

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**MANUAL DE PRÁCTICAS:**

**“MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE”**

**EXPERIENCIAS EDUCATIVAS:**

**HIDRÁULICA BASICA  
HIDRAULICA DE TUBERIAS Y CANALES**

Autores:

Dr. Rabindranarth Romero López  
Dr. Demetrio Nieves Mendoza  
Dr. Miguel Ángel Baltazar Zamora  
Mtro. Guillermo Fox Rivera  
Mtro. José Manuel Jiménez Terán

Xalapa, Ver., México. Agosto 2009

## ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	04
<b>Práctica 1:</b> Descripción y funcionamiento del canal de pendiente variable .....	06
<b>Práctica 2:</b> Conocimiento de las características geométricas del prototipo del canal.....	09
<b>Práctica 3:</b> Determinación de la velocidad que puede llegar a presentar el flujo en dicho canal .....	13
<b>Práctica 4:</b> Obtención del gasto mediante la experimentación con diferentes pendientes del prototipo del canal .....	17
<b>Práctica 5:</b> Determinación con base a la experimentación de la velocidad si el flujo es crítico, subcrítico o supercrítico del prototipo del canal .....	20
<b>Práctica 6:</b> Experimentación en el canal para identificar el salto hidráulico .....	24
<b>Práctica 7:</b> Experimentación en el canal para identificar el salto hidráulico después de algunas estructuras .....	28
<b>Práctica 8:</b> Comprobación del salto hidráulico presentado después de una compuerta .....	31

## Introducción

El ser humano, presenta un aprendizaje significativo cuando lo aprendido tiene lógica o sentido; cuando tiene la capacidad de relacionarlo, inferirlo, de otra manera el aprendizaje sería sólo memorístico, sin lógica, mecánico. El conocimiento adquirido significativamente, se verá reflejado en el uso como herramienta, desarrollo, habilidad de relacionarlo, en el momento, o en un futuro, donde se esté frente a la necesidad de resolver un problema que requiera el conocimiento previo.

Una de las formas de obtener un aprendizaje significativo es la comprobación, pero ésta se puede llevar a cabo cuando se cuenta con el conocimiento, el material y/o los recursos necesarios. Algunos de estos recursos son los modelos, que representan una parte de la realidad para explicar los fenómenos que ocurren en ella.

Existen diversos tipos de modelos, como matemáticos, analógicos, conceptuales sin embargo el modelo que será llevado a cabo y por lo tanto del que se hablará a lo largo de este manual, es el modelo físico de un canal de pendiente variable. Donde se ejemplificarán las características que presentan, como secciones más comunes, la velocidad que presenta el flujo en los diferentes puntos de la sección, la obtención del gasto en base a la velocidad y la pendiente así como el estudio de los fenómenos que se presentan a través de dicho canal tales como el salto hidráulico, el salto hidráulico después de una compuerta, remanso. Mismos que han sido estudiados por científicos que desarrollaron teorías que se podrán comprobar a través de este modelo.

Por lo tanto, el objetivo de este manual, es estudiar los fenómenos que se presentan en un canal de pendiente variable, y con ello obtener un aprendizaje significativo. Es por eso, que se proponen diversos experimentos a manera de prácticas y condiciones que pueden llegar a presentarse.

Para el aprovechamiento del manual, es necesario contar con las prácticas pertinentes a las experiencias educativas de Hidráulica Básica e Hidráulica de Tuberías y Canales para estudiar y comprobar los fenómenos físicos que ocurren en los canales y que teóricamente son expuestos en clase, y por lo tanto aquí surge la importancia de la *verificación de las leyes básicas de hidráulica del canal de pendiente variable mediante la experimentación*, donde se han planteado algunas prácticas haciendo una combinación del conocimiento teórico y la práctica.

## **Práctica 1: Descripción y funcionamiento del canal de pendiente variable.**

### **Sustento teórico de la práctica**

Para verificar algún fenómeno en el canal, el alumno en primer lugar tendrá que constatar todas las partes que constituyen el modelo de canal de pendiente variable, y como funcionan cada uno de sus componentes. Es decir, comenzando por la bomba, el mecanismo de elevación, la ausencia de fugas, y si el contenedor es eficiente para el volumen de agua requerido.

El modelo del canal de pendiente variable, cuya sección es rectangular, presenta las siguientes características:

Para obtener la pendiente, recordaremos que es la relación que existe entre la altura y longitud, es decir:

$$S = \frac{y}{x}$$

Donde:

y, es el desnivel en cm.

x, es la longitud del canal en cm.

### **Descripción de la práctica**

Que el alumno conozca todas las partes que constituyen un canal de pendiente variable y que comprendan como funcionan cada uno de los elementos en que está compuesto.

Calcular la pendiente de un canal mediante para poder evaluar el gasto y la velocidad que escurren, de acuerdo a variables conocidas y medidas en el laboratorio.

### **Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para la realización de la práctica:**

- a) Se Identificarán las partes que conforman un canal.
- b) Confirmar que el contenedor tuviese agua al 95% de su capacidad aproximadamente, para garantizar el abasto de agua.
- c) Verificar que la bomba estuviese conectada mediante las mangueras al afluente y al contenedor
- d) Encender la bomba, para tratar de tener un flujo uniforme.
- e) Manipular el volante para elevar el canal, y elevarlo a 7 cm, mismo para comprobar el buen funcionamiento del mecanismo de elevación.
- f) Al momento de elevar el canal, visualizar la pendiente y realizar el cálculo de la misma.

### **Experimentación**

Considerar que la longitud del modelo es conocida, esto es tiene un largo de 240 cm, y con la elevación calculada en forma directa mediante el uso de instrumentos de medición obtener su incremento y aplicar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{y}{x}$$

### **Material:**

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

## Bibliografía:

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

## **Práctica 2: Conocimiento de las características geométricas del prototipo del canal**

### **Sustento teórico de la práctica**

Un canal es un conducto que permite el transporte de un flujo, en la cual una superficie está expuesta a la presión atmosférica.

Por su geometría, los canales pueden clasificarse en trapeziales, triangulares, rectangulares, circulares, parabólicos.

Los elementos geométricos más importantes de un canal son:

**TIRANTE:** es la distancia y perpendicular a la plantilla, medida desde el punto más bajo de la sección hasta la superficie libre del agua.

**ANCHO DE SUPERFICIE LIBRE:** es el ancho  $t$  de la sección de del canal, medido al nivel de la superficie libre.

**ÁREA HIDRÁULICA:** es el área  $A$  ocupada por el flujo en la sección del canal.

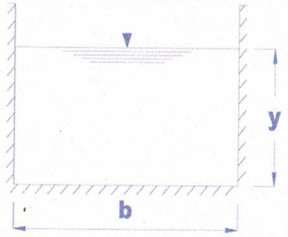
**PERÍMETRO MOJADO:** es la longitud  $P$  de la línea de contacto entre el agua y las paredes del canal, no incluye a la superficie libre.

**RADIO HIDRÁULICO:** es el cociente  $R$  del área hidráulica y el perímetro mojado.

**GRADIENTE HIDRÁULICO:** como el líquido que circula por un canal no tiene variaciones en su presión sino que siempre se conserva a la presión atmosférica, la línea del gradiente hidráulico coincide con la superficie libre

Debido a que el canal a estudiar presenta una sección rectangular, se presenta las características y fórmulas para su obtención.



Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico $R=a/p$	Ancho superficie libre t	Tirante medio
<b>Rectangular</b> 	$b y$	$b + 2y$	$\frac{b y}{b + 2y}$	$b$	$y$

### Descripción de la práctica.

Identificar las características hidráulicas de un canal rectangular de pendiente variable tales como el tirante, ancho de la superficie libre, área hidráulica, perímetro mojado para calcular el radio hidráulico.

### Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para la realización de la práctica:

- Colocar el canal con una elevación definida por el alumno y calcular la pendiente.
- Encender la bomba para que el flujo comience a pasar a través del canal.
- Seleccionar un punto del canal, y asígnesele el nombre de sección A, y medir el tirante que se presenta en ese lugar.
- Encontrar el perímetro mojado
- Calcular el tirante hidráulico.
- Una vez obtenido el perímetro mojado, se obtuvo el radio hidráulico igualmente mediante la fórmula correspondiente.

- g) Realizar los cálculos pertinentes de acuerdo a las fórmulas dadas anteriormente.
- h) Repetir el procedimiento modificando la pendiente y observar los diferentes resultados al momento de aumentar o disminuir la pendiente.

**Material:**

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

**Bibliografía:**

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

### Práctica 3: Determinación de la velocidad que puede llegar a presentar el flujo en dicho canal.

#### Sustento teórico de la práctica

Para considerar el tipo de flujo al que pertenece el que en un instante esté presentándose en el canal, es necesario conocer una variable, en este caso la velocidad.

La pérdida de carga por fricción ha sido estudiada por Chezy, cuyas leyes que la rigen son:

- 1) Es proporcional a la longitud del canal
- 2) Es inversamente proporcional al diámetro del cana
- 3) Es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de circulación.

Chezy desarrolla la fórmula de obtención de velocidad para canales, sólo cuando el régimen es uniforme

$$v = C\sqrt{R s}$$

Donde:

v= velocidad flujo

C= coeficiente que depende del material, radio hidráulico, pendiente hidráulica y condiciones del canal. Ha sido desarrollado por varios investigadores, sin embargo el más aceptado es el propuesto por Manning.

R= Radio hidráulico

s= pendiente

Al hacer pruebas, Manning expresa el factor de Chezy en la forma:

$$C = \frac{1}{n} R_h^{1/6} / s$$

Que sustituido en la fórmula de velocidad, resulta:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} s^{1/2}$$

Donde :

V= velocidad del flujo (m/s)

n= coeficiente de rugosidad dependiendo el tipo de material de las paredes del canal

R= Radio hidráulico (m)

s= pendiente (m)

El material utilizado en este canal, es el acrílico, mismo que se considera muy liso, sin obstrucción alguna, y Manning determinó un coeficiente de rugosidad de:

MATERIAL	N
Paredes muy lisas (esmalgadas)	0.009

### Descripción de la práctica.

Analizar la relación entre radio hidráulico y área para obtener la velocidad del flujo en un canal, así como estudiar los factores que influyen en dicha velocidad tales como el coeficiente de rugosidad de las paredes y la pendiente.

**Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para la realización de la práctica:**

- Se colocó el canal con una pendiente  $s=0.0025$ .
- Calcular el tirante hidráulico
- Calcular el radio hidráulico mediante fórmula.

- d) Debido a que las paredes del canal son lisas, se consideró un coeficiente  $n = .009$  y calcular la velocidad del flujo

### Experimentación

Calcular el perímetro mojado

$$\text{Perímetro mojado} = b + 2y$$

Calcular el área de la sección. El área de una sección rectangular es base por altura, equivalente a:

$$A = by$$

Donde  
 $b$  = ancho de la superficie libre  
 $y$  = tirante

Finalmente obtener el Radio Hidráulico, aplicando la fórmula:

$$\frac{by}{b + 2y} = \frac{\text{área}}{\text{perímetro mojado}}$$

Una vez obtenidos las características anteriores, calcular la velocidad del flujo en el canal.

Velocidad:

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

### Material:

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

## Bibliografía:

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

## Práctica 4: Obtención del gasto mediante la experimentación con diferentes pendientes del prototipo del canal.

### Sustento teórico de la práctica

Tomando como antecedente teórico el contenido de la práctica 3 y conociendo que:

$$Q = Av$$

Donde:

Q = Es el gasto

A = Área de la sección

v = Velocidad

Y sustituyendo en la ecuación de velocidad en canales:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde :

V= velocidad del flujo (m/s)

n= coeficiente de rugosidad dependiendo el tipo de material de las paredes del canal

R= Radio hidráulico (m)

s= pendiente (m)

El cálculo del gasto en un flujo uniforme, puede plantearse con base en la fórmula de Chezy-Manning, que el principio de continuidad permite presentar en la siguiente forma:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

A = Área de la sección

R= Radio Hidráulico

S = Pendiente

n = Coeficiente de rugosidad

### **Descripción de la práctica**

La importancia de la pendiente, se ve reflejada en la velocidad, que al mismo tiempo es proporcional al gasto que se presente en el canal. En este apartado se tratará de comprobar esa relación existente, es decir con base al principio de continuidad en las tuberías, en este caso aplicado al canal. Mediante la fórmula de Chezy-Manning correspondiente al flujo uniforme.

### **Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para la realización de la práctica:**

- a) Elevar el canal 5 cm. posteriormente, encender la bomba.
- b) Calcular la pendiente, tirante, área hidráulica, perímetro mojado, y para calcular el radio hidráulico.
- c) Considerar que el coeficiente de rugosidad es de  $n= 0.009$ .
- d) Con estos datos, calcular el gasto en la sección A del canal.

### **Experimentación**

Calcular la pendiente con el procedimiento que en prácticas anteriores, para una elevación de 5 cm.

Medir el tirante directamente.

Calcular el perímetro mojado =  $b + 2y$



Posteriormente, obtener el área de la sección A. El área de una sección rectangular es base por altura, equivalente a:

$$A = by$$

Donde:

b= ancho de la superficie libre

y= tirante

Finalmente, calcular el Radio Hidráulico, aplicando la fórmula:

$$\frac{by}{b + 2y} = \frac{\text{área}}{\text{perímetro-mojado}}$$

Para obtener el Gasto, utilizar la fórmula de Chezy-Manning:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde el gasto Q se expresa en m<sup>3</sup>/s

### ***Ejercicio complementario.***

Al término del experimento calcular distintos gastos con diferentes pendientes, realizado el mismo procedimiento presentado en la práctica 4.1, con la variante de la pendiente y hacer una tabla comparativa, donde se muestren las diversas pendientes y los gastos obtenidos.

### **Material:**

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

**Bibliografía:**

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

## Práctica 5: Determinación con base a la experimentación de la velocidad si el flujo es crítico, subcrítico o supercrítico del prototipo del canal.

### Sustento teórico de la práctica

Uno de los criterios para clasificar el estado de un flujo es el efecto de la gravedad respecto a la inercia del escurrimiento. En este caso, se recurre al número de Froude:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gA/T}}$$

Donde:

$g$  = aceleración de gravedad en  $m/s^2$

$A$  = área hidráulica de la sección en  $m^2$

$T$  = ancho de la superficie libre de la sección en  $m$

$V$  = velocidad media en la sección en  $m/s$

El término  $A/T$  es también el tirante hidráulico y sólo en canales rectangulares es igual al tirante. Que relaciona la inercia con las fuerzas gravitatorias. El denominador  $gA/T$  es, como la velocidad de ondas gravitatorias de pequeña amplitud.

Cuando  $F_r > 1$  la inercia domina a las fuerzas gravitatorias, de modo que la velocidad del flujo es mayor que la de ondas de gravedad (como las de presión) y se dice entonces que la información viaja hacia aguas abajo. En efecto, si se arroja un objeto a un flujo en estas condiciones, se observará que las ondas superficiales producidas no pueden viajar hacia aguas arriba. En estas condiciones, se dice que el flujo es **supercrítico**.

Cuando  $F_r < 1$  sucede exactamente lo contrario a lo expuesto anteriormente, y se dice entonces que el flujo es **subcrítico**.

Cuando  $F_r = 1$  la velocidad del flujo es igual a la de las ondas superficiales y el flujo se denomina **crítico**.

### Descripción de la práctica:

Identificar con base a la velocidad, el tipo de flujo al que pertenece, como puede ser el régimen supercrítico o subcrítico mediante el número de Froude.

### Procedimiento:

- a) Elevar el canal 4.0 cm, y calcular su pendiente.
- b) Obtener el radio hidráulico para calcular la velocidad del flujo
- c) Aplicar la fórmula del número de Froude y analizando si el tipo de flujo es crítico, subcrítico o supercrítico.

### Experimentación

Calcular una pendiente en función de la elevación del canal.

Obtener el perímetro mojado

Calcular la velocidad, utilizando la fórmula:

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Para considerar el Tipo de flujo al que pertenece, utilizar el Número de Froude, cuya fórmula es:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gA/T}}$$

Tomar las consideraciones descritas para:

Cuando  $F_r > 1$  la inercia domina a las fuerzas gravitatorias, de modo que la velocidad del flujo es mayor que la de ondas de gravedad (como las de presión) y se dice entonces que la información viaja hacia aguas abajo. En efecto, si se arroja un objeto a un flujo en estas condiciones, se observará que las ondas superficiales producidas no pueden viajar hacia aguas arriba. En estas condiciones, se dice que el flujo es **supercrítico**.

Cuando  $F_r < 1$  sucede exactamente lo contrario a lo expuesto anteriormente, y se dice entonces que el flujo es **subcrítico**.

Cuando  $F_r = 1$  la velocidad del flujo es igual a la de las ondas superficiales y el flujo se denomina **crítico**.

**¿A qué tipo de flujo corresponde y por qué?**

Realizar el mismo procedimiento pero ahora elevar el cana a 1.8 cm

Has una tabla comparativa y escribe las diferencias entre los resultados obtenidos.

**¿Por qué son diferentes los flujos? (Apoya tu respuesta en la teoría anteriormente descrita)**

**Material:**

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

## **Bibliografía:**

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

## Práctica 6: Experimentación en el canal para identificar el salto hidráulico

### Sustento teórico de la práctica:

La evidencia experimental muestra con toda claridad que la transferencia del régimen supercrítico a subcrítico es en forma brusca, acompañada de mucha turbulencia y gran pérdida de energía. Al entrar el agua a la zona del resalto, se reduce rápidamente la gran velocidad del flujo, ocurre un incremento brusco del tirante que virtualmente rompe el perfil del flujo, y se produce un estado de gran turbulencia y pérdida de energía propia del fenómeno. El salto hidráulico ocurre con fuertes pulsaciones, como si el agua entrara en ebullición, indicación visible de la inclusión de aire. Después de un incremento irregular y brusco de la superficie del agua, la energía específica final es con frecuencia la apropiada para establecer un tirante casi igual al normal en un tramo relativamente corto del canal aguas abajo, el frente turbulento se regulariza de manera inmediata y continúa libremente en régimen subcrítico.

El salto hidráulico constituye la única manera posible de cambiar el régimen supercrítico a subcrítico. Con frecuencia ocurre al pie de la descarga de una compuerta reguladora, de un cimacio, o de un cambio de pendiente

La ecuación general del salto hidráulico es:

$$Z_{G1}A_1 + \frac{Q^2}{gA_1} = Z_{G2}A_2 + \frac{Q^2}{gA_2}$$

Donde:

- $A_1$  y  $A_2$  Son las áreas hidráulicas de las secciones 1 y 2 respectivamente.
- $Z_{G1}$  y  $Z_{G2}$  Son las distancias verticales a los centros de gravedad de las áreas respectivas desde la superficie del agua
- $V_1$  y  $V_2$  Son las velocidades medidas en las secciones 1 y 2 respectivamente

Para el caso de secciones rectangulares, que es el de este canal, se hacen simplificaciones a la ecuación general, quedando:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{8q^2}{gh_1^3}} \right)$$

Recordando la definición del número de Froude, puede verificarse fácilmente la validez de la siguiente expresión:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + 8Fr_1^2} \right)$$

### Descripción de la práctica:

Identificar el salto hidráulico y analizar los fenómenos que se presente en un canal de pendiente variable, así como los factores que lo determinan, para diseñar la alternativa a proyectar para evitar el salto hidráulico o hacer uso de él.

### Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para a realización de la práctica:

- a) Fijar el canal con una elevación de 2.4 cm y calcular su pendiente.
- b) Colocar el dispositivo para generar el salto hidráulico, en este caso el de sección rectangular, en la parte correspondiente del canal.
- c) Prender la bomba, y esperar un lapso de 1 minuto aproximadamente, para que el agua sobrepase el obstáculo y medir el tirante  $h_1$  y  $h_2$ , antes y después del salto.
- d) Calcular el número de Froude.
- e) Corroborar mediante la fórmula dichos resultados.



**Experimentación:**

Calcular:

$$h_1$$

Perímetro mojado

Área Hidráulica

Radio Hidráulico

Para calcular la velocidad, se utiliza la fórmula anteriormente empleada (Chazy-Manning):

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Determinar el número de Froude, por medio de:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g A/T}}$$

Después, calcular el tirante  $h_2$ , mediante la fórmula de salto hidráulico.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + 8Fr_1^2} \right)$$

**Material:**

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

Dispositivo para simular el Salto Hidráulico

## Bibliografía:

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

## Práctica 7: Experimentación en el canal para identificar el salto hidráulico después de algunas estructuras

### Sustento teórico de la práctica:

Las estructuras de descarga más comunes en las que se presenta el salto hidráulico son: cimacios, canales de descarga y compuertas. En la figura 2.10 se indican los tres casos a, b y c en el orden mencionado. En estos ejemplos se considera horizontal la plantilla del tanque amortiguador.

En las estructuras que se indican, el salto está sujeto a las leyes ya mencionadas, sin embargo es necesario hacer énfasis en la determinación del tirante conjugado menor  $h_1$ .

Si se trata de un cimacio con descarga libre, las pérdidas son despreciables. Entonces el tirante  $h_1$  a una profundidad  $Z$ , desde la cresta del vertedor, se obtiene con la expresión:

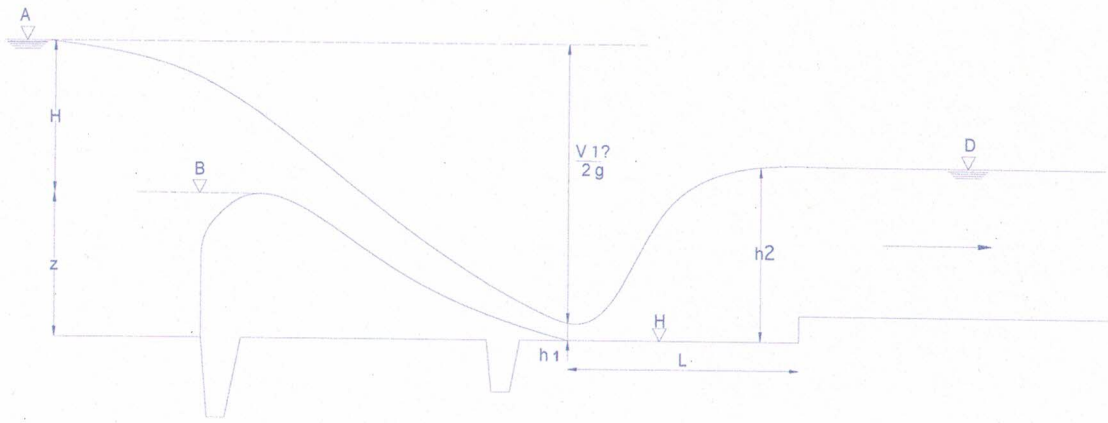
$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z + H$$

(Ec 13)

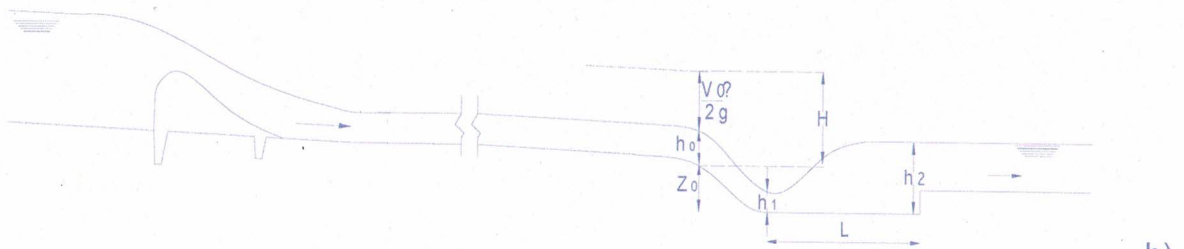
Y el gasto estará regido por la fórmula:

$$Q = C_D LH^{3/2}$$

En que  $C_D$  y  $L$  son respectivamente el coeficiente de descarga y la longitud de cresta del cimacio.

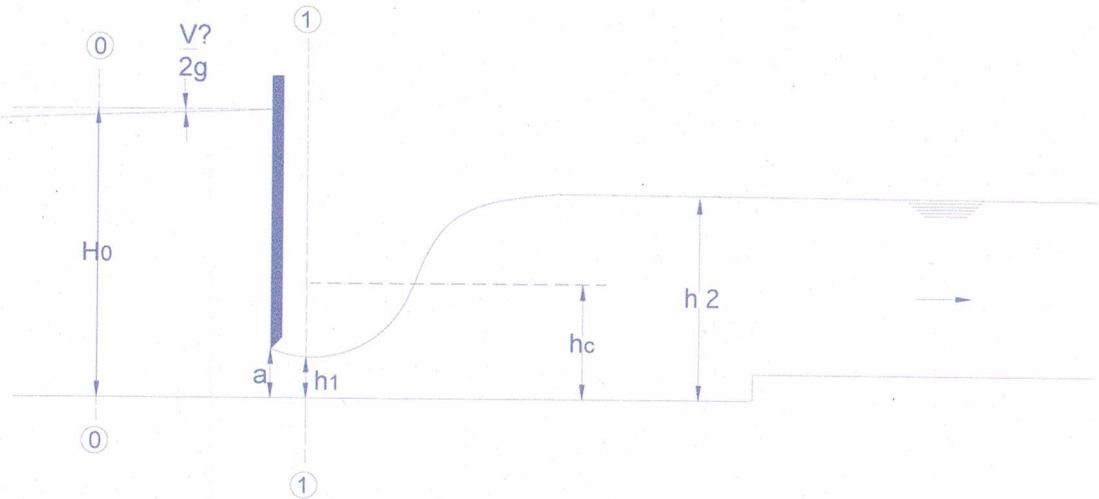


a) Después de un cimacio



después de una descarga

b)



c) después de una compuerta

### Descripción de la práctica:

Estudiar los tipos de salto hidráulico que pueden presentarse tomando como caso de estudio el pie de un cimacio, para que el alumno observe diversos fenómenos físicos y realice los cálculos pertinentes.

### Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para la realización de la práctica:

- a) Colocar el canal con una elevación de 2.4 cm y calcular su pendiente.
- b) Colocar el dispositivo que simula un cimacio en el lugar correspondiente del canal, utilizando el sujetador.
- c) Se encendió la bomba, y pasados un minuto, se midieron los tirantes antes y después del obstáculo.
- d) Mediante la fórmula correspondiente se obtuvo el gasto.

### Experimentación:

Considerar la fórmula de gasto:

$$Q = C_D LH^{3/2}$$

Obtener los valores para L, H y tomar en cuenta que el coeficiente  $C_D = 2$  tal y como lo muestra la imagen.



**Material:**

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

Instrumentos de medición

Dispositivo para simular el cimacio

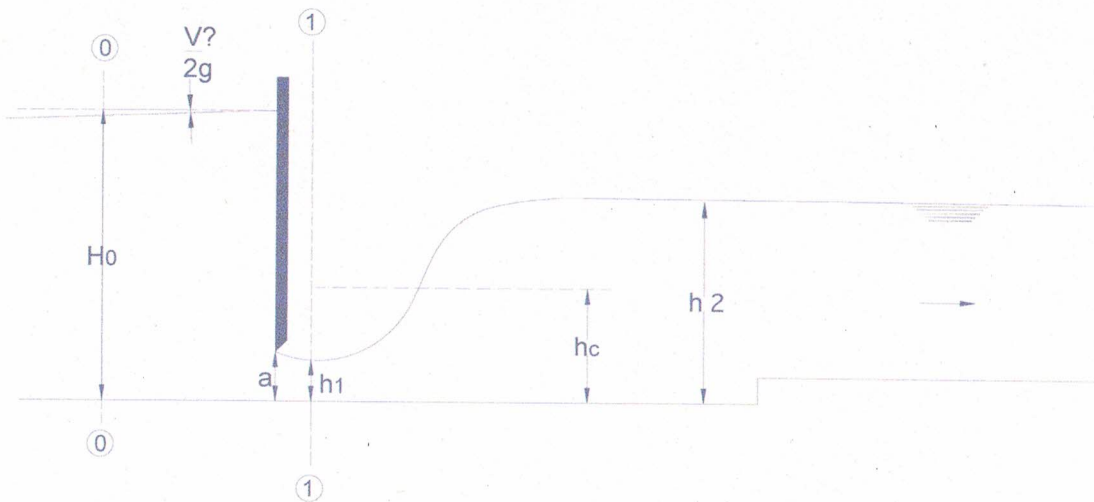
**Bibliografía:**

- Sotelo (2002)  
Hidráulica General Vol. 1- Fundamentos  
LIMUSA Noriega editores.
- Trueba Coronel Samuel (1992)  
Hidráulica  
CECSA (Compañía Editora Continental, S.A. de C.V)
- Enzo Levi (2001)  
El agua según la ciencia  
AMH IMTA
- Gardea Villegas Humberto (1997)  
Hidráulica de canales  
Fundación ICA, A.C.

## Práctica 8: Comprobación del salto hidráulico presentado después de una compuerta

### Sustento teórico de la práctica

Considerando un orificio de pared delgada, como se muestra en la figura se realizará el siguiente análisis.



De la figura anterior, se deduce la aplicación de la ecuación de la energía entre las secciones 0-0 antes de la compuerta y la 1-1, escogida en la zona contracta del chorro se tiene:

$$H_0 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + k \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\text{y si } \phi = \frac{1}{\sqrt{k+1}}$$

$$H_0 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g\phi^2}$$

En que  $\phi$  es el coeficiente de velocidad que varía de 0.85 a 0.97 para fondo horizontal y su valor aumenta mientras menor es la diferencia entre el ancho del

canal y el de la compuerta. De la expresión anterior se observa que la velocidad es:

$$V_1 = \phi \sqrt{2g(H_0 - h_1)}$$

Ahora bien,  $h_1$  es una función de la apertura de la compuerta  $a$  y del coeficiente de contracción  $C_c$  dada por la relación:

$$h_1 = C_c a$$

Para compuertas rectangulares pueden usarse los coeficientes obtenidos por Yukovsky, que se indican en la siguiente tabla para algunos valores de la relación  $a/H_0$

Coeficientes obtenidos por Yukovsky para la relación  $a/H_0$

Fuente: Gardea Villegas, Humberto, Hidráulica de Canales. 3ª México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 1999

$a/H_0 <$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.65	0.75
$C_c$	0.611	0.620	0.625	0.630	0.645	0.660	0.675	0.705

De lo anterior se concluye que el gasto unitario  $q$  se puede calcular con la expresión:

$$q = C_c \phi a \sqrt{2g(H_0 - h_1)}$$

### Descripción de la práctica:

Observar y calcular el salto hidráulico que se produce después de una compuerta de pared delgada en un canal de pendiente variable.

### Especificación de las técnicas, procedimientos y normas para la realización de la práctica:

- a) Colocar la compuerta a 3 cm de altura en el canal. Al mismo tiempo, conectar la bomba y dejar pasar tiempo, para que el nivel del agua suba.
- b) Observar el salto hidráulico.



- c) Colocar la compuerta cerrada en el canal. Conectar la bomba y dejar pasar tiempo, para que el nivel del agua suba.
- d) Levantar la compuerta 2 cm. Observar el salto hidráulico.
- e) Colocar la compuerta cerrada en el canal. Conectar la bomba y dejar pasar tiempo, para que el nivel del agua suba.
- f) Se levantó la compuerta 2 cm. E inmediatamente se observó el salto hidráulico. Y se lograron medir los tirantes y distancias requeridas.
- g) Se calculó el gasto con base a los datos obtenidos.

### Experimentación:

Después de haber dejado subir el nivel antes de la compuerta recordando que ésta se encontraba cerrada<sup>1</sup>, y después de abrir la compuerta 2 cm, provocando el salto hidráulico. Medir el tirante y longitud requeridas para calcular el gasto. Determinando las variables  $a$ ,  $H_0$ ,  $h_1$ , y  $C_c=0.620$

Considerando la diferencia entre ancho del canal y la compuerta es casi nula, se consideró el coeficiente de velocidad:  $\phi=0.97$  para el cálculo del Gasto unitario con la siguiente fórmula:

$$q = C_c \phi \cdot a \sqrt{2g(H_0 - h_1)}$$

### Material:

Modelo experimental de un canal de pendiente variable

Bomba Hidráulica

Contenedor de Agua

---

<sup>1</sup> El hecho que estuviese cerrada, no implica que no pasara agua, esto debido a que en el fondo no existía total hermeticidad entre la compuerta y el fondo del canal.