

MANUAL DE LABORATORIO HIDRÁULICA

PRÁCTICA 8 CALIBRACIÓN DE VERTEDEROS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA
CIVIL



Universidad
Industrial de
Santander



Contenido

Laboratorio 8. CALIBRACIÓN DE VERTEDEROS	3
1. Marco Teórico.....	3
1.2. Vertederos de pared delgada	3
1.1. Vertederos de pared gruesa.....	7
1.2. vertederos tipo Spillway	7
2. Objetivos:	8
3. Procedimiento:.....	8
3.1. Vertedero tipo Spillway.....	8
3.2. Vertedero cresta ancha	8
4. Equipo utilizado:	8
5. Datos	9
6. Cálculo tipo.....	10
7. Resultados:.....	11
8. Observaciones y conclusiones	12
9. Referencias Bibliográficas	12

Ecuaciones

Ecuación 1.....	4
Ecuación 2.....	4
Ecuación 3.....	5
Ecuación 4.....	5
Ecuación 5.....	5
Ecuación 6.....	5
Ecuación 7.....	5
Ecuación 8.....	5
Ecuación 9.....	6
Ecuación 10.....	7
Ecuación 11.....	7
Ecuación 12.....	7
Ecuación 13.....	7
Ecuación 14.....	8

Ilustraciones

Ilustración 1:Vertedero de pared delgada	4
Ilustración 2: Vertedero rectangular sin contracción [1].....	6
Ilustración 3: Vertedero rectangular con contracción [1]	6
Ilustración 4: Vertedero triangular [1]	6
Ilustración 5: Vertedero de pared gruesa[2]	7

Laboratorio 8. Calibración de Vertederos

1. Marco Teórico

Las estructuras hidráulicas son dispositivos usados para regular o medir el caudal. Algunos son de geometría fija, mientras que otros pueden ser mecánicamente ajustados. Las estructuras hidráulicas forman parte de la mayoría de los proyectos de ingeniería hidráulica como sistemas de riego, suministro de agua, tratamiento de aguas residuales, centrales hidroeléctricas. Por conveniencia estas estructuras se agrupan en tres grupos

- Estructuras de medición: vertederos y canaletas
- Estructuras de regulación: compuertas y válvulas
- Estructuras de descarga: aliviaderos (spillways)

Las estructuras de medición están basadas en una relación profundidad-caudal obtenida de la aplicación de la ecuación de Bernoulli. Sin embargo, algunas modificaciones se deben incluir en las ecuaciones para tener en cuenta efectos como las pérdidas que inevitablemente ocurren los fluidos.

Algunas estructuras de medición son diseñadas para incluir la formación de la profundidad crítica en algún punto dentro de la estructura y mediante la utilización de condiciones críticas determinar el caudal. Las estructuras de medición que utilizan este concepto son el vertedero de pared gruesa y la canaleta Parshall. Entre las estructuras que no inducen la profundidad crítica para la medición del caudal está al vertedero de pared delgada.

Los vertederos son estructuras de medición que pueden ser definidos como simples aberturas (orificios en el borde superior) sobre las cuales fluye un líquido.

Con el fin de apurar el caudal en un canal y en algunos casos también de mantener una profundidad de agua relativamente estable, independientemente del caudal transportado y de esa forma permitir la derivación de agua a canales secundarios a través de bocatomas laterales, se construyen los vertederos de cresta aguda, que en esencia consisten en una placa montada en ángulo recto a la dirección del flujo y que termina en una cresta de borde agudo. El verdadero puede tener una cresta del mismo ancho del canal, en cuyo caso se conoce como verte o no contraído o tener una abertura de forma rectangular, triangular o trapezoidal, conociéndose en estos casos como vertedero contraído.

1.2. Vertederos de pared delgada

Muchas fórmulas experimentales para la descarga sobre el vertedero de cresta delgada se han desarrollado. La mayoría de tales fórmulas se pueden expresar de modo general $Q = CLH^{2/3}$. En donde se es el coeficiente de descarga, L es la longitud efectiva de la cresta del vertedero y H es la altura media sobre la

cresta del vertedero hasta el nivel del agua en una distancia para el cual el efecto del vertedero no es significativo.

Para la deducción de las ecuaciones de parte del análisis de la figura 1 en donde se considera que los límites superiores e inferiores de manto del agua se encuentran a la presión atmosférica, pero que debido a la curvatura de la salida del vertedero no se logra la presión atmosférica en una sección recta, sino un poco más adelante en donde se presenta una sección de espesor menor como lo cual incluye el concepto de coeficiente de contracción en el desarrollo de la fórmula.

aplicando la ecuación de Bernoulli a lo largo de la línea de corriente entre un punto ubicado aguas arriba del vertedero, donde el efecto de la curva del agua producido por el vertedero haya desaparecido, y el punto C se obtiene de la siguiente ecuación.

$Q_{ideal} = \frac{2}{3} (2g)^{1/2} H^{3/2}$	<i>Ecuación 1</i>
--	-------------------

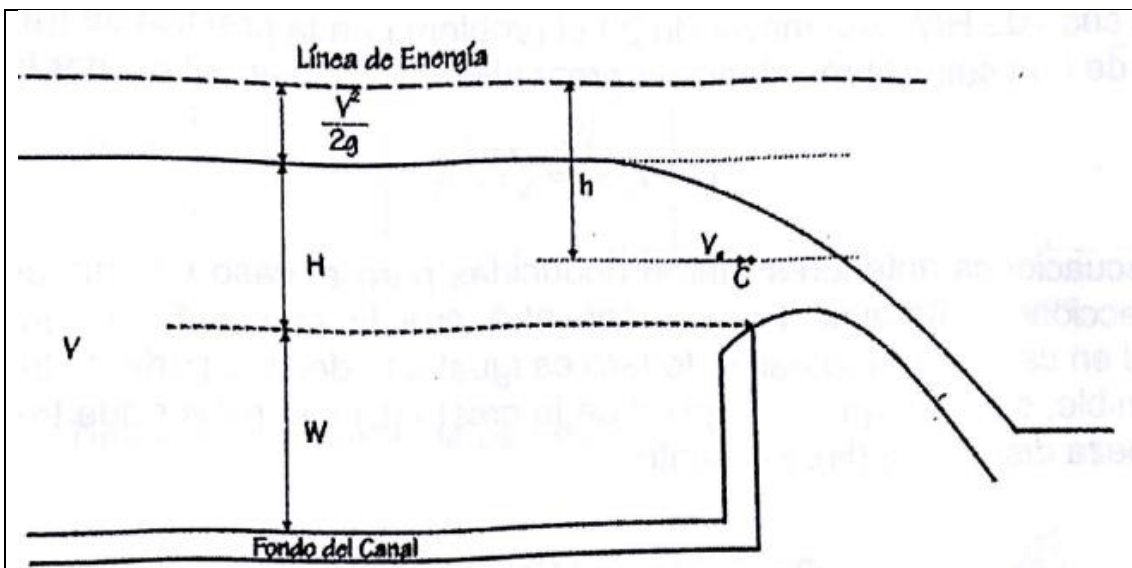


Ilustración 1: Veredero de pared delgada

Para obtener el caudal real hay necesidad de incluir, aunque eficiente que tenga en cuenta los efectos de viscosidad, pérdidas como distribución aerostática de presiones sobre el vertedero. De esta forma el caudal real está dado por la fórmula

$Q = \frac{2}{3} C_d (2g)^{1/2} b H^{3/2}$	<i>Ecuación 2</i>
--	-------------------

Dónde:

b: longitud de la cresta del vertedero

H: Altura del agua por encima de la cresta del vertedero

C_d : coeficiente de descarga, la determinación exacta de este coeficiente ha requerido estudios experimentales y existen diferentes fórmulas para calcular. Una forma que ha proporcionado buenos resultados es la conocida fórmula de Rehbock:

$C_d = 0.602 + 0.083 \frac{H}{W}, \text{ en unidades metricas}$	<i>Ecuación 3</i>
---	-------------------

Válida para

$$30 \text{ mm} < H < 750 \text{ mm} \quad b > 300 \text{ mm} \quad W > 100 \text{ mm} \quad H < W$$

Cuando le ve muy grande el segundo término en la ecuación de C_d tiende a cero y el coeficiente C_d a 0.602 escribiéndose la ecuación 2 como:

$Q = 1.778 b H^{3/2}$	<i>Ecuación 4</i>
-----------------------	-------------------

En el caso de H/W sea mayor de 20 el problema en la práctica se transforma en el de una caída libre, siendo la profundidad igual a la crítica, Por tanto:

$Q = V_c A_c = \sqrt{g y_c b}$	<i>Ecuación 5</i>
--------------------------------	-------------------

Las ecuaciones anteriores fueron deducidas para el caso de vertederos incontrolados en laterales. Francis encontró que la cantidad de contracción lateral en cada extremo del vertedero es igual a la décima parte de la cabeza disponible, siempre que la longitud de la cresta (L) sea mayor que tres veces la cabeza disponible (H). por tanto:

$Q = \frac{2}{3} C_c (b - 0.1 N H) (2g)^{1/2} H^{3/2}$	<i>Ecuación 6</i>
--	-------------------

Siendo N el número de contracciones igual a dos para un vertedero de pared delgada contraído

La descarga de los vertederos de abertura triangular o en V; Se determina de forma similar al desarrollo analítico realizado con los vertederos rectangulares, obteniéndose:

$Q = \frac{8}{15} C_d \tan(\alpha/2) (2g)^{1/2} H^{5/2}$	<i>Ecuación 7</i>
--	-------------------

Siendo un ángulo de 90° el más empleado para la abertura, encontrándose que para este tipo de vertederos el coeficiente de descarga se aproxima a 0.585, la ecuación anterior da:

$Q = 1.38 H^{5/2}$	<i>Ecuación 8</i>
--------------------	-------------------

Aunque con mediciones experimentales se ha logrado resultados más exactos mediante la fórmula corregida:

$$Q = 1.3372 H^{2.48}$$

Ecuación 9

Los vertederos triangulares están limitados a flujos menores de 300 L por segundo

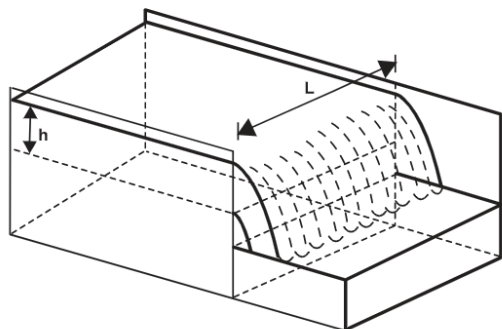


Ilustración 2: Vertedero rectangular sin contracción [1]

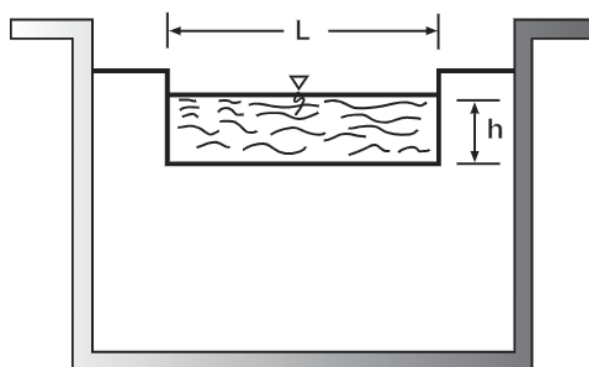


Ilustración 3: Vertedero rectangular con contracción [1]

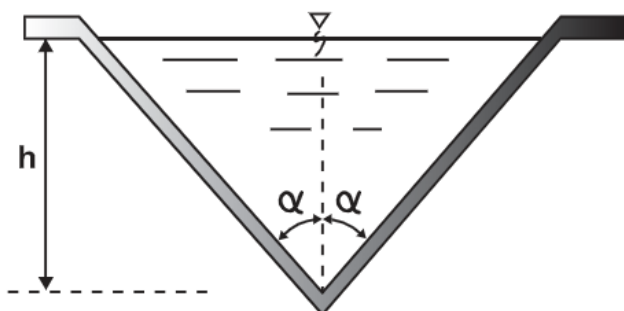
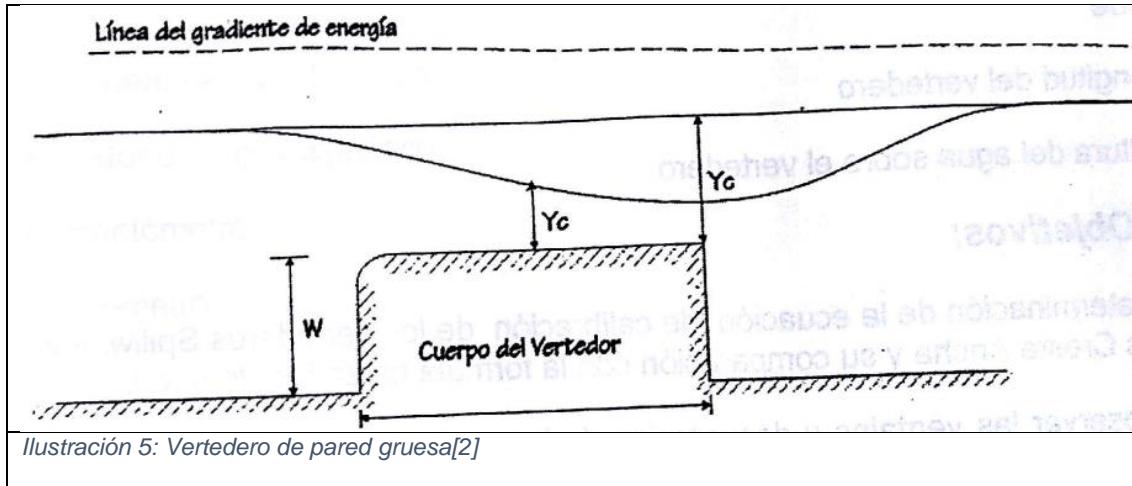


Ilustración 4: Vertedero triangular [1]

1.1. Vertederos de pared gruesa

aplicando el principio de conservación del momentum al flujo sobre un vertedero de cresta ancha



La fórmula para obtener el caudal de un vertedero de pared provincial se puede obtener a partir del análisis de condiciones críticas sobre el vertedero

$Q_{ideal} = V_c A_c = \sqrt{g y_c} b$	Ecuación 10
--	-------------

La profundidad crítica en el canal rectangular con una energía específica disponible H está dada por:

$y_c = \frac{2}{3} H$	Ecuación 11
-----------------------	-------------

Reemplazando el valor de Yc e incluyendo el coeficiente Cd se tiene:

$Q_{ideal} = b C_d \sqrt{g \frac{2}{3} H^{3/2}}$	Ecuación 12
--	-------------

simplificando valores se tiene:

$Q_{ideal} = 1.705 C_d b H^{3/2} = C b H^{3/2}$	Ecuación 13
---	-------------

1.2. Vertederos tipo Spillway

La ecuación de descarga de los vertederos tipo Spillway es similar a los vertederos de pared gruesa con la diferencia que el exponente de H es desconocido.

$$Q = C_d b H^n = C H^n$$

Ecuación 14

Dónde:

B: longitud del vertedero

H: altura del agua sobre el vertedero[3]

2. Objetivos:

- 1) Determinación de la ecuación de calibración de los vertederos Spillway y de cresta ancha y su comparación con la fórmula estándar.
- 2) Observar las ventajas y desventajas de los vertederos como estructuras de aforos.

3. Procedimiento:

3.1. Vertedero tipo Spillway

- 1) medir la longitud del vertedero tipo Spillway
- 2) encender el sistema de bombeo, hacer circular el caudal por el canal de vidrio y esperar que el flujo sea estable en el tanque modelos.
- 3) fijar un caudal cualquiera, esperar que se estabilice el flujo, tomar la lectura en el medidor de flujo magnético y medir para este caudal la respectiva altura H en el vertedero Spillway
- 4) repetir el paso anterior para diferentes caudales.

3.2. Vertedero cresta ancha

- 1) Medir en el vertedero sus dimensiones longitud y altura W.
- 2) hacer rebozar el agua en el tanque elevado.
- 3) Efectuar foros con el molinete para un caudal cualquiera y tomar la altura Hv en el vertedero.
- 4) repetir el paso anterior para diferentes caudales.

4. Equipo utilizado:

- Vertedero Spillway
- Vertedero de pared gruesa
- Medidor de flujo magnético
- Correntómetro
- Cronometro
- Reglilla o metro

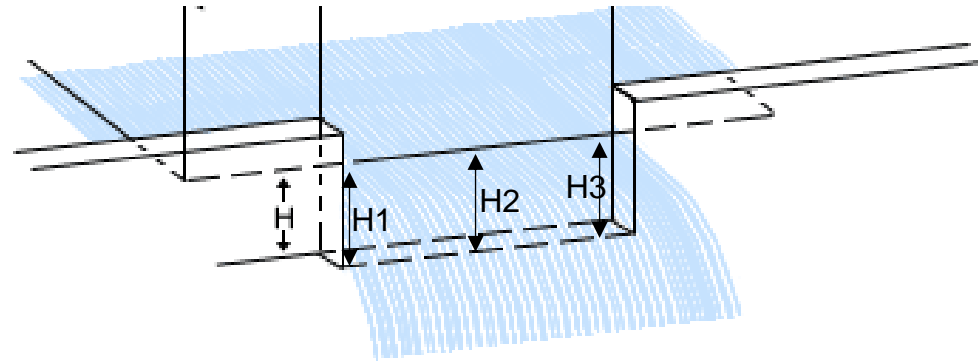
5. Datos

Caudal [m ³ /s]	H [cm]
21.66	5.9
21.88	5.8
21.77	5.8

Caudal [m ³ /s]	H [cm]
21.17	5.5
21.19	5.4
21.18	5.3

Caudal [m ³ /s]	H [cm]
18.03	5.0
18.09	5.1
18.06	4.8

Caudal [m ³ /s]	H [cm]
15.06	4.8
14.95	4.5
15.01	4.7



Caudal [m ³ /s]	H [cm]
12.13	4.0
11.95	4.0
12.04	4.2

6. Cálculo tipo

Caudal del medidor de flujo magnético es 32 L/s, para calibrar la ecuación de vertedero:

$$Q = C H^n$$

Para poder utilizar la regresión lineal para el ajuste de la ecuación de descarga del vertedero se requiere linealizar una función, para ello se toman logaritmos en ambos lados de la ecuación obteniéndose:

$$\ln Q = \ln C + n \ln H$$

Haciendo:

$$Y = \ln Q \quad a = \ln C \quad b = n \quad X = \ln H$$

Se tiene:

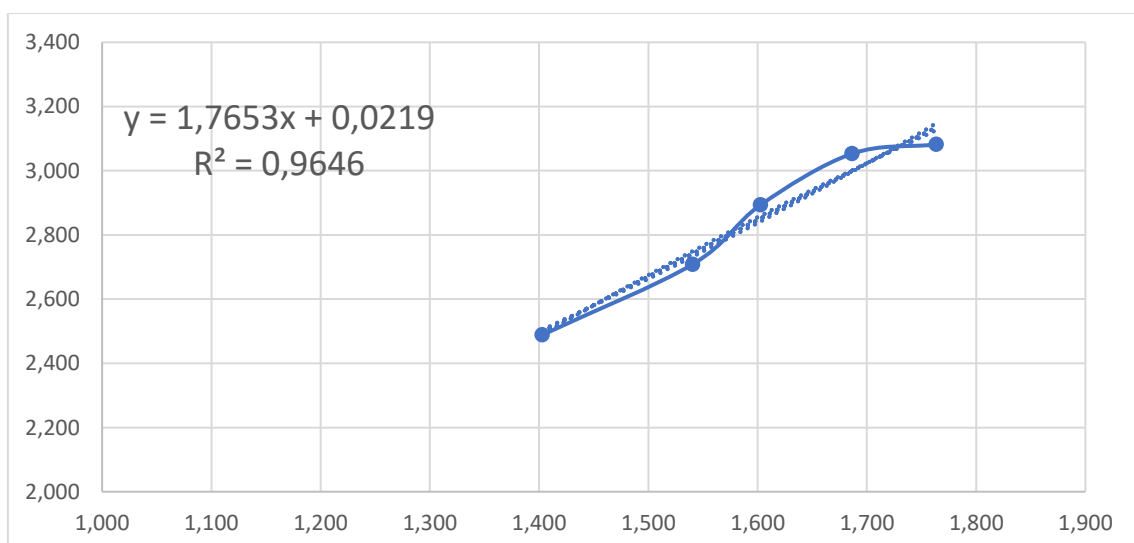
$$Y = a + bx$$

Que la forma de linealidad de la ecuación de descarga con parámetros a y b son desconocidos y se van empleando los datos Q y H encontrados experimentalmente.

los valores de a y b se determinan por medio de la gráfica

Ln(Q)	Ln(H)
3,081	1,764
3,053	1,686
2,894	1,603
2,708	1,540
2,488	1,403

El logaritmo se aplica al promedio de caudal y altura del agua



$$a = 0.0219 \quad b = 1.7653 \quad c = 1.022$$

Y tenemos

$$Q_t = 1.022 * 5.8^{1.7653} = 22.89 \frac{L}{s}$$

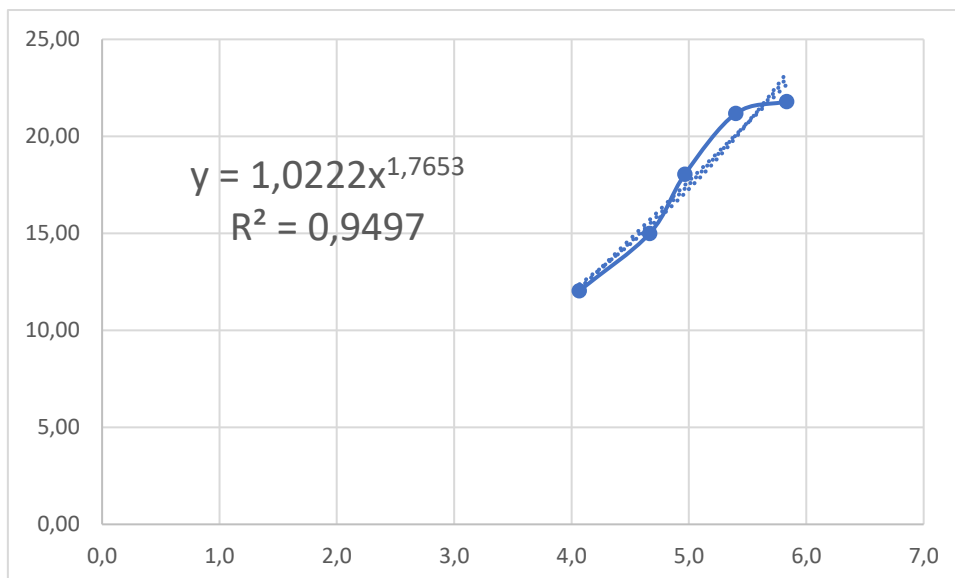
Porcentaje de error de Q:

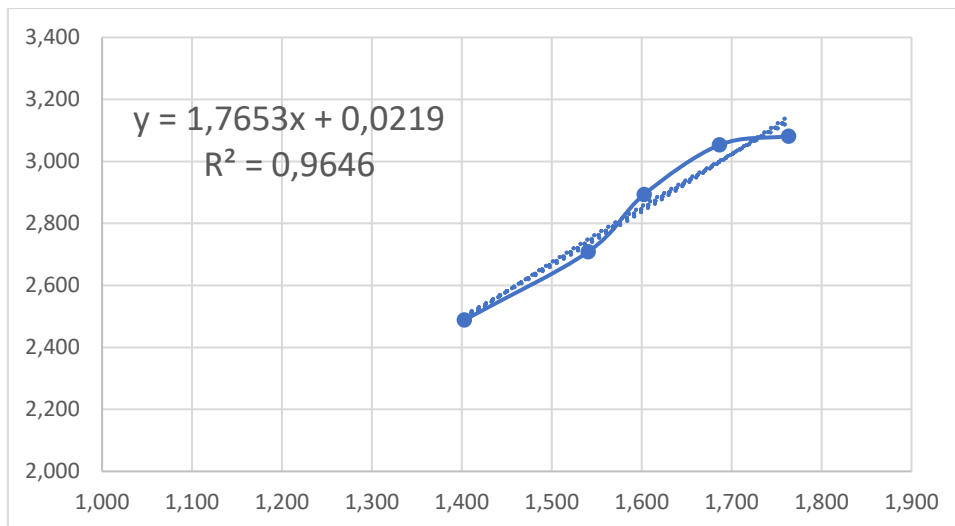
$$\% EQ = \frac{(Q_t - Q_{ex})}{Q_t} * 100$$

$$\% EQ = \frac{(21.8 - 22.75)}{21.8} * 100 = 5\%$$

7. Resultados:

Qteo	Qexp	%E
21,80	22,89	5,00%
21,18	19,98	5,69%
18,06	17,24	4,56%
15,01	15,44	2,93%
12,04	12,12	0,64%





8. Observaciones y conclusiones

¿Cuáles son las principales limitaciones del uso de vertederos de pared delgada para la medición de caudales en canales abiertos?

qué precauciones debe tener en cuenta el ingeniero durante el diseño y construcción de un vertedero de pared delgada?

en qué casos es más recomendable usar vertederos de pared delgada o de pared gruesa para la medición de caudales?

cuáles son los principios de la hidráulica sobre los cuáles están basadas las ecuaciones de descarga de un vertedero de pared gruesa y 1 de pared delgada.

9. Referencias Bibliográficas

- [1] M. V. Béjar, *Hidráulica de canales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008.
- [2] V. T. CHOW, *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS*. Santafe de Bogota: McGraw-Hill, 2000.
- [3] G. E. GAVILAN LEON, *GUIA DE LABORATORIO DE HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS*. Bucaramanga: UISEscuela de Ingenieria Civil, 2001.