



**Tabla 15**

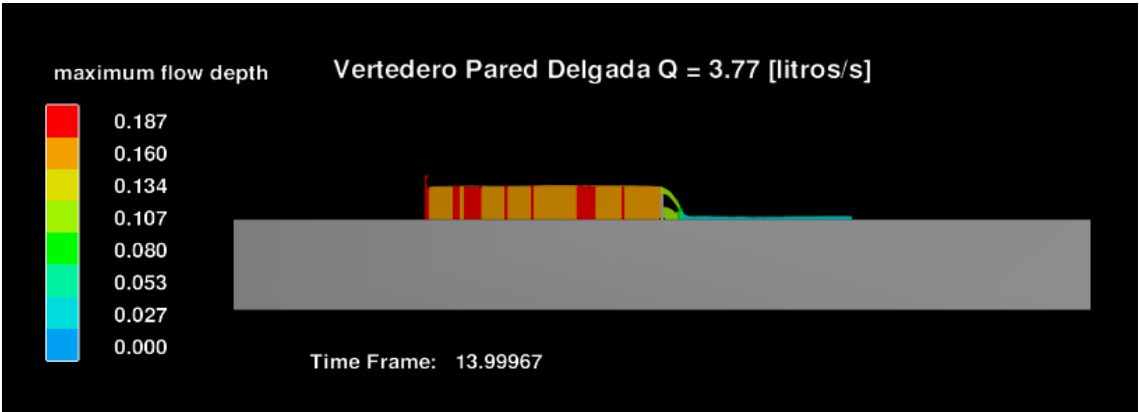
*Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q1.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
3,88	0,00388	4,0	0,040	0,821

**Figura 18**

*Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q2.*

$Q2 = 3.77 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 16**

*Resultado Flow 3D para Vertedero de pared delgada Q2.*

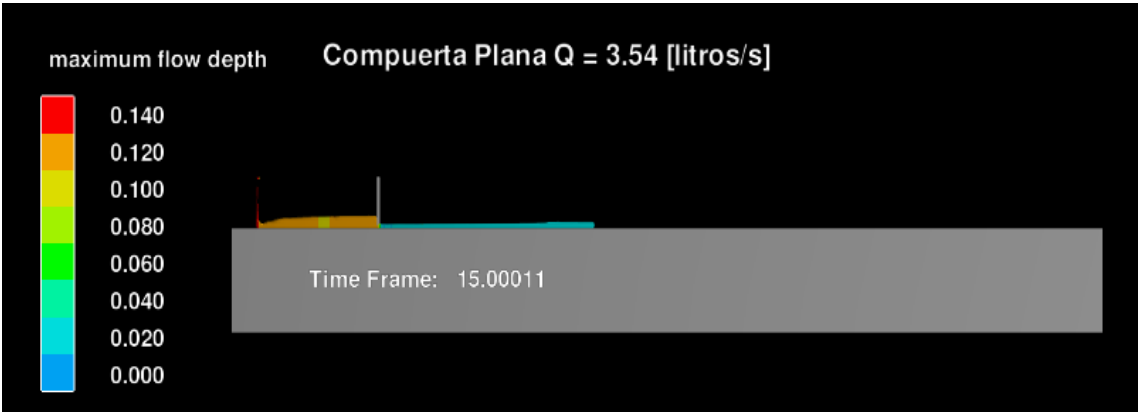
Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
3,77	0,00377	4,00	0,040	0,798

**5.1.3 Compuerta plana.**

**Figura 19**

*Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q1.*

$Q1 = 3.54 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 17**

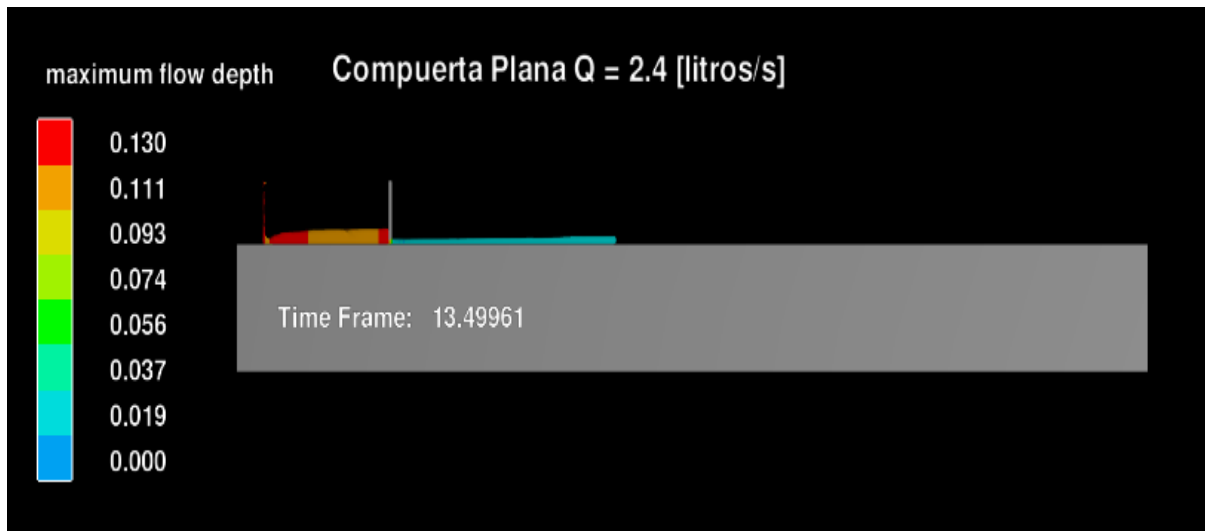
*Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q1.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	a (m)	Y1 (m)	Cd
3,54	0,0035386	0,01	0,12	1,15

**Figura 20**

*Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q2.*

$$Q2 = 2.4 \text{ [ltrs/s]}$$



**Tabla 18**

*Resultado Flow 3D para Compuerta plana Q2.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	a (m)	Y1 (m)	Cd
2,40	0,0024	0,01	0,111	0,81



5.1.4 Compuerta con resalto hidráulico.

Figura 21

Resultado Flow 3D para Compuerta plana con Resalto Hidráulico.

$Q = 3.8 \text{ [ltrs/s]}$

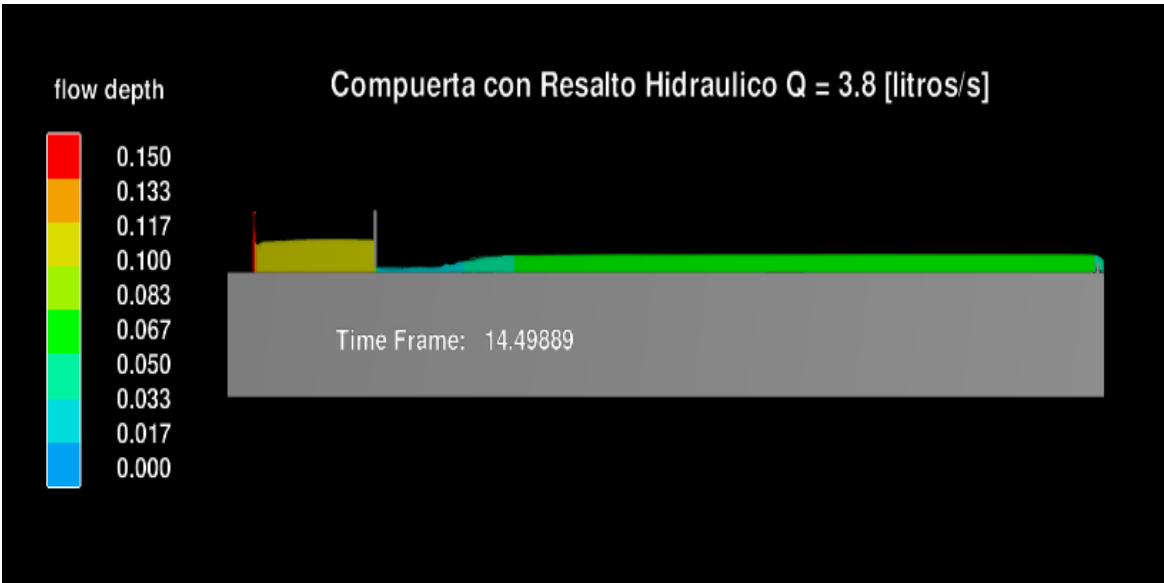


Tabla 19

Resultado Flow 3D para Compuerta plana con Resalto Hidráulico.

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	Y2 - Flow 3D (cm)
3,8	0,0038	6,7000

5.1.5 Vertedero pared gruesa.

Figura 22

Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q1.

$Q1 = 4.02 \text{ [ltrs/s]}$

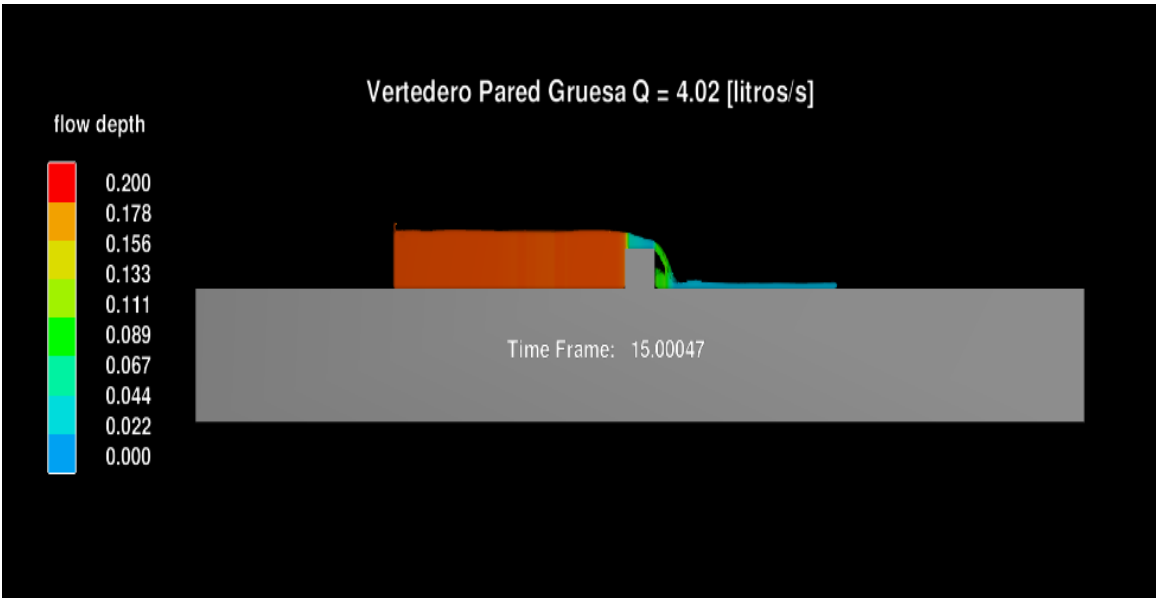


Tabla 20

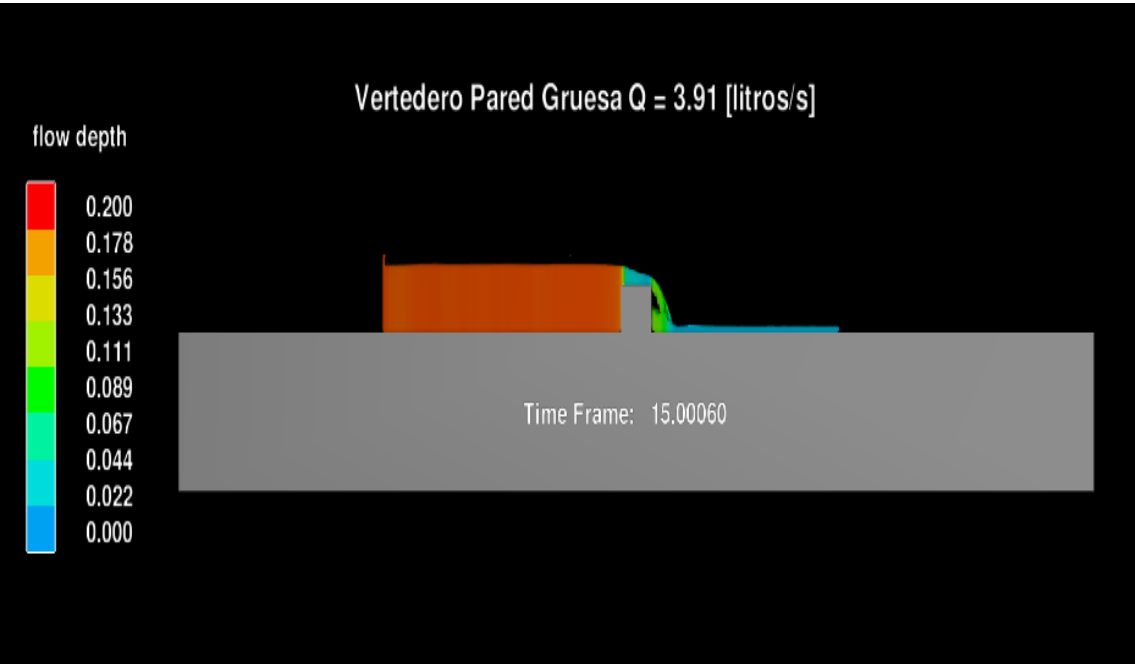
Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q1.

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	e/H	0,67 < e/H < 3	e/H > 3	u
4,02	0,00402	5,80	0,058	2,069	0,789	0,798	0,617

**Figura 23**

*Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q2.*

$Q2 = 3.91 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 21**

*Resultado Flow 3D para Vertedero de Pared Gruesa Q2.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	e/H	0,67 < e/H < 3	e/H > 3	u
3,91	0,00391	5,80	0,058	2,069	0,789	0,798	0,600

5.1.6 Vertedero rectangular con 2 contracciones.

Figura 24

Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q1.

$Q1 = 2.51 \text{ [ltrs/s]}$

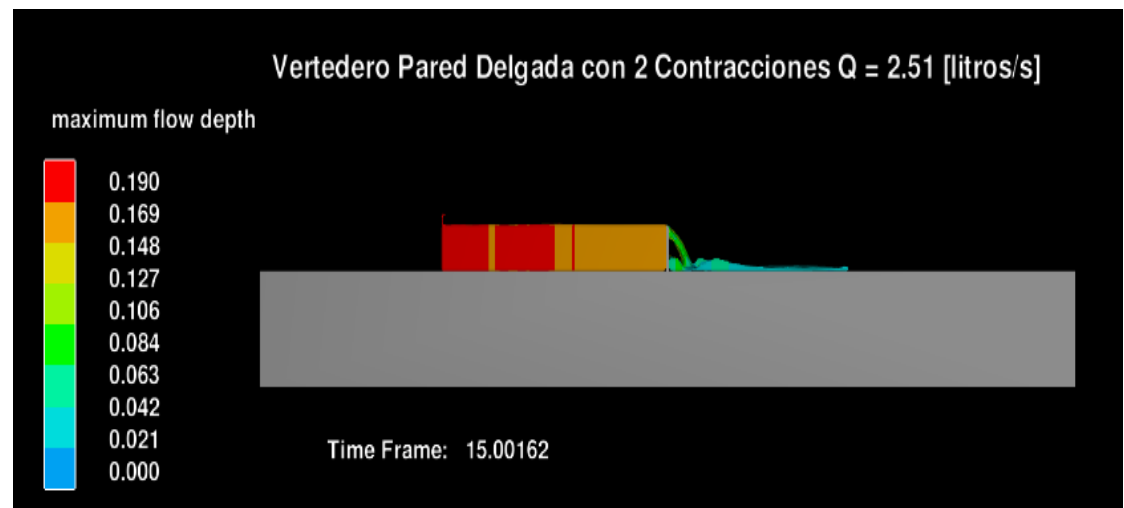


Tabla 22

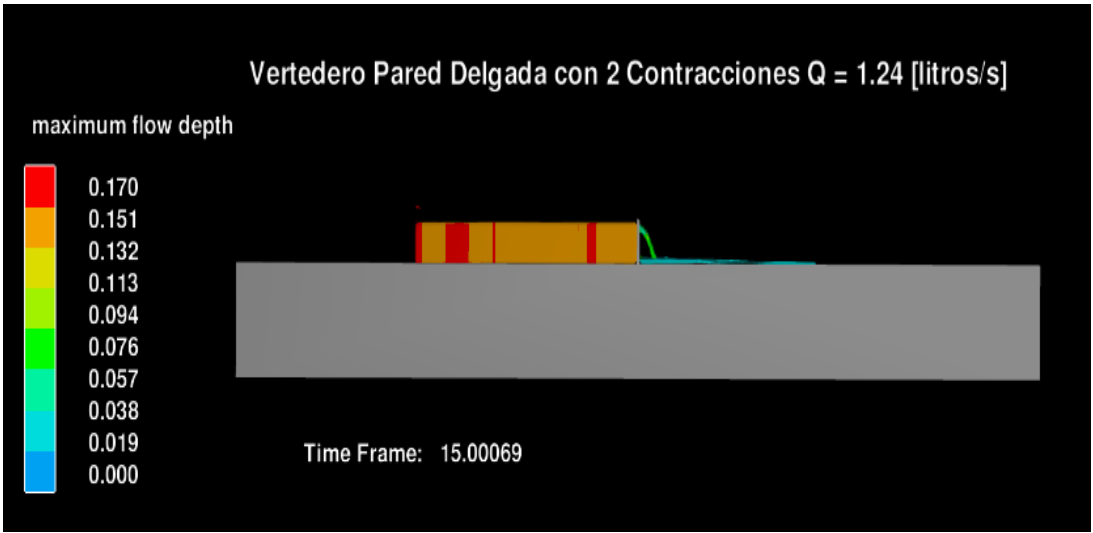
Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q1.

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
2,51	0,00251	4,90	0,049	0,784

**Figura 25**

*Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q2.*

$Q2 = 1.24 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 23**

*Resultado Flow 3D para Vertedero con 2 Contracciones Q2.*

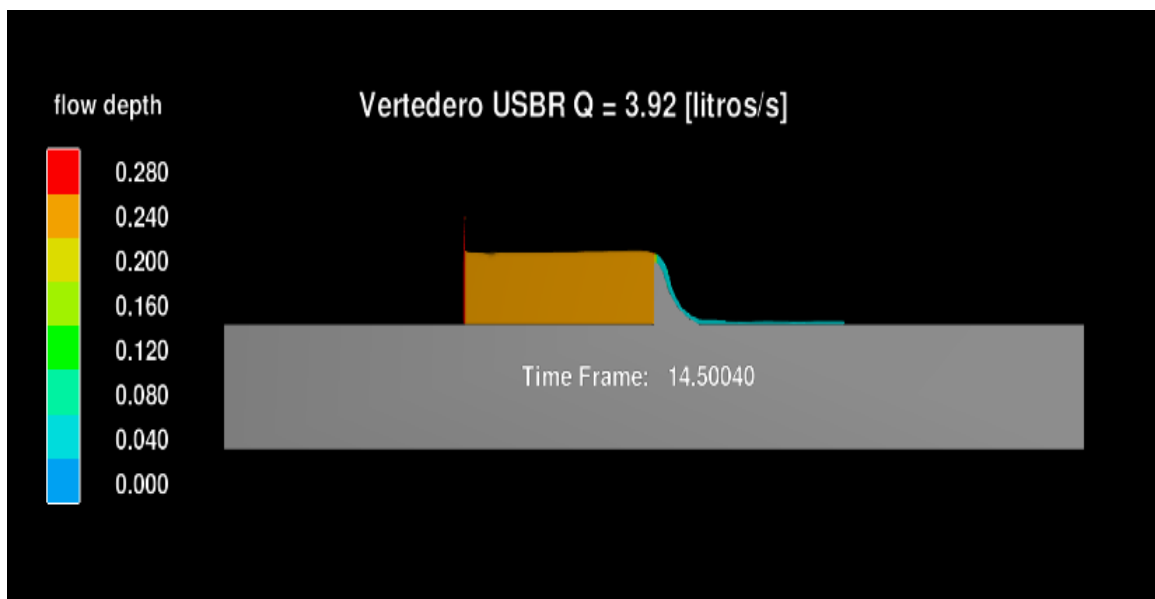
Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
1,24	0,00124	3,10	0,031	0,769

### 5.1.7 Vertedero perfil USBR.

**Figura 26**

*Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q1.*

$$Q1 = 3.92 \text{ [ltrs/s]}$$



**Tabla 24**

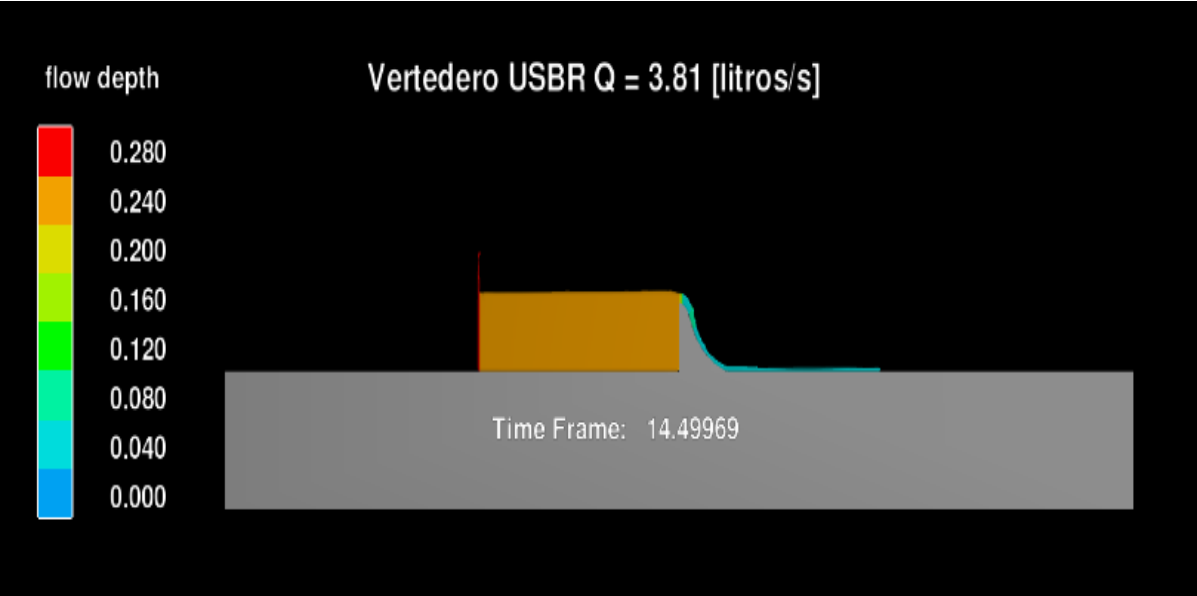
*Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q1.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	Ho (cm)	Ho (m)	Paramento (m)	q = Q/b	C
3,92	0,00392	4,0	0,040	0,200	0,020	2,45

**Figura 27**

*Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q2.*

$Q2 = 3.81 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 25**

*Resultado Flow 3D para Vertedero USBR Q2.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	Ho (cm)	Ho (m)	Paramento (m)	q = Q/b	C
3,81	0,00381	4,0	0,040	0,200	0,019	2,38

5.1.8 Vertedero triangular.

Figura 28

Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q1.

$Q1 = 3.89 \text{ [ltrs/s]}$

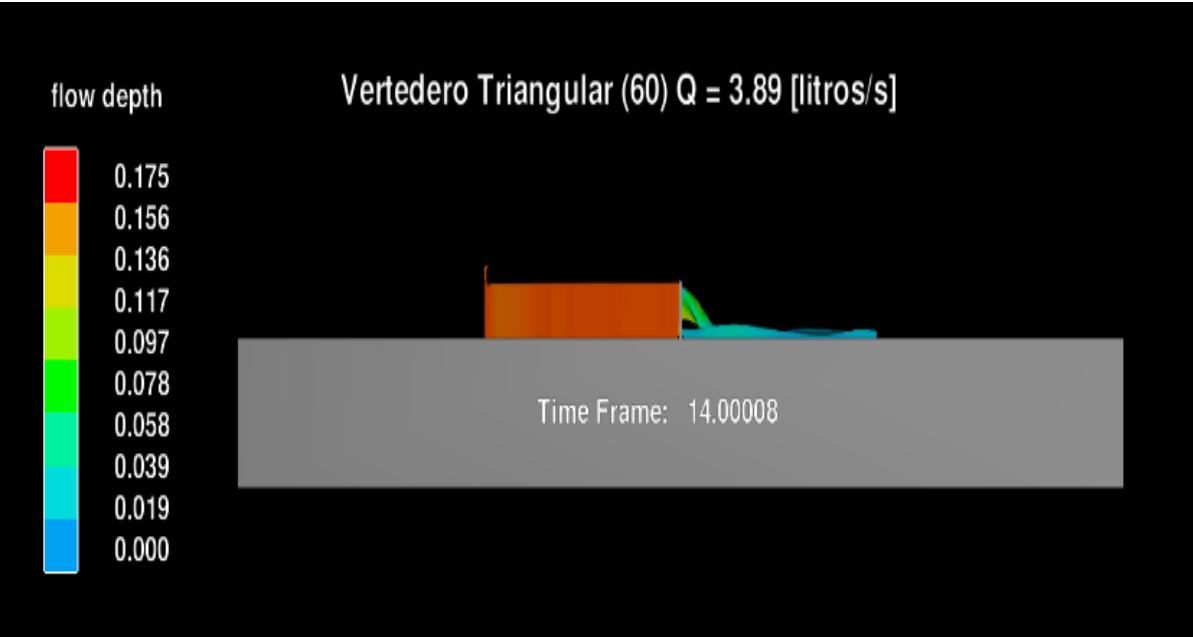


Tabla 26

Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q1.

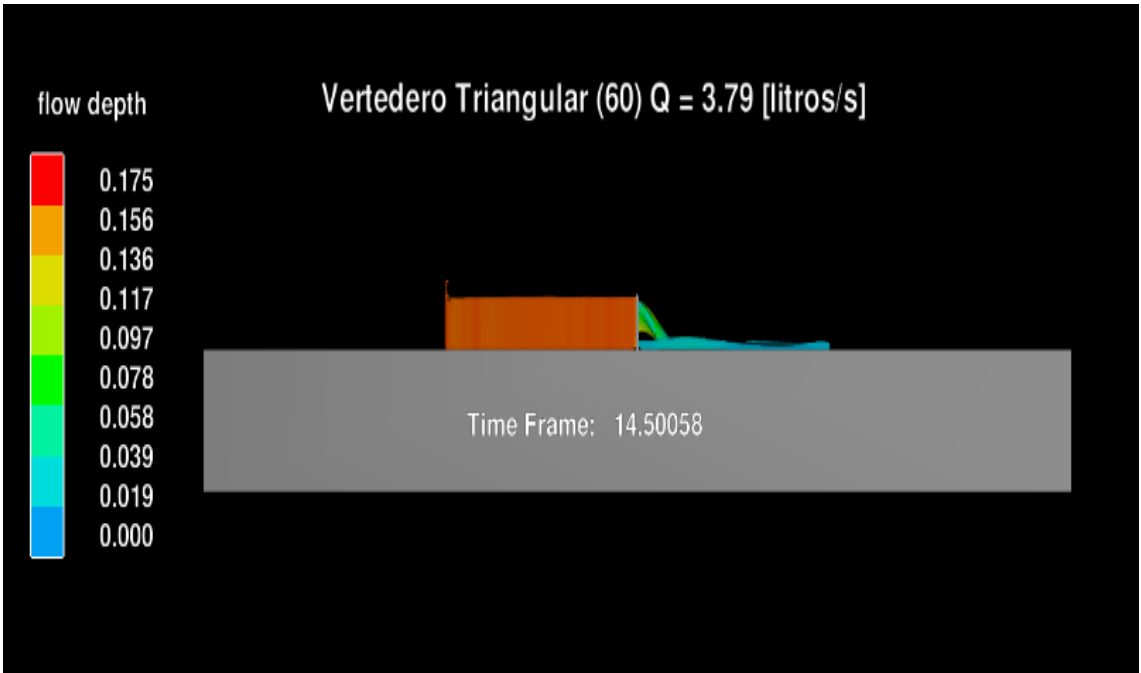
Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
3,89	0,00389	10,40	0,104	0,818



**Figura 29**

*Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q2.*

$Q2 = 3.79 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 27**

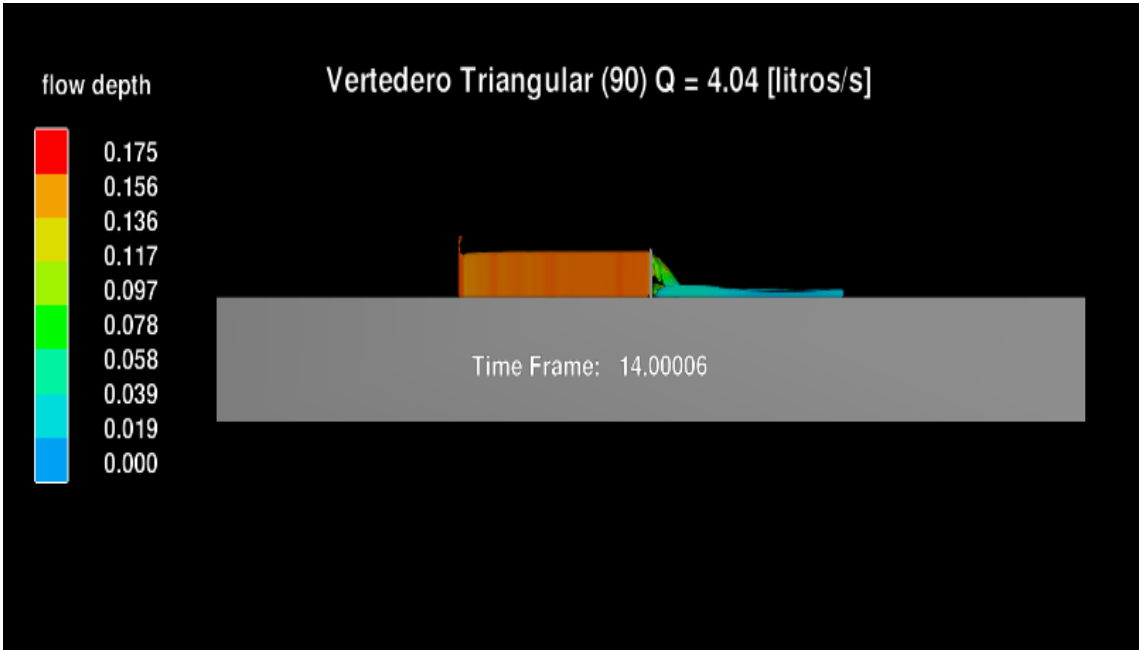
*Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 60° Q2.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
3,79	0,00379	10,40	0,104	0,797

**Figura 30**

*Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q1.*

$Q1 = 4.04 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 28**

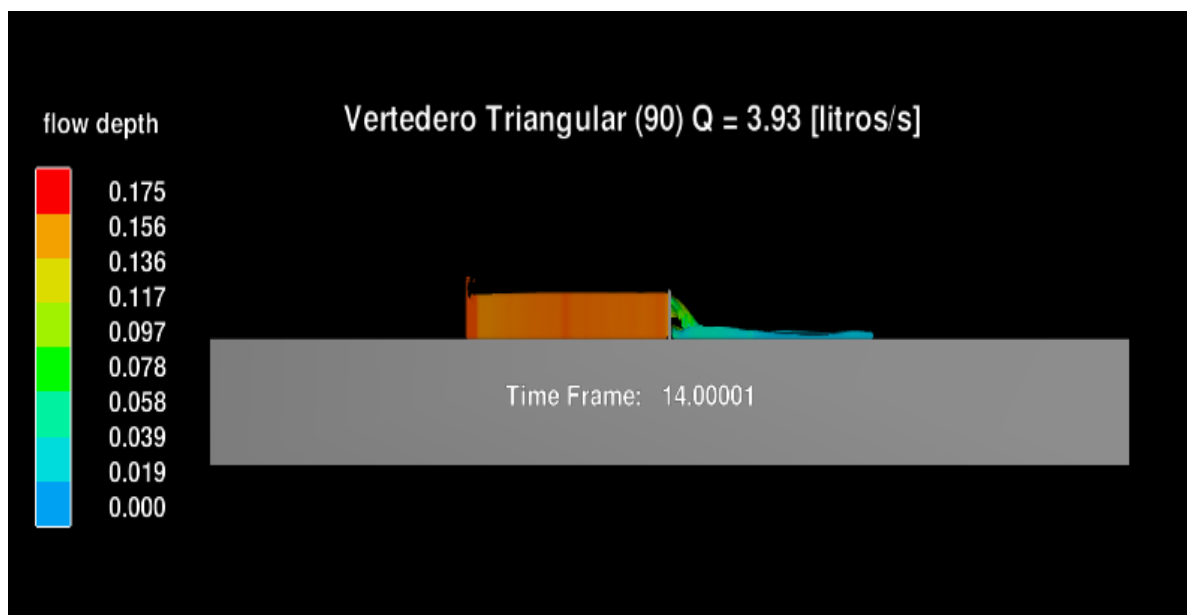
*Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q1.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
4,04	0,00404	8,60	0,086	0,788

**Figura 31**

*Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q2.*

$$Q2 = 3.93 \text{ [ltrs/s]}$$



**Tabla 29**

*Resultado Flow 3D para Vertedero triangular 90° Q2.*

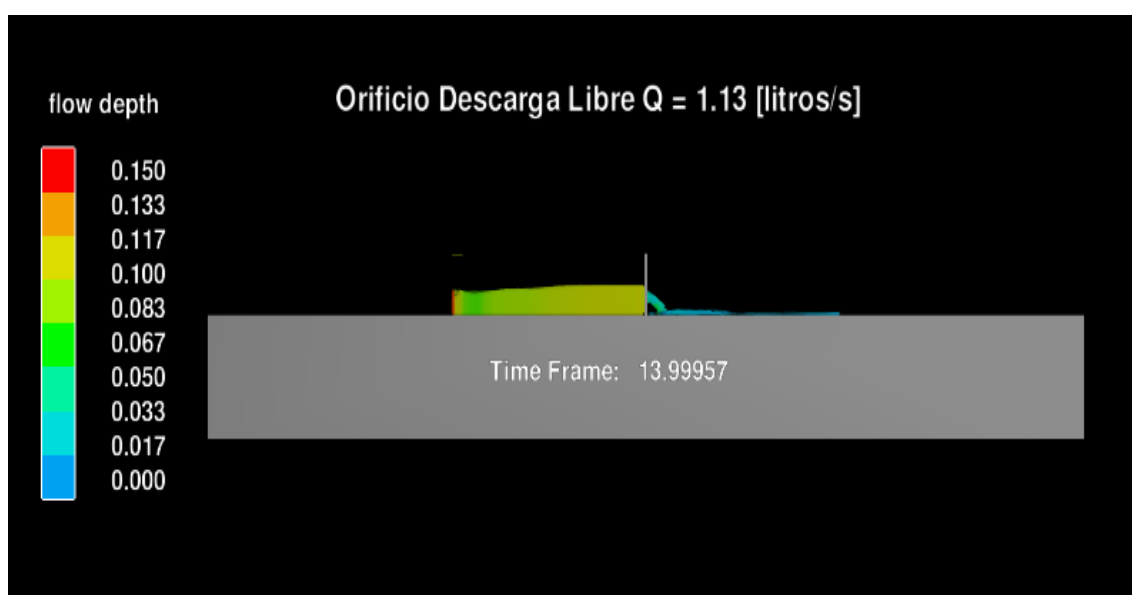
Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
3,93	0,00393	8,60	0,086	0,767

### 5.1.9 Orificio.

**Figura 32**

*Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Libre.*

$$Q_2 = 1.13 \text{ [ltrs/s]}$$



**Tabla 30**

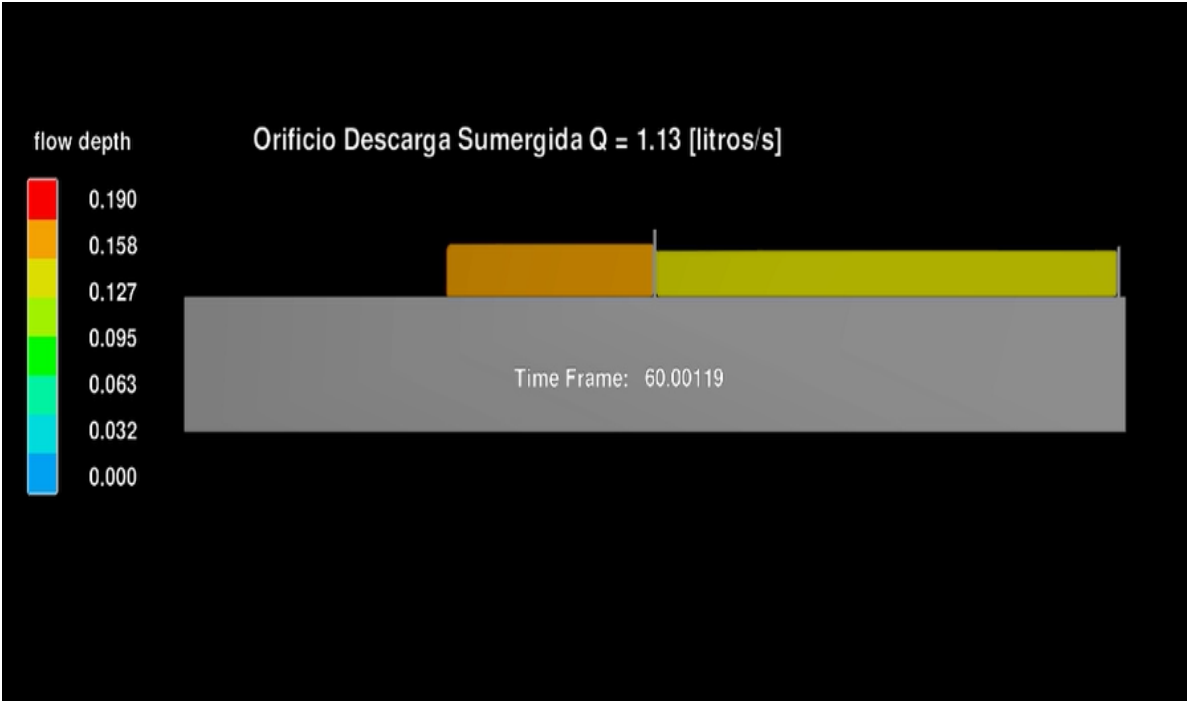
*Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Libre.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	Área(m2)	Y1 = H (m)	Cd
1,13	0,00113	0,00159	0,032	0,897

**Figura 33**

*Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Sumergida.*

$Q2 = 1.13 \text{ [ltrs/s]}$



**Tabla 31**

*Resultado Flow 3D para Orificio con Descarga Sumergida.*

Q corregido (litros/s)	Q (m3/s)	Área(m2)	Y1 (m)	Y2 (m)	H (m)	Cd
1,13000	0,00113	0,00159	0,158	0,127	0,031	0,91

## 5.2 Recopilación de resultados.

**Tabla 32**

*Recopilación de resultados Flow 3D.*

Valores Obtenidos a partir del software Flow 3D					
N°	Práctica	Descripción	Q (litros/s)	Valor Flow 3D	
1	Rejilla	Pérdida de energía hL	3,81	1,00	cm
2	Vertedero de pared delgada	Coeficiente de contracción u	3,88	0,82	adim
3	Vertedero con 2 contracciones	Coeficiente de contracción u	2,51	0,78	adim
4	Vertedero de pared gruesa	Coeficiente de contracción u	4,02	0,62	adim
5	Compuerta plana	Coeficiente de descarga Cd	3,54	1,15	adim
6	Compuerta con resalto hidráulico	Tirante Y2	3,8	6,70	cm
7	Vertedero tipo USBR	Coeficiente C	3,92	2,45	adim
8	Vertedero triangular 60°	Coeficiente de contracción u	3,89	0,82	adim
	Vertedero triangular 90°	Coeficiente de contracción u	4,04	0,79	adim
9	Orificio con descarga libre	Coeficiente de descarga Cd	1,13	0,90	adim
	Orificio con descarga sumergida	Coeficiente de descarga Cd	1,13	0,91	adim

## CAPÍTULO VI

### RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1 Recopilación de resultados del análisis empírico, analítico y numérico.

**Tabla 33**

*Recopilación de resultados final.*

Recopilación de Resultados								
N°	Práctica	Descripción	Q (litros/s) - Giros de Válvula	Valor Obtenido Ensayos		Q (litros/s)	Valor Flow 3D	
1	Flujo Uniforme	n de Manning	Promedio AV (1, 1.5, 2)	0,008	adim	-	-	-
2	Rejilla	Pérdida de energía hL	3,16	1,1	cm	3,81	1,00	cm
3	Vertedero de pared delgada	Coeficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,812	adim	3,88	0,82	adim
4	Vertedero con 2 contracciones	Coeficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,84	adim	2,51	0,78	adim
5	Vertedero de pared gruesa	Coeficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,674	adim	4,02	0,62	adim
6	Compuerta plana	Coeficiente de descarga Cd	Promedio AV (1-3)	0,788	adim	3,54	1,15	adim
7	Compuerta con resalto hidráulico	Tirante Y2	3,8	6,9	cm	3,8	6,70	cm
	Compuerta con resalto hidráulico	Longitud del resalto	3,8	39,28	cm	-	-	-
8	Vertedero USBR	Coeficiente de C	3,81	3,18	adim	3,81	2,38	adim
	Vertedero USBR	Coeficiente de C	3,92	3,12	adim	3,92	2,45	adim
9	Vertedero triangular 60°	Coeficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,77	adim	3,89	0,82	adim
	Vertedero triangular 90°	Coeficiente de contracción u	Promedio AV (1-8)	0,76	adim	4,04	0,79	adim
10	Orificio con descarga libre	Coeficiente de descarga Cd	Promedio AV (1, 1.5)	0,94	adim	1,13	0,90	adim
	Orificio con descarga sumergida	Coeficiente de descarga Cd	1,06	0,68	adim	1,13	0,91	adim

## CONCLUSIONES

Se pudo obtener un valor general empírico para el coeficiente de Manning de 0,008, a partir de la ecuación general de canales rectangulares considerando flujo uniforme.

En la práctica de rejilla, para hallar el valor de la pérdida, se mide la diferencia de cotas aguas arriba y aguas abajo (1.1cm) y, se contrasta con el valor de la pérdida teóricamente, haciendo uso de la expresión de Kínhmmer (1.54cm), igualmente, mediante el método numérico se obtuvo un valor de pérdida de 1.0cm para un caudal de 3.81 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de contracción  $u$  del vertedero de pared delgada de 0.812, también, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de contracción  $u$  de 0.82 para un caudal de 3.88 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de contracción  $u$  del vertedero de pared delgada con 2 contracciones de 0.84, además, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de contracción  $u$  de 0.78 para un caudal de 2.51 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de contracción  $u$  del vertedero de pared gruesa de 0.67, igualmente, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de contracción  $u$  de 0.62 para un caudal de 4.02 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de descarga  $C_d$  para la compuerta plana de 0.788, además, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de descarga  $C_d$  de 1.15 para un caudal de 3.54 [ltrs/s].

En la práctica de resalto hidráulico sometido a un caudal  $Q$  de 3.8 ltrs/s, se midió con ayuda de un calibrador en el canal un valor para el tirante  $Y_2$  de 6.9cm. En el canal no fue posible la medición de la longitud del resalto debido a la velocidad del flujo, sin



embargo, se utilizó la ecuación de Smetana para obtener su valor (39.8cm para un caudal de 3.8ltrs/s), igualmente, mediante el método numérico se obtuvo un valor para el tirante Y2 de 6.7cm para un caudal de 3.8 [ltrs/s].

En la práctica para el vertedero de perfil USBR se obtuvo un valor para el coeficiente C de 3.18 (para un caudal Q de 3.8 ltrs/s) y 3.12 (para un caudal Q de 3.92 ltrs/s), se debe tomar en cuenta que la altura del canal y del paramento del vertedero tienen el mismo valor 20cm, lo cual afecta el valor de los resultados a obtener, de la misma manera, mediante el método numérico, se obtuvo un valor para el coeficiente C de 2.45 para un caudal de 3.92 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de contracción u del vertedero triangular de 60° de 0.77, igualmente, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de contracción u de 0.82 para un caudal de 3.89 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de contracción u del vertedero triangular de 90° de 0.76, además, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de contracción u de 0.79 para un caudal de 4.04 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de descarga Cd para el orificio con descarga libre de 0.94, además, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de descarga Cd de 0.9 para un caudal de 1.13 [ltrs/s].

Se concluye un valor para el coeficiente de descarga Cd para el orificio con descarga sumergida de 0.68, además, mediante el método numérico se obtuvo un valor de coeficiente de descarga Cd de 0.91 para un caudal de 1.13 [ltrs/s].

## RECOMENDACIONES

Se debe observar que el vertedero presente una descarga aireada, a 0.5 giros de válvula, no se da esta condición, razón por la cual no se toma en cuenta para los cálculos del coeficiente de contracción  $u$ .

En el canal no fue posible obtener ciertos resultados por medición en el canal, sin embargo, se utilizaron expresiones teóricas para obtener el valor deseado.

Es necesario esperar un tiempo prudente cuando se realiza un cambio en el número de giros de válvula para que el caudal se estabilice y se pueda tomar las medidas con el calibrador.

El uso de los límites de aplicación para las expresiones de varios autores, han sido de vital importancia para comprender el resultado de los ensayos y darles significado.

Para tomar medidas, se recomienda que el trayecto del agua se asemeje a un flujo uniforme para poder realizar la medición, puesto que, mientras más aumente el caudal, el flujo se volverá más inestable.

No se recomienda incrementar la pendiente puesto que aumenta la velocidad y, por lo tanto, no se puede visualizar de mejor manera el fenómeno y realizar el estudio del caso.

## REFERENCIAS

- Armijos, P. (2018). *Diseño de canales abiertos* (1.<sup>a</sup> ed.). Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L. <https://doi.org/10.17993/IngyTec.2018.43>
- Ávila, G. S. (2015). *Hidráulica general: Fundamentos. Vol. 1* (1.<sup>a</sup> ed.). LIMUSA.
- Cadavid, R. (2006). *Hidráulica de canales: fundamentos* (1.<sup>a</sup> ed.). Editorial Universidad EAFIT.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (1.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Díaz, J. (2006). *Mecánica de los fluidos e hidráulica* (1.<sup>a</sup> ed.). Universidad del Valle.
- Eduard, N. (2015). *Hidráulica de Canales* (1.<sup>a</sup> ed.). Editorial Limusa.
- French, R. (1988). Desarrollo de los conceptos de flujo uniforme. En *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 111–115). McGraw-Hill Inc.
- French, R. (1988). Principio de energía. En *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 44–59). McGraw-Hill Inc.
- Lux, M. (2010). *MEDIDORES DE FLUJO EN CANALES ABIERTOS* [Tesis de grado, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.].
- Méndez, M. (2001). *Elementos de hidráulica de canales* (1.<sup>a</sup> ed.). Universidad Católica Andrés Bello.
- Ochoa, J. (Ed.). (2011). *ANÁLISIS y REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS REJILLAS DE CAPTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO: MARINILLA, SANTA FE DE ANTIOQUIA Y EL CAPIRO OPERADOS POR CONHYDRA E.S.P.* [Libro electrónico]. En *ANÁLISIS Y*

REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS REJILLAS DE  
CAPTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 3, p. 21).

Pardo, R. (2011). *Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras de Toma para Presas* (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 1, pp. 42–54). Félix Varela.

Pérez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras* (Primera edición: Bogotá Octubre del 2013 ed., Vol. 1). Ecoe ediciones.

Ramon, D. S. J. (2013). *Hidráulica Aplicada: Maquinas Hidráulicas, Tuberías y Canales* (Illustrated ed.). Eae Editorial Academia Española.

Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales* (1.<sup>a</sup> ed.). Editorial UNIEDUNI.

Villón, M. (2008). *Hidráulica de canales* (2.<sup>a</sup> ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

United States Bureau of Reclamation. (1987). *Design of Small Dams* (3.<sup>a</sup> ed.). United States Government Printing.

**ANEXOS**  
**LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA**

**GUÍA DE PRÁCTICA # 1**

**AFORO VOLUMÉTRICO**

**1. Objetivo de la práctica:**

- Obtener un aforo volumétrico, mediante ensayos en el canal rectangular, con el fin de conseguir una tabla de referencia para el caudal que pasa para cada medio giro de válvula.

**2. Componentes:**



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



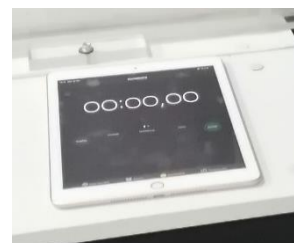
Cinta amarilla y Bomba de agua



Balde de aforo



Cinta métrica/regla



Cronómetro

**3. Procedimiento:**

- Haciendo uso de la cinta amarilla, con la cinta métrica, marcar un nivel de agua inicial en el tanque donde se encuentra la bomba, asimismo, marcar el nivel de agua en el balde y tanque donde se medirá el volumen.
- Abrir la válvula cada 0.5 giros y medir el tiempo que tarda en llenarse el volumen marcado.
- Obtener las dimensiones del balde de aforo (alto, diámetro) y calcular el volumen (marcar con cinta la altura en el balde de aforo).

- Abrir la válvula al número de vuelta indicado y medir el tiempo que tarda en llenarse el volumen marcado.
- Repetir el proceso de aforo mínimo 3 veces para cada medio giro.
- Obtener el aforo volumétrico cada medio giro de válvula en el canal rectangular.

$$Q = \frac{\text{Volumen balde}}{\text{Tiempo medido}} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

- Realizar una gráfica (Número de giros vs Caudal Q).

#### 4. Resultados obtenidos en la práctica:

Volumen del balde:

m3

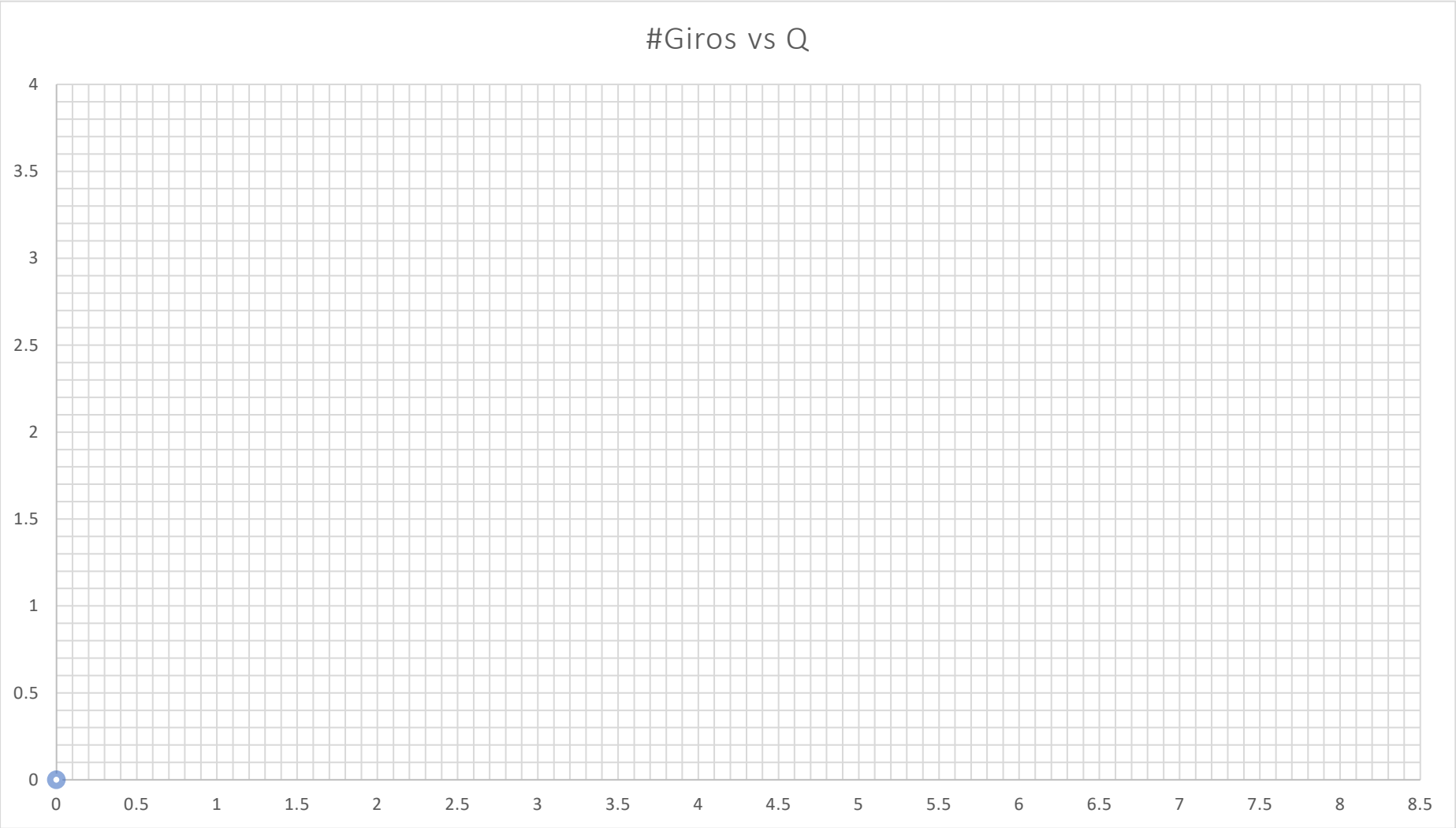
Llenar la tabla presentada con los valores medidos en el laboratorio.

Giros de válvula	Experimento	Volumen (cm3)	Volumen (m3)	Medida con Cronómetro	Q (m3/s)	Q (litr/s)
				Tiempo (segundos)		
0,5	1					
	2					
	3					
1	1					
	2					
	3					
1,5	1					
	2					
	3					
2	1					
	2					
	3					
2,5	1					
	2					
	3					
3	1					
	2					
	3					
3,5	1					
	2					
	3					
4	1					
	2					
	3					
4,5	1					
	2					
	3					
5	1					
	2					
	3					

5,5	1					
	2					
	3					
6	1					
	2					
	3					
6,5	1					
	2					
	3					
7	1					
	2					
	3					
7,5	1					
	2					
	3					
8	1					
	2					
	3					

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

Gráfico Giros de válvula vs Caudal





### 5. Preguntas:

- ¿Cuáles es el caudal máximo y mínimo según el aforo volumétrico que acaba de realizar?

.....

.....

.....

- ¿A partir de qué número de vuelta se presenta una variación prácticamente nula del caudal? ¿Por qué?

.....

.....

.....

- ¿Se puede tomar como valor de referencia el caudal resultante de 0,5 giros de válvula para futuras prácticas? ¿Por qué?

.....

.....

.....

### 6. Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

## GUÍA DE PRÁCTICA # 2

### FLUJO UNIFORME

#### 1. Objetivo de la práctica:

- Obtener empíricamente el coeficiente de Manning, realizando ensayos a caudales y pendientes diferentes, con el fin de aplicar las ecuaciones generales a flujo uniforme en el canal rectangular.

#### 2. Marco Teórico:

Se considera que un flujo es uniforme cuando su profundidad es la misma en cada sección del canal, puede haber:

- Flujo uniforme permanente, cuando la profundidad no cambia a lo largo del canal en un intervalo de tiempo.
- Flujo uniforme no permanente, cuando la profundidad cambia a lo largo del canal en un intervalo de tiempo.

Se debe tomar en cuenta que un flujo uniforme no puede ocurrir a velocidades altas y en la mayoría de casos se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = \frac{A}{n} * R h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [1]$$

#### Número de Froude

El régimen de flujo está definido por el número de Froude y este a su vez se define como las fuerzas de inercia sobre las fuerzas de gravedad.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * h}} \quad [2]$$

Si  $Fr=1$ , el flujo se denomina crítico.

Si  $Fr<1$ , el flujo se denomina subcrítico [velocidades pequeñas].

Si  $Fr>1$ , el flujo se denomina supercrítico [velocidades altas].

### Fórmula de Chezy para flujo uniforme en canales

$$V = C * \sqrt{Rh * S} \quad [3]$$

### Coefficiente de rigurosidad de Manning

El coeficiente de Manning expresa la cantidad de resistencia al movimiento del agua, toma en cuenta muchos factores como el caudal, régimen de circulación, etc.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [4]$$

Siendo:

V: velocidad en m/s

Q: caudal en m<sup>3</sup>/s

A: Área del canal en m<sup>2</sup>

C: coeficiente de Chezy

n: coeficiente de rigurosidad de Manning

Rh: radio hidráulico

S: pendiente

g: gravedad

h: tirante de agua

### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Medidor de precisión



Cinta amarilla y Bomba de agua



Regulador de pendiente

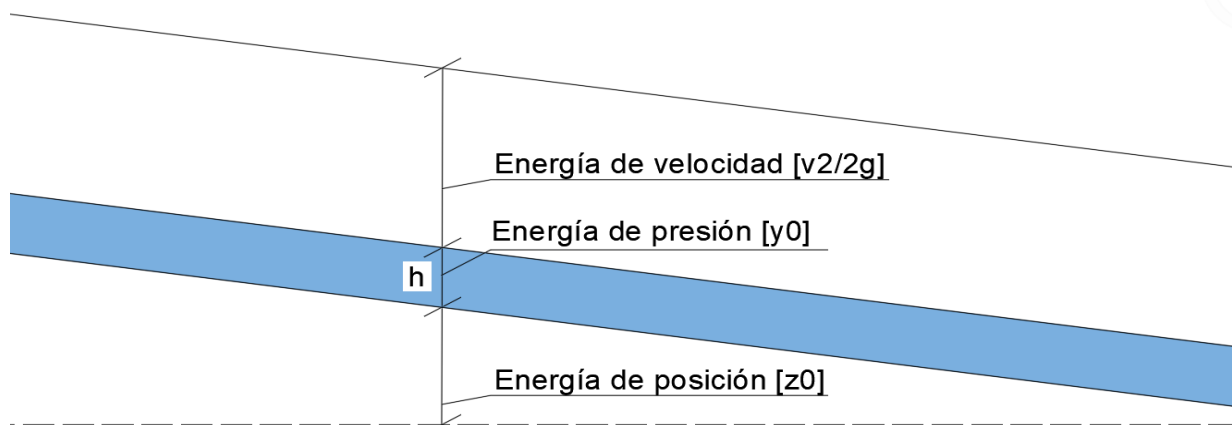
#### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Obtener los resultados de la práctica de aforo volumétrico.
- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada desde la práctica de aforo volumétrico.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes (hacer uso de 1, 1.5 y 2 giros de válvula).
- Fijar la pendiente en el canal utilizando el regulador de pendiente (usar al menos 3 pendientes diferentes para la práctica).

$$S_o = \frac{\Delta Z}{\Delta X}, \text{ siendo } \Delta X = 3.6\text{m}$$

- Una vez fijados tanto el número de giros de válvula como la pendiente en el canal, esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal,
- Posteriormente, utilizando el medidor de precisión, tomar anotación del calado/tirante de agua que provoca el caudal  $Q$  dispuesto en el canal rectangular.
- Calcular, utilizando las expresiones de flujo uniforme, la velocidad de flujo y  $n$  de Manning.
- Determinar el # Froude para los casos propuestos e indicar el régimen de flujo.
- Obtener un valor para el coeficiente de Manning general promediando los resultados obtenidos.

#### 5. Resultados obtenidos:



$$Q = \frac{A}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [1]$$

$$n = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{\frac{Q}{A}}$$

Llenar la tabla presentada con los valores medidos en el laboratorio.

# de medias vueltas	1-1,5-2
Pendiente (S)	

# Giros Válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Base (m)	Altura h (cm)	Altura h (m)	Rh	S (%)	n	Velocidad m/s	# Froude	Régimen
1			0,2								
1,5			0,2								
2			0,2								

Q (l/s)	n

# de medias vueltas	1-1,5-2
Pendiente (S)	

# Giros Válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Base (m)	Altura h (cm)	Altura h (m)	Rh	S (%)	n	Velocidad m/s	# Froude	Régimen
1			0,2								
1,5			0,2								
2			0,2								

Q (l/s)	n

# de medias vueltas	1-1,5-2
Pendiente (S)	

# Giros Válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Base (m)	Altura h (cm)	Altura h (m)	Rh	S (%)	n	Velocidad m/s	# Froude	Régimen
1			0,2								
1,5			0,2								
2			0,2								

Q (l/s)	n

n - general	
-------------	--

**6. Preguntas:**

- **¿Qué caudales se utilizaron para el desarrollo de la práctica?**

.....

.....

.....

- **¿De los datos introducidos y calculados, cual es el coeficiente de Manning promedio para el material del canal?**

.....

.....

.....

- **¿Cuál es la influencia de la pendiente del canal en el valor de la velocidad de flujo?**

.....

.....

.....

- **¿Qué régimen pudo constatar en la práctica gracias al número de Froude?**

.....

.....

.....

- **¿Se puede realizar la práctica a mayor caudal que el correspondiente a 2 giros de válvula en el canal rectangular? (Si/No) ¿Por qué?**

.....

.....

.....

**7. Observaciones:**

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 3

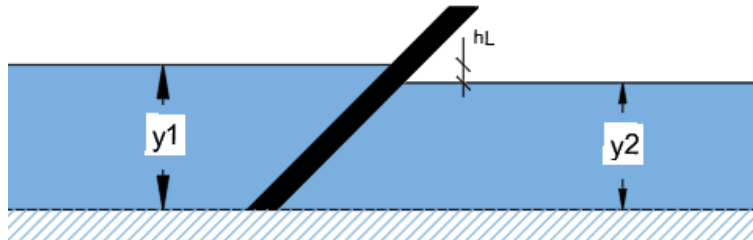
#### FLUJO A TRAVEZ DE UNA REJILLA

##### 1. Objetivo de la práctica:

Obtener las pérdidas que ocasiona la rejilla, haciendo uso del canal rectangular, para comparar los resultados obtenidos analíticamente con los que refleja el canal rectangular.

##### 2. Marco Teórico:

Es una red que se implanta en una captación que impide de tal modo el paso de elementos flotantes o sólidos de gran tamaño. Estas deben diseñarse para la retención de sólidos o desechos que no permiten la correcta operación del sistema hidráulico, la rejilla se acondiciona al tamaño de los sólidos que puedan pasar por el canal rectangular, a excepción de que cuando la obra requiera protección contra sólidos más pequeños.



Para barras circulares podemos calcular la pérdida de energía ocasionada por la rejilla con la expresión de Kinhmmmer:

$$hL = \beta * \left(\frac{ds}{c}\right)^{\frac{4}{3}} * hr * \sin(\phi) \quad [1]$$

Donde:

$$hr = \frac{v^2}{2 * g} \quad [2]$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad [3]$$

$$Vr = \frac{Q}{A - Ar} \quad [4] \quad Ar = n * ds * yo \quad [5]$$

Siendo:

$hL$  = pérdida hidráulica (m)

$\beta = 1.79$  para barras circulares

$ds$  = espesor de la barra (m)

$C$  = apertura (m)

$\phi$  = ángulo de la rejilla horizontal

$hr$  = energía de velocidad de flujo de aproximación

$n$  = número de espacios

$n-1$  = número de barras

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$yo$  = tirante hidráulico (m)

$V$  = velocidad antes de la reja (m/s)

$A$  = área de canal (m<sup>2</sup>)

$Vr$  = velocidad a través de la reja (m/s)

$Ar$  = área de las rejillas (m<sup>2</sup>)

### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Calibrador



Cronómetro



Balde 18.8litros



Rejilla 45° 15cm x 15cm



Cinta amarilla y Bomba de agua



#### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar la rejilla metálica en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la carga de agua aguas arriba ( $y_1$ ) y aguas abajo ( $y_2$ ) de la rejilla.
- Utilizando la ecuación general de Kinnhmmmer, encontrar la pérdida de energía que origina la rejilla.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

#### 5. Resultados obtenidos:

##### Corrección de Caudal

##### [Q – Aforo volumétrico]

Giros de válvula	Q (ltr/s)
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

[Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \frac{\quad}{\quad} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

**Factor de Corrección:**

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \frac{\quad}{\quad} = \quad \%$$

# G	V	T	Q	Q -av	F C

° Rejilla	45	Factor Corrección (%)						
Giros de válvula	Q (ltr/s)	Q (m3/s)	Q Corregido	ds (m)	C (m)	y1 (m)	Sin (45°)	β - B circular

hr (m)	hL - Kinhmmer (m)	hL - Kinhmmer (cm)	y1	y2	hL

## 6. Ejercicios prácticos:

Encontrar la pérdida que ocasiona una rejilla de 9 barras circulares, con un caudal de 3.16 [ltrs/s], correspondiente a 2 giros de válvula, con un diámetro de 1.5cm y un ángulo de inclinación de 45°, las dimensiones del canal son de 20cmx20cm, dicho caudal ocasiona un calado aguas arriba de 4.6cm.

Ecuación para calcular la pérdida según Kihmmer:

$$hL = \beta * \left(\frac{ds}{C}\right)^{\frac{4}{3}} * hr * \sin(\phi)$$

A partir de ejercicio anterior, calcular la velocidad de flujo antes y durante su paso por la rejilla:

$$Ar = n * ds * yo$$

$$Vr = \frac{Q}{A - Ar}$$

## 7. Preguntas:

- ¿Hay diferencia entre la pérdida calculada mediante la ecuación de Kihmmer y la pérdida hidráulica medida manualmente?

.....

.....

.....

- **¿Por qué podemos encontrar diferencia entre los rangos calculados con la ecuación de Kinnhmer y la perdida medida manualmente?**

.....

.....

.....

- **¿Cuál es el valor de la velocidad de flujo antes y durante su paso por la rejilla?**

.....

.....

.....

- **¿Existe diferencia entre el valor obtenido para la velocidad de flujo antes y durante su paso por la rejilla? (Si/No) ¿Por qué?**

.....

.....

.....

## **8. Observaciones:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 4

#### FLUJO SOBRE VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA SIN CONTRACCIONES LATERALES

##### 1. Objetivo de la práctica:

- Obtener el coeficiente  $u$ , haciendo uso de la ecuación general de vertederos, para realizar un contraste con el coeficiente  $u$  dado por las ecuaciones de Rehbock, Hegly y la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

##### 2. Marco Teórico:

El vertedero de pared delgada, es uno de los vertederos más utilizados y de mayor facilidad para su construcción, cuando la descarga es libre el caudal que fluye está dado por la ecuación de Francis:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = Cd * b * H^{\frac{3}{2}} \quad [1]$$

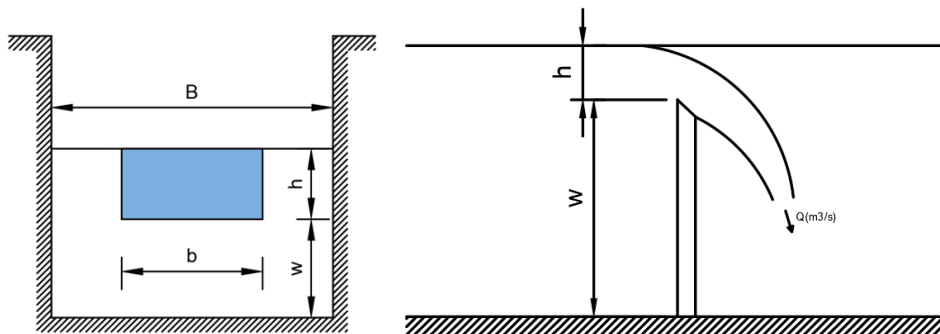
El coeficiente de descarga puede escribirse de la siguiente manera:

$$Cd = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u \quad [2]$$

El coeficiente  $u$  que aparece en la ecuación [1] representa la relación entre la verdadera distribución de velocidades (área achurada) y la parábola correspondiente a una distribución hipotética de velocidades. En síntesis, representa un coeficiente que toma en consideración la contracción de las líneas de flujo.

Cuando el vertedero rectangular se encuentra al centro de un canal de ancho  $B$ , mayor que la longitud de la cresta  $b$  del vertedor, se producen contracciones laterales que disminuyen el coeficiente de descarga.

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, de entre ellos se reproducen las ecuaciones de Hégly, Rehbock y SIAS.



### **Hegly:**

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B-b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad [3]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.1m \leq h \leq 0.6m$        $0.5m \leq b \leq 2m$

$$0.2m \leq w \leq 1.13m$$

### **Rehbock:**

$$u = \left( 0.6035 + 0.0813 * \left( \frac{h+0.0011}{w} \right) \right) * \left( 1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \quad [4]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.18m \leq h \leq 0.5m$        $b \geq 0.3m$        $w \geq 0.06m$

$$\frac{h}{w} \leq 1$$

### **Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):**

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad [5]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.025m \leq h \leq 0.8m$        $0.3m \leq w$        $\frac{h}{w} \leq 1$

Siendo:

Q = Caudal (m³ / s)

Cd = coeficiente de descarga adimensional.

g = aceleración de la gravedad (m /s²)

h = carga sobre el vertedero (m)

b = ancho del vertedero (m)

w = altura del vertedero (m)

### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Calibrador



Cronómetro



Balde 18.8litros



Vertedero rectangular de pared delgada h=12cm



Cinta amarilla y Bomba de agua

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el vertedero de pared delgada en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .

- Con el calibrador medir la carga de agua sobre la cresta del vertedero a una distancia de 12cm aguas arriba del paramento del vertedero.
- Medir la altura del paramento del vertedero “w”.
- Utilizando la ecuación general de vertederos para pared delgada, encontrar el coeficiente de contracción  $u$ , a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente  $u$  con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{———} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{———} = \%$$



# G	V	T	Q	Q -av	F C

Factor de Corrección			b (m)	0,2			
<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>	<u>Q corregido (ltr/s)</u>	<u>Q (m3/s)</u>	<u>H (cm)</u>	<u>H (m)</u>	<u>u</u>	<u>Cd</u>
1							
1,5							
2							
2,5							
3							
3,5							
4							
4,5							
5							
5,5							
6							
6,5							
7							
7,5							
8							

**Contrastar los valores de u:**

$$h = \quad w =$$

Obtenido a partir de ensayos:

$$u_{\text{Ensayos}} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de Rehbock:

$$u_{\text{Rehbock}} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

$$u_{\text{Hegly}} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos  
(1924) (Fórmula SIAS).

$$u_{\text{SIAS}} =$$

## 6. Ejercicios prácticos:

A un caudal de 3.88 ltrs/s y una altura sobre la cresta del vertedero de pared delgada de 4cm hallar el coeficiente  $u$ :

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{\frac{3}{2}}$$

A partir del ejercicio anterior, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Rehbock:

$$u = \left( 0.6035 + 0.0813 * \left( \frac{h + 0.0011}{w} \right) \right) * \left( 1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Además, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Hegly:

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B - b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right)$$

Asimismo, obtener el valor del coeficiente de contracción haciendo uso de la ecuación dada por la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right)$$

Calcular el caudal que pasa por el vertedero de pared delgada, con un coeficiente de contracción  $u$  de 0.82, una base de 20cm y una altura sobre la cresta del vertedero de 4cm

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{\frac{3}{2}}$$

### 7. Preguntas:

- ¿Qué valores de  $u$  se obtuvieron a partir de la práctica y de las expresiones mencionadas?

.....

.....

.....

- ¿Se puede observar diferencia entre el coeficiente  $u$  obtenido a partir de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- **¿Cuál sería la causa de la variación entre los resultados para el coeficiente  $u$  obtenido de las expresiones estudiadas y la práctica de laboratorio?**

.....

.....

.....

- **¿Qué valor para el coeficiente  $u$  escogería como referente entre el obtenido de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?**

.....

.....

.....

- **¿Cómo se obtuvo el valor del coeficiente  $u$  en la práctica de laboratorio?**

.....

.....

.....

#### **8. Observaciones:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 5

#### FLUJO SOBRE VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED GRUESA

##### 1. Objetivo de la práctica:

- Obtener el coeficiente  $u$ , haciendo uso de la ecuación general de vertederos, para realizar un contraste con el coeficiente  $u$  dado por las ecuaciones de Rehbock, Hegly y la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

##### 2. Marco Teórico:

Los vertederos de pared gruesa son utilizados en la medición de caudal y el control de flujo en canales, sin embargo, no son adecuados para flujos que arrastren gran cantidad de sedimentos. Se considera a un vertedero de pared gruesa cuando su relación de espesor sea:

$$\frac{e}{H} > 0.67$$

Este tipo de vertedero presenta una distribución hidrostática de presiones uniforme a través del flujo que pasa sobre la cresta del mismo.

Cuando la descarga es libre el caudal que fluye se representa por la siguiente ecuación:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \epsilon_1 * C_d * b * H^{3/2} \quad [1]$$

El coeficiente de descarga puede escribirse de la siguiente manera:

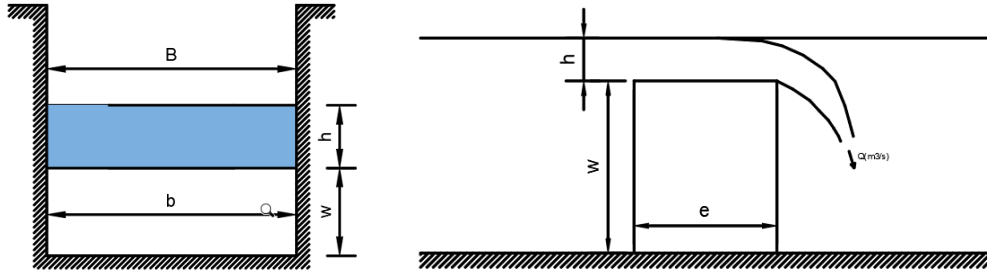
$$C_d = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u \quad [2]$$

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \epsilon_1 * \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{3/2} \quad [1 \text{ y } 2]$$

El valor de  $\epsilon_1$ , esta considerado a partir de los siguientes límites:

$$\text{Si } 0,67 < e/H < 3 \quad \epsilon_1 = 0,7 + \frac{0,185}{e/H} \quad \text{Si } e/H > 3 \quad \epsilon_1 = 0,75 + \frac{0,1}{e/H}$$

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, de entre ellos se reproducen las ecuaciones de Hégly, Rehbock y SIAS.



### **Hegly:**

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B-b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad [3]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.1m \leq h \leq 0.6m$        $0.5m \leq b \leq 2m$

$$0.2m \leq w \leq 1.13m$$

### **Rehbock:**

$$u = \left( 0.6035 + 0.0813 * \left( \frac{h+0.0011}{w} \right) \right) * \left( 1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \quad [4]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.18m \leq h \leq 0.5m$      $b \geq 0.3m$      $w \geq 0.06m$      $\frac{h}{w} \leq 1$

### **Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):**

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad [5]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.025m \leq h \leq 0.8m$        $0.3m \leq w$        $\frac{h}{w} \leq 1$

Siendo:

Q = Caudal (m<sup>3</sup> / s).

Cd = coeficiente de descarga adimensional.

g = aceleración de la gravedad (m /s<sup>2</sup>).

h = carga sobre el vertedero (m).

b = ancho del vertedero (m).

w = altura del vertedero (m).

### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Calibrador



Cronómetro



Balde 18.8litros



Vertedero rectangular de pared gruesa h=12cm



Cinta amarilla y Bomba de agua

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el vertedero de pared gruesa en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la carga de agua sobre la cresta del vertedero a una distancia de 12cm aguas arriba del paramento del vertedero.

- Medir la altura del paramento del vertedero “w” y el espesor del vertedero “e”.
- Utilizando la ecuación general de vertederos para pared gruesa, encontrar el coeficiente de contracción  $u$ , a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente  $u$  con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{———} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{———} = \%$$



# G	V	T	Q	Q -av	F C

e (m)	0,12										
Factor de Corrección			b (m)	0,2							
<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>	<u>Q corregido (ltr/s)</u>	<u>Q (m3/s)</u>	<u>H (cm)</u>	<u>H (m)</u>	<u>e/H</u>	<u>0,67 &lt; e/H &lt; 3</u>	<u>e/H &gt; 3</u>	<u>u</u>	<u>ε</u>	<u>Cd</u>

**Contrastar los valores de u:**

h =                      w =

Obtenido a partir de ensayos:

$u_{\text{Ensayos}} =$

Obtenido a partir de la ecuación de Rehbock:

$u_{\text{Rehbock}} =$

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

$u_{\text{Hegly}} =$

Obtenido a partir de la ecuación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos

Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

$u_{\text{SIAS}} =$

## 6. Ejercicios prácticos:

A un caudal de 4.02 ltrs/s, correspondiente a 8 giros de válvula y una altura sobre la cresta del vertedero de pared delgada de 5.4cm hallar el coeficiente  $u$ :

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \epsilon_1 * \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{\frac{3}{2}}$$

A partir del ejercicio anterior, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Rehbock

$$u = \left( 0.6035 + 0.0813 * \left( \frac{h + 0.0011}{w} \right) \right) * \left( 1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Además, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Hegly:

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B - b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right)$$

Asimismo, obtener el valor del coeficiente de contracción haciendo uso de la ecuación dada por la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right)$$

Calcular el caudal que pasa por el vertedero de pared gruesa, con un coeficiente de contracción u de 0.693, una base de 20cm y una altura sobre la cresta del vertedero de 5.4cm

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \varepsilon_1 * \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{Si } 0,67 < e/H < 3 \quad \varepsilon_1 = 0,7 + \frac{0,185}{e/H} \qquad \text{Si } e/H > 3 \quad \varepsilon_1 = 0,75 + \frac{0,1}{e/H}$$

**7. Preguntas:**

- **¿Qué valores de u se obtuvieron a partir de la práctica y de las expresiones mencionadas?**

.....

.....

.....

- ¿Se puede observar diferencia entre el coeficiente  $u$  obtenido a partir de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- ¿Cuál viene a ser la causa de la variación entre los resultados para el coeficiente  $u$  obtenido de las expresiones estudiadas y la práctica de laboratorio?

.....

.....

.....

- ¿Qué valor para el coeficiente  $u$  escogería como referente entre el obtenido de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- ¿Cómo se obtuvo el valor del coeficiente  $u$  en la práctica de laboratorio?

.....

.....

.....

## 8. Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 6

#### FLUJO SOBRE VERTEDERO RECTANGULAR DE PARED DELGADA CON 2 CONTRACCIONES LATERALES

##### 1. Objetivo de la práctica:

- Obtener el coeficiente  $u$ , haciendo uso de la ecuación general de vertederos, para realizar un contraste con el coeficiente  $u$  dado por las ecuaciones de Hamilton Smith, Hegly y la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

##### 2. Marco Teórico:

El vertedero de pared delgada, es uno de los vertederos más utilizados y de mayor facilidad para su construcción, cuando la descarga es libre el caudal que fluye está dado por la ecuación de Francis:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = Cd * b * H^{\frac{3}{2}} \quad [1]$$

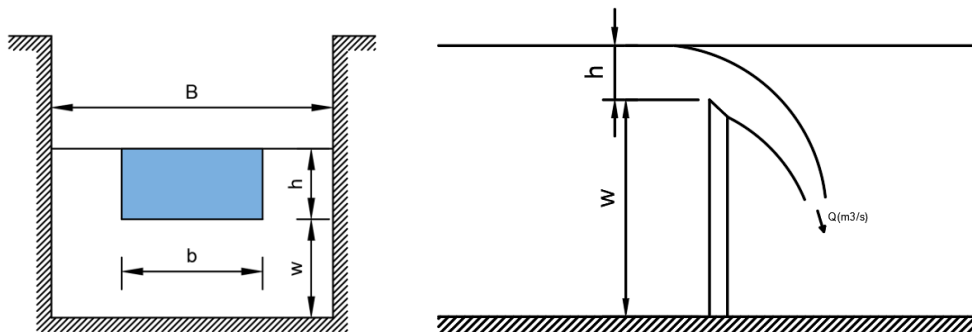
El coeficiente de descarga puede escribirse de la siguiente manera:

$$Cd = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u \quad [2]$$

El coeficiente  $u$  que aparece en la ecuación [2] representa la relación entre la verdadera distribución de velocidades (área achurada) y la parábola correspondiente a una distribución hipotética de velocidades. En síntesis, representa un coeficiente que toma en consideración la contracción de las líneas de flujo.

Cuando el vertedero rectangular se encuentra al centro de un canal de ancho  $B$ , mayor que la longitud de la cresta  $b$  del vertedor, se producen contracciones laterales que disminuyen el coeficiente de descarga.

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, de entre ellos se reproducen las ecuaciones de Hégly, Hamilton Smith y SIAS.



### **Hegly:**

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B-b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad [3]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.1m \leq h \leq 0.6m$        $0.5m \leq b \leq 2m$

$$0.2m \leq w \leq 1.13m$$

### **Hamilton Smith:**

$$u = (0.616) * \left( 1 - \frac{b}{10*B} \right) \quad [4]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.075m \leq h \leq 0.6m$ ;  $0.3m \leq b$ ;  $0.3m \leq w$ ;

$$h \leq \frac{w}{2}; \quad b \leq (B - 2h); \quad \frac{h}{b} \leq 0.5$$

### **Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS):**

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right) \quad [5]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $0.025m \leq h \leq 0.8m$        $0.3m \leq w$        $\frac{h}{w} \leq 1$

Siendo:

Q = Caudal (m³ / s)

u = coeficiente de contracción adimensional.

g = aceleración de la gravedad (m / s²)

h = carga sobre el vertedero (m)

b = ancho del vertedero (m)

w = altura del vertedero (m)

### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Calibrador



Cronómetro



Balde 18.8litros



Vertedero rectangular de pared delgada h=12cm



Cinta amarilla y Bomba de agua

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el vertedero rectangular con 2 contracciones en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .

- Con el calibrador medir la carga de agua sobre la cresta del vertedero a una distancia de 12cm aguas arriba del paramento del vertedero.
- Medir la altura del paramento del vertedero “w”.
- Utilizando la ecuación general de vertederos, encontrar el coeficiente de contracción  $u$ , a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente  $u$  con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{———} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{———} = \%$$



# G	V	T	Q	Q -av	F C

Factor de Corrección						
Contacciones (m)	0,05	b (m)	0,1	B (m)	0,2	
Giros de válvula	Q (ltr/s)	corregido (ltr/s)	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
1						
1,5						
2						
2,5						
3						
3,5						
4						
4,5						
5						
5,5						
6						
6,5						
7						
7,5						
8						

**Contrastar los valores de u:**

b (m)	
B (m)	

h (m)	
w(m)	

Obtenido a partir de ensayos:

$$u_{\text{Ensayos}} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de Rehbock:

$$u_{\text{Rehbock}} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

$$u_{\text{Hegly}} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos

(1924) (Fórmula SIAS).

$$u_{\text{SIAS}} =$$

## 6. Ejercicios prácticos:

A un caudal de 4.06 ltrs/s, correspondiente a 8 giros de válvula y una altura sobre la cresta del vertedero de pared delgada con 2 contracciones de 6.6 cm hallar el coeficiente  $u$ :

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{\frac{3}{2}}$$

A partir del ejercicio anterior, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Hamilton Smith:

$$u = (0.616) * \left( 1 - \frac{b}{10 * B} \right)$$

Además, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Hegly:

$$u = \left( 0.6075 - 0.045 * \frac{B - b}{B} + \frac{0.0041}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 * \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right)$$

Asimismo, obtener el valor del coeficiente de contracción haciendo uso de la ecuación dada por la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Fórmula SIAS).

$$u = \left( 0.578 + 0.037 * \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 * \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000 * h + 1.6} \right) * \left( 1 + 0.5 * \left( \frac{b}{B} \right)^4 * \left( \frac{h}{h + w} \right)^2 \right)$$

Calcular el caudal que pasa por el vertedero de pared delgada, con un coeficiente de contracción  $u$  de 0.82, una base de 20cm y una altura sobre la cresta del vertedero de 4cm

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * b * H^{\frac{3}{2}}$$

#### 7. Preguntas:

- ¿Qué valores de  $u$  se obtuvieron a partir de la práctica y de las expresiones mencionadas?

.....

.....

.....

- ¿Se puede observar diferencia entre el coeficiente  $u$  obtenido a partir de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- ¿Cuál sería la causa de la variación entre los resultados para el coeficiente  $u$  obtenido de las expresiones estudiadas y la práctica de laboratorio?

.....

.....

.....

- ¿Qué valor para el coeficiente  $u$  escogería como referente entre el obtenido de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- ¿Cómo se obtuvo el valor del coeficiente  $u$  en la práctica de laboratorio?

.....

.....

.....

#### 8. Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 7

#### FLUJO A TRAVES DE COMPUERTA PLANA CON DESCARGA LIBRE

##### 1. Objetivo de la práctica:

- Medir el tirante  $y_1$  de una compuerta, a partir de los ensayos realizados, para obtener el coeficiente de descarga  $C_d$ .

##### 2. Marco Teórico:

Una compuerta plana, es una placa móvil que al levantarse forma una abertura generalmente desde el piso hasta el borde inferior de dicha placa, se puede emplear como medidor de flujo y regulador de flujo, reteniendo o permitiendo el paso del agua embalsada.

Se puede caracterizar según las condiciones de flujo aguas abajo como compuerta plana de descarga libre y compuerta plana de descarga sumergida. Para medir el flujo a descarga libre, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$Q = C_d * b * a * \sqrt{2 * g * y_1} \quad [1]$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

$C_d$  = coeficiente de descarga adimensional.

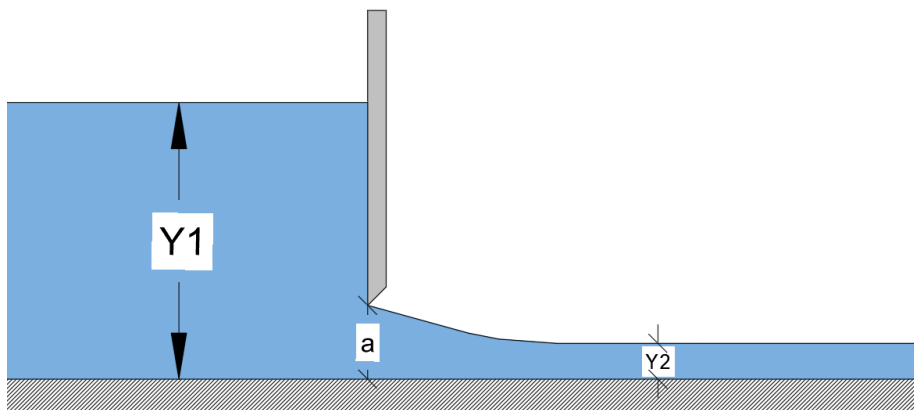
$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$y_1$  = altura aguas arriba de la compuerta(m).

$b$  = ancho del vertedero (m).

$a$  = abertura de la compuerta (m).

El flujo experimenta una contracción en las líneas de corriente al pasar por la abertura de la compuerta, generando así un aumento de velocidad. Las diferentes formas que puede llegar a tener una compuerta dependen del uso que se le vaya a dar, del tamaño, de la carga que soportara y de la forma de abertura.



### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm con compuerta b=20cm



Cinta amarilla y Bomba de agua



Calibrador

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Fijar una abertura de compuerta plana de 1cm.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la altura aguas arriba correspondiente para “ $y_1$ ”, y la altura que se genera cuando pasa el flujo a través de la compuerta “ $a$ ”.
- Utilizando la expresión [1], encontrar el coeficiente de descarga  $C_d$ , a partir de las alturas medidas.

- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{———} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{———} = \%$$

# G	V	T	Q	Q -av	F C

Factor de Corrección						
<b>COMPUERTA - apertura 1cm</b>						
<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>	<u>Q (m3/s)</u>	<u>Q (m3/s)</u>	<u>a (m)</u>	<u>Y1 (m)</u>	<u>Cd</u>

**Valor Cd:**

<b>Cd - General</b>	
---------------------	--

## 6. Ejercicios prácticos:

A un caudal de 3.53 ltrs/s, correspondiente a 3 giros de válvula y un tirante y1 de 25.2cm antes de la compuerta que tiene una apertura de 1 cm, hallar el coeficiente de descarga Cd:

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

Calcular el caudal que pasa por la compuerta con una apertura de 1cm, con un coeficiente de descarga de 0.796, una base de 20cm y un tirante aguas arriba de la compuerta de 25.2cm:

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



**7. Preguntas:**

- **¿Qué valor para el coeficiente de descarga de una compuerta plana con descarga libre obtuvo?**

.....

.....

- **¿Cómo obtuvo un valor general para el coeficiente de descarga de una compuerta plana?**

.....

.....

.....

- **¿Se puede hacer la práctica en el laboratorio a un caudal  $Q$  mayor al correspondiente para 3 giros de válvula? (Si/No) ¿Por qué?**

.....

.....

.....

- **¿Qué sucede si aumento la abertura de la compuerta plana?**

.....

.....

.....

**8. Observaciones:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 8

#### FLUJO A TRAVÉS DE COMPUERTA CON RESALTO HIDRÁULICO

##### 1. Objetivos de la práctica:

- Medir el tirante  $y_1$  que se genera al pasar por una compuerta, a partir de los ensayos realizados ubicando una barrera al final del canal, para obtener el tirante  $y_2$ .

##### 2. Marco Teórico:

El resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel de agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad y pasa a una zona de baja velocidad.

Este fenómeno presenta un estado de fuerzas en equilibrio, en el que tiene un cambio brusco de flujo de supercrítico a subcrítico.

$$\frac{\gamma * q}{g} (V_1 - V_2) = \frac{\gamma}{2} (\gamma_2^2 - \gamma_1^2) \quad [1]$$

Expresión adimensional de tirantes conjugados:  $\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 * F_{g1}^2} - 1)$

Tirante conjugado aguas abajo:  $\gamma_2 = \frac{\gamma_1}{2} (\sqrt{1 + 8 * \frac{V_1^2}{g * \gamma_1}} - 1)$  [2]

Longitud del resalto hidráulico según Smetana:  $L = 6 * (y_2 - y_1)$  [3]

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

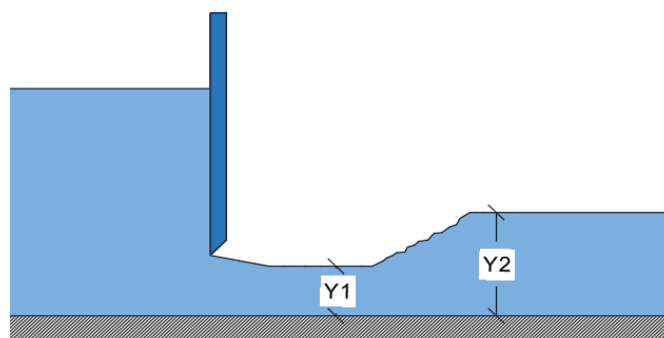
$V$  = velocidad de flujo ( $m/s$ ).

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$y_1, y_2$  = tirantes de agua ( $m$ ).

$F$  = número de Froude.

$L$  = longitud del resalto ( $m$ ).



### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm con compuerta b=20cm



Cinta amarilla y Bomba de agua



Calibrador



Barrera 3cm

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Fijar una abertura de compuerta plana de 1cm.
- Colocar la barreira de 3cm en la última ranura del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir el tirante correspondiente para “y1” y el correspondiente para “y2”.
- Utilizando la expresión [2], encontrar el tirante “y2”, a partir del tirante “y1”.
- Utilizando la expresión [3], hallar la longitud del resalto hidráulico.

- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{———} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{———} = \%$$

# G	V	T	Q	Q -av	F C

Factor de Corrección J		Barrera (cm)	3	Apertura compuerta (cm)	1
RESALTO HIDRÁULICO					
<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>	<u>Q (m3/s)</u>	<u>Q corregido (m3/s)</u>	<u>Y1 (m)</u>	<u>V1 (m/s)</u>

<u>Y2 (m)</u>	<u>Y2 (cm)</u>	<u>Y2 medido</u>	<u>L resalto (m)</u>	<u>L resalto (cm)</u>

## 6. Ejercicios prácticos:

A un caudal de 3.8 ltrs/s y para un tirante aguas arriba y1 de 1.1cm, hallar el tirante aguas abajo y2 haciendo uso de la expresión adimensional de tirantes conjugados, en el canal rectangular de base 20cm.

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 * F_{g1}^2} - 1 \right)$$

A partir del ejercicio anterior, hallar la longitud del resalto hidráulico según la ecuación de Smetana:

$$L = 6 * (y_2 - y_1)$$

### **7. Preguntas:**

- **¿A que caudales  $Q$ , se puede apreciar mejor el resalto hidráulico generado?**

.....

.....

- **¿Existe semejanza entre los valores correspondientes para el tirante “ $y_2$ ” medido en el canal con el calculado analíticamente? (Si/No) ¿Por qué?**

.....

.....

- **¿Fue posible medir la longitud del resalto hidráulico en el canal? (Si/No) ¿Por qué?**

.....

.....

- **¿Cuál fue la expresión utilizada para calcular analíticamente la longitud del resalto hidráulico?**

.....

.....

- **¿Desde qué punto debería comenzar a medir la longitud del resalto hidráulico en el canal?**

.....

.....

### **8. Observaciones:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 9

#### FLUJO SOBRE VERTEDERO TIPO USBR

##### 1. Objetivos de la práctica:

- Medir la carga  $H_o$  de un perfil hidrodinámico tipo USBR, a partir de los ensayos realizados, para obtener el coeficiente de descarga  $C_d$ .

##### 2. Marco Teórico:

- El vertedero tipo USBR se construye con el fin de encausar el exceso de agua sin producir erosión ni deterioro a la estructura, controlando que el flujo no se desborde y conserve su caudal.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = C_d * L * H^{\frac{3}{2}} \quad [1]$$

$$q \left( \frac{m^2}{s} \right) = \frac{Q}{L} \quad [2] \quad V = \frac{q}{P+ho} \quad [3]$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ )

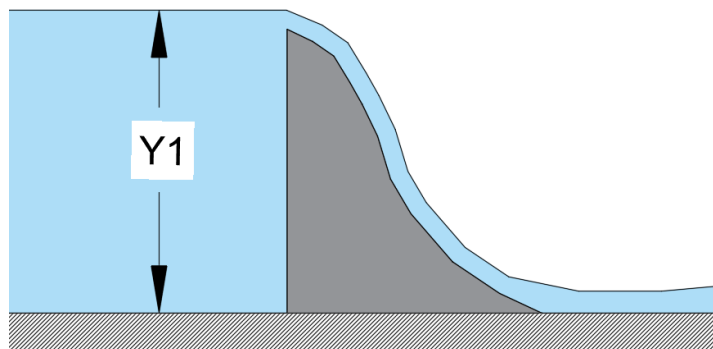
$C_d$  = coeficiente de descarga adimensional.

$H$  = carga sobre el vertedero (m)

$L$  = ancho del vertedero (m)

$q$  = Caudal unitario ( $m^2 / s$ )

$V$  = velocidad de aproximación (m/s)



### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Calibrador



Cronómetro



Balde 18.8litros



Perfil de cimacio tipo USBR h=20cm



Cinta amarilla y Bomba de agua

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el vertedero USBR en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la carga de agua sobre la cresta del vertedero a una distancia de 12cm aguas arriba del paramento del vertedero.



- Medir la altura del paramento del vertedero “w”.
- Utilizando la ecuación general de vertederos, encontrar el coeficiente de descarga Cd, a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente de descarga Cd con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{————} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{————} = \text{———} \%$$

# G	V	T	Q	Q -av	F C

Factor de Corrección			b (m)	0,2		ha (m)	0	
Giros de válvula	Q (ltr/s)	Q corregido (ltr/s)	Q (m3/s)	Ho (cm)	Ho (m)	Paramento (m)	q = Q/b	P/Ho
4								
8								

C - Ecuación general		
ha (m)	C	Va (m/s)

## 6. Ejercicios prácticos:

Encontrar el valor del coeficiente de descarga, si se cuenta con un canal rectangular de base 20cm y se mide una altura  $H_o$  de 3.4cm sobre la cresta del vertedero, el caudal que pasa sobre el canal es de 3,92 ltrs/s correspondiente a 8 giros de válvula. Adicional, hallar el caudal unitario correspondiente al vertedero USBR.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = Cd * L * H^{\frac{3}{2}}$$

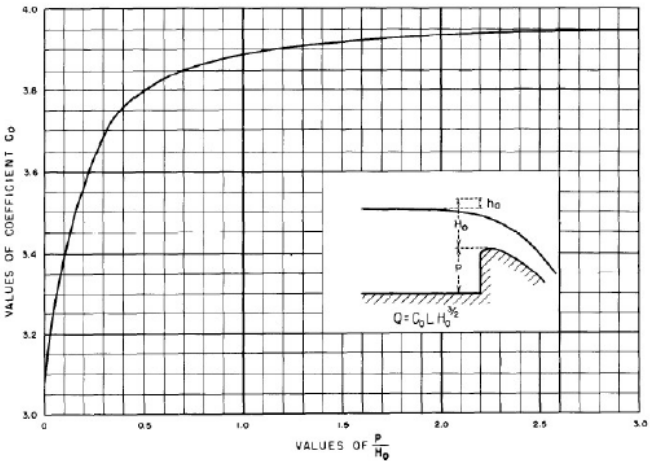
$$Cd = \frac{Q}{L * H^{\frac{3}{2}}} ; q = \frac{Q}{L} ; C = \frac{q}{H^{\frac{3}{2}}}$$

A partir del ejercicio anterior, hallar la velocidad de aproximación al vertedero USBR, si la altura del paramento es de 20cm

$$V = \frac{q}{P + ho}$$

Mediante el uso de las tablas de diseño USBR, hallar el coeficiente de descarga C. La altura del paramento es de 20cm y la altura sobre la cresta del vertedero es de 3.4cm

$$C = \frac{Co}{\sqrt{3.2808}}$$



**7. Preguntas:**

- **¿Qué valores para el coeficiente de descarga Cd se obtuvieron en la práctica?**  
.....  
.....  
.....
- **¿Se puede observar diferencia entre los coeficientes de descarga Cd obtenidos en la práctica? (Si/No) ¿Por qué?**  
.....  
.....  
.....

- **¿Existen complicaciones al momento de tomar los datos en el canal?**

.....

.....

.....

- **¿Qué valor de energía ha se obtuvo? ¿Por qué?**

.....

.....

.....

## **8. Observaciones:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

### GUÍA DE PRÁCTICA # 10

#### FLUJO SOBRE VERTEDERO TRIANGULAR DE 60° Y 90°

##### 1. Objetivo de la práctica:

- Obtener el coeficiente  $u$ , haciendo uso de la ecuación general para vertederos triangulares, para realizar un contraste con el coeficiente  $u$  dado por las ecuaciones de Hegly, Barr y Heyndrick.

##### 2. Marco Teórico:

Un vertedero triangular permite tener mayor precisión en el cálculo de la altura  $H$  a caudales reducidos, usado para controlar el nivel del flujo de agua, los vertederos triangulares de mayor uso son los de 60° y 90°.

Las fórmulas para vertederos dependen de la rugosidad del canal, por tanto, es preferible usar un canal liso, para el cálculo del caudal tanto de un vertedero de 60° y 90°, se utiliza la expresión:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * g} * u * \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) * H^{5/2} \quad [1]$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).  $u$  = coeficiente de contracción adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ ).  $H$  = altura aguas arriba del vertedero (m).

$\theta$  = ángulo en el vértice de la escotadura.

Para el cálculo del coeficiente adimensional  $\mu$ , varios ingenieros han realizado gran variedad de experimentos, sin embargo, estos dependen del ángulo en el vértice de la escotadura, para un vertedero triangular de 90°, podemos tomar las ecuaciones de Hegly y Barr, y para un vertedero triangular de 60°, podemos tomar la ecuación de Heyndricks.

Hegly:

$$u = \left[ 0,5812 + \frac{0,00375}{h} \right] * \left[ 1 + \frac{h^2}{B*(h+w)} \right]^2 \quad [2]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $\theta = 90^\circ$ ;  $0.1m \leq h \leq 0.5m$ ; y w pequeñas

Barr:

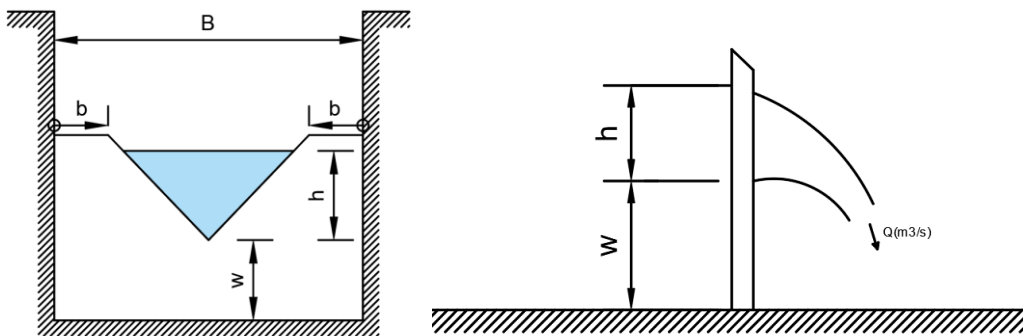
$$u = (0.565) + \left( \frac{0.0087}{h^{0.5}} \right) \quad [3]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $\theta = 90^\circ$ ;  $0.05m \leq h \leq 0.25m$ ;  $w \geq 3h$ ;  $B \geq 3h$

Heyndricks:

$$u = (0.5775 + 0.214 * h^{1.25}) * \left( 1 + \left( \frac{h^2}{B(h+w)} \right)^2 \right) \quad [4]$$

Cuyos límites de aplicación son:  $\theta = 60^\circ$  y cargas normales.



Siendo:

Q = Caudal (m<sup>3</sup> / s)

g = aceleración de la gravedad (m /s<sup>2</sup>)

B = ancho del vertedero (m)

u = coeficiente de contracción adimensional.

h = carga sobre el vertedero (m)

w = altura del vertedero (m)

### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm



Calibrador



Cronómetro



Balde 18.8litros



Vertedero triangular 60° y 90°



Cinta amarilla y Bomba de agua

### 4. Procedimiento e instrucciones:

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijado el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el vertedero triangular en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico para los vertederos triangulares de 60° y 90°. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la carga de agua sobre la cresta del vertedero a una distancia de 12cm aguas arriba del paramento del vertedero.
- Medir la altura del paramento del vertedero triangular “w”.

- Utilizando la ecuación general de vertedero triangular, encontrar el coeficiente de contracción  $u$ , a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente  $u$  con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos:

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### [Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{Volumen}{tiempo} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \text{———} \left( \frac{ltrs}{s} \right) = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$

#### Factor de Corrección:

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \text{———} = \%$$



# G	V	T	Q	Q -av	F C
60°					

Factor de Corrección		b (m)	0,2	Abertura	60	
Giros de válvula	Q (litr/s)	Q corregido	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

# G	V	T	Q	Q -av	F C
90°					

Factor de Corrección		b (m)	0,2	Abertura	90	
Giros de válvula	Q (litr/s)	Q corregido	Q (m3/s)	H (cm)	H (m)	u
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

**Contrastar los valores de u del Vertedero de 60°:**

h =            w =            B =

Obtenido a partir de ensayos:

*u*Ensayos =

Obtenido a partir de la ecuación de Heyndrick.

$$u_{Heyndrick} =$$

**Contrastar los valores de  $u$  del Vertedero de 90°:**

$$h = \quad w = \quad B =$$

Obtenido a partir de ensayos:

$$u_{Ensayos} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de Barr:

$$u_{Barr} =$$

Obtenido a partir de la ecuación de Hegly:

$$u_{Hegly} =$$

## 6. Ejercicios prácticos:

A un caudal de 4.04 ltrs/s, correspondiente a 8 giros de válvula y una altura sobre la cresta del vertedero triangular de 90° de 8.7 cm hallar el coeficiente  $u$ :

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * g} * u * \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) * H^{5/2}$$

A partir del ejercicio anterior, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Hegly:

$$u = \left[ 0,5812 + \frac{0,00375}{h} \right] * \left[ 1 + \frac{h^2}{B * (h + w)} \right]^2$$

A partir del ejercicio anterior, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Barr:

$$u = (0.565) + \left( \frac{0.0087}{h^{0.5}} \right)$$

A un caudal de 3.89 ltrs/s, correspondiente a 8 giros de válvula y una altura sobre la cresta del vertedero triangular de 60° de 10.8 cm hallar el coeficiente  $u$ :

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * g} * u * \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) * H^{5/2}$$

A partir del ejercicio anterior, obtener el coeficiente  $u$ , utilizando la ecuación de Heyndrick:

$$u = (0.5775 + 0.214 * h^{1.25}) * \left( 1 + \left( \frac{h^2}{B(h + w)} \right)^2 \right)$$

## 7. Preguntas:

- ¿Qué valores de  $u$  se obtuvieron a partir de la práctica y de las expresiones mencionadas?

.....

.....

.....

- ¿Se puede observar diferencia entre el coeficiente  $u$  obtenido a partir de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- ¿Cuál sería la causa de la variación entre los resultados para el coeficiente  $u$  obtenido de las expresiones estudiadas y la práctica de laboratorio?

.....

.....

.....

- ¿Qué valor para el coeficiente  $u$  escogería como referente entre el obtenido de la práctica de laboratorio y de las expresiones estudiadas?

.....

.....

.....

- ¿Cómo se obtuvo el valor del coeficiente  $u$  en la práctica de laboratorio?

.....

.....

.....

## 8. Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA

## GUÍA DE PRÁCTICA # 11

### FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO CON DESCARGA LIBRE Y SUMERGIDA

#### 1. Objetivos de la práctica:

- Obtener el tirante  $y_1$ , a partir de los ensayos realizados, para obtener el coeficiente de descarga  $C_d$  para un orificio de descarga libre.
- Obtener la diferencia de cotas entre tirante  $y_1$  y el tirante  $y_2$ , a partir de los ensayos realizados, para obtener el coeficiente de descarga  $C_d$  para un orificio de descarga sumergida.

#### 2. Marco Teórico:

Un orificio es una abertura o perforación circular en una superficie que puede ser plana o no, a través de él, se puede drenar cierta cantidad de agua embalsada. Posee un contorno cerrado, cuyo perímetro puede estar completamente mojado, la corriente de agua por la que circula el flujo se le puede llamar chorro.

Existen orificios de descarga libre, que se da cuando la cota aguas abajo es menor que el borde inferior del orificio, de descarga sumergida, que se da cuando la cota aguas abajo es mayor que el borde superior del orificio, asimismo, se pueden clasificar los orificios dependiendo de su espesor como orificios de pared delgada y gruesa y dependiendo de su inclinación como orificio de pared vertical e inclinada.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = C_d * A * \sqrt{2 * g * H} \quad [1]$$

Siendo:

$Q$  = Caudal ( $m^3 / s$ ).

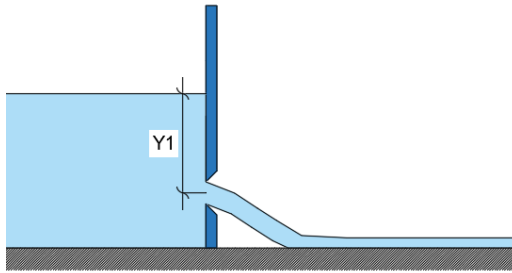
$C_d$  = coeficiente de descarga adimensional.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m / s^2$ ).     $A$  = área del orificio ( $m^2$ ).

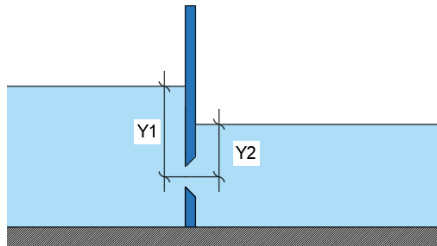
$H = Y_1$  tirante de agua (m): (desde el centro del orificio hasta el tirante aguas arriba para orificio con descarga libre).

$H = (Y_1 - Y_2)$  tirante de agua (m): (diferencia de cotas aguas arriba y aguas abajo para orificio con descarga sumergida).

### Orificio descarga libre



### Orificio descarga sumergida



### 3. Componentes:



Canal Rectangular 20cmx20cmx360cm  
18.8litros



Calibrador



Cronómetro



Balde



Orificio



Barrera 15cm



Cinta amarilla y Bomba de agua

#### **4. Procedimiento e instrucciones:**

##### **4.1.Orificio con descarga libre**

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el orificio en la ranura central del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la altura  $y_1$  que va desde la altura aguas arriba del orificio hasta el centro del mismo.
- Utilizando la ecuación general para orificios, encontrar el coeficiente de descarga  $C_d$ , a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente  $C_d$  con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

##### **4.2. Orificio con descarga sumergida.**

- Verificar el nivel de agua inicial en el tanque donde se ubica la bomba que se encuentre a nivel de la línea amarilla marcada.
- Fijar el caudal  $Q$  de la práctica haciendo uso del aforo volumétrico y escogiendo los giros de válvula correspondientes.
- Una vez se ha fijados el número de giros en el canal esperar 60 segundos para que el flujo se estabilice a lo largo del canal.
- Colocar el orificio en la ranura central del canal del laboratorio.

- Colocar una barrera de 15cm en la ranura final del canal del laboratorio.
- Para este caso de la práctica considerar el valor de corrección del caudal  $J$  para obtener un nuevo valor de caudal  $Q_{prac}$ :

$$Q_{prac} = Q_{aforo} * J$$

- Corroborar el caudal para el ensayo  $Q_{prac}$ , utilizando el método de aforo volumétrico. Realizar la medida de tiempo al menos 3 veces y obtener un caudal promedio  $Q_{prac}$ .
- Con el calibrador medir la diferencia de carga entre el tirante aguas arriba y aguas abajo del orificio.
- Utilizando la ecuación general para orificios, encontrar el coeficiente de descarga  $C_d$ , a partir de las alturas medidas.
- Calcular los valores del coeficiente  $C_d$  con las expresiones solicitadas.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el canal rectangular con los obtenidos de forma analítica.

## 5. Resultados obtenidos

### Corrección de Caudal

#### [Q – Aforo volumétrico]

<u>Giros de válvula</u>	<u>Q (ltr/s)</u>
0	0
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	

$$Q_{aforo} = \left( \frac{ltrs}{s} \right)$$



[Q – Nueva Medición]

$$Q_{prac} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \left( \frac{\text{ltrs}}{\text{s}} \right) = \frac{\quad}{\quad} \left( \frac{\text{ltrs}}{\text{s}} \right) = \left( \frac{\text{ltrs}}{\text{s}} \right)$$

**Factor de Corrección:**

$$J = \frac{Q_{prac}}{Q_{aforo}} * 100\% = \frac{\quad}{\quad} = \quad \%$$

Orificio - Descarga libre					
# G	V	T	Q	Q -av	F C
1					
1					
1					

Orificio - Descarga sumergida					
# G	V	T	Q	Q -av	F C
1					
1					
1					

Factor de Corrección		D (m)	0,045			
Orificio - Descarga libre						
Giros de válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Área(m2)	Y1 = H (m)	Cd
1						
1,5						

Cd - general

Factor de Corrección		D (m)	0,045	Barrera (cm)	15			
Orificio - Descarga sumergida								
Giros de válvula	Q (l/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Área(m2)	Y1 (m)	Y2 (m)	H (m)	Cd
1								

Cd - general

**6. Ejercicios prácticos:**

Encontrar el valor del coeficiente de descarga Cd, si se cuenta con un canal rectangular de base 20cm y se mide una altura para Y1 de 11.5 cm medido desde el centroide de un orificio con descarga libre de 4.5 cm de diámetro, el caudal que pasa a través del mismo es de 2.29 ltrs/s correspondiente a 1.5 giros de válvula.

$$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = Cd * A * \sqrt{2 * g * H}$$

Encontrar el valor del coeficiente de descarga  $C_d$ , si se cuenta con un canal rectangular de base 20cm con una barrera de 15cm al final de dicho canal, y se mide una altura para  $Y_1$  de 13.2 cm aguas arriba y una altura para  $Y_2$  de 8.3cm aguas abajo de un orificio de 4.5 cm de diámetro, el caudal que pasa a través del mismo es de 1.06 ltrs/s correspondiente a 1 giro de válvula.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = C_d * A * \sqrt{2 * g * \Delta H}$$

$$\Delta H = Y_1 - Y_2$$

## 7. Preguntas

- ¿Qué valores para el coeficiente de descarga  $C_d$  se obtuvieron en la práctica?

.....

.....

.....

- ¿Se puede hacer la práctica en el laboratorio a un caudal  $Q$  mayor al correspondiente para 1,5 giros de válvula? (Si/No) ¿Por qué?

.....

.....

.....

- ¿Cómo obtuvo un valor general para el coeficiente de descarga del orificio con descarga libre y sumergida?

.....

.....

.....

- ¿Existen complicaciones al momento de tomar los datos en el canal? (Si/No)  
¿Por qué?

.....

.....

.....

## 8. Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....