

## **Manual de laboratorio de simulación computacional**

### **Práctica N°4: El Resalto Hidráulico para una Sección Rectangular**

**Fuente del recurso:** Ejemplo tomado del libro Hidráulica de Canales (Villón, 1995) adaptado por el estudiante Eliel David Malaver Nieto en el desarrollo de su trabajo de grado

#### **1. Objetivos de la Simulación**

- ✓ Comprender los conceptos del resalto hidráulico en canales abiertos mediante la implementación de una simulación en la herramienta computacional H-Canales
- ✓ Ejercitar los conceptos adquiridos sobre el resalto hidráulico mediante el desarrollo de un ejemplo orientador
- ✓ Analizar los conceptos del resalto hidráulico mediante la solución de preguntas orientadoras
- ✓ Fortalecer las capacidades de uso apropiado de herramientas tecnológicas aplicadas a la ingeniería civil, en particular la herramienta H-Canales, fortaleciendo el conocimiento teórico-práctico del resalto hidráulico

#### **2. Requerimientos para la Simulación**

- ✓ Sistema operativo Windows
- ✓ Seguir el manual de instrucciones para descargar e instalar el programa H-Canales
- ✓ Preferiblemente poseer la versión 3 del programa H-Canales

### 3. Introducción

El resalto hidráulico generalmente se presenta cuando en una corriente rápida existe algún obstáculo o un cambio brusco de pendiente. Este escenario permite el estudio del resalto hidráulico, ya que en múltiples ocasiones en las que sea necesario estudiar el comportamiento de un flujo, en los cuales se presente un resalto hidráulico, se requerirá que los ingenieros comprendan el fenómeno que está sucediendo y logren sacar el máximo provecho de esta situación.

El resalto hidráulico ocurre en diversos escenarios como lo son:

- ✓ Al pie de estructuras hidráulicas tales como vertederos
- ✓ En los eventos en los que se presenten rápidas
- ✓ A la salida de compuertas con descarga de fondo

El proceso de análisis de este fenómeno tiene muchas aplicaciones prácticas, algunas de estas son:

- ✓ Disipar la energía del agua que fluye sobre estructuras hidráulicas y prevenir de esta manera la socavación aguas debajo de las estructuras
- ✓ Recuperar altura o nivel de agua en el tramo aguas abajo
- ✓ Aumentar el caudal por debajo de una compuerta deslizante manteniendo alejada la profundidad aguas abajo
- ✓ Para la indicación de condiciones especiales de flujo
- ✓ Mezclar químicos utilizados para la purificación del agua
- ✓ Airear el agua en sistemas de suministros urbanos
- ✓ Remover bolsas de aire en las líneas de suministro de agua
- ✓ Prevenir el taponamiento por aire
- ✓ Entre otras aplicaciones prácticas del resalto hidráulico

Estas aplicaciones prácticas para el resalto hidráulico fueron extraídas del libro Hidráulica de Canales Abiertos (Chow, 1994), con el propósito de presentar algunas indicaciones generales sobre el resalto hidráulico para la cuarta práctica del laboratorio de hidráulica.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 El Resalto Hidráulico

El resalto hidráulico es un fenómeno que se presenta en un flujo rápidamente variado, cuando el flujo antes del resalto hidráulico es supercrítico y después de este es subcrítico. Esto se ve evidenciado en un aumento del tirante hidráulico y pérdida de energía por medio de calor. Se pueden producir varios escenarios en los cuales se presenta un resalto hidráulico, por ejemplo, vertederos de demasías, rápidas, salidas de compuertas con descargas por el fondo, entre otros (Villón, 1995).

En cuanto a las ecuaciones propias del resalto hidráulico, la deducción comienza a partir de la ecuación de cantidad de movimiento, aplicándose al análisis de lo que sucede en un resalto hidráulico representado en la *Figura 1* en la cual se establecen los parámetros de análisis.

Se debe tener en cuenta, que las deducciones presentadas a continuación son para un resalto hidráulico que se forma en un canal horizontal o de pendiente pequeña, es decir  $\theta \leq 5^\circ$ .

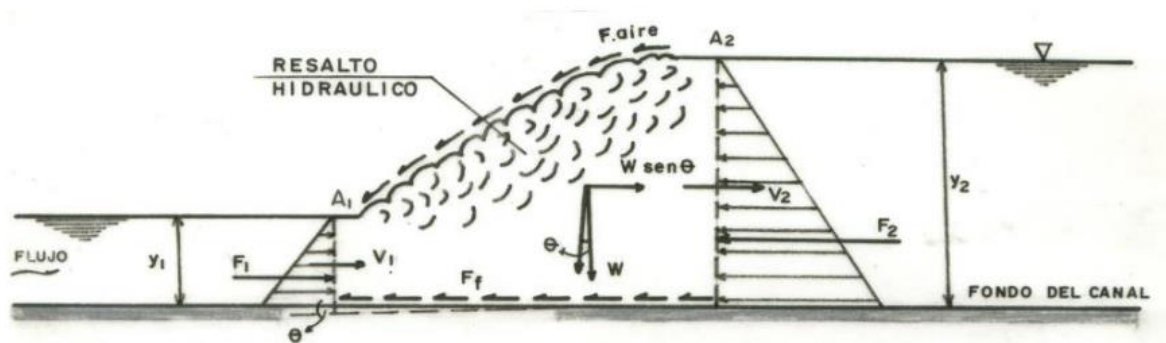


Figura 1 Fuerzas Externas que Actúan sobre un Volumen de Control a través de un Resalto Hidráulico (Marbello, 2005)

A partir del análisis presentado en la *Figura 1*, se procede a aplicar la ecuación de cantidad de movimiento la cual resulta en la siguiente deducción matemática.

Ecuación de cantidad de movimiento aplicada al análisis presentado en la *Figura 1*

$$\sum \vec{F}_{ext} = \oint_{sc} \rho v (\beta v d\vec{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{vc} \rho \beta v dvol \quad (1)$$

Donde:

- ✓  $\rho$  = Densidad del fluido
- ✓  $v$  = Velocidad del flujo
- ✓  $\beta$  = Coeficiente de Boussinesq (Equivale a 1)
- ✓  $d\vec{A}$  = Diferencial de área de la superficie de control
- ✓  $dvol$  = Diferencial de volumen del volumen de control

El coeficiente de momentum o de Boussinesq, representa la relación que existe entre el valor del momento real en la sección transversal, y el que se obtendría considerando una distribución uniforme de velocidades. Para canales prismáticos el coeficiente de Boussinesq se encuentra usualmente entre 1.01 y 1.12. Una de las deducciones para el análisis del resalto hidráulico, es suponer la distribución uniforme de velocidades, resultando que el valor del coeficiente de Boussinesq sea igual a 1.

Antes de continuar con el desarrollando la ecuación 1, es fundamental tener conocimiento del concepto “fuerza específica”, el cual se ve expresado a través de la siguiente ecuación que relaciona tanto propiedades geométricas de la sección como características hidráulicas del fluido, por ejemplo, el caudal.

$$F = \bar{y}A + \frac{Q^2}{gA} \quad (2)$$

Donde:

$\bar{y}$ : Hace referencia a la distancia hasta el centro de gravedad de la sección transversal, medida desde la superficie del agua [m]

$A$ : Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>]

$Q$ : Valor del caudal [m<sup>3</sup>/s]

$g$ : Valor de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

A partir de la ecuación 1 y teniendo en cuenta el concepto de fuerza específica expresado mediante la ecuación 2, se llegó a una expresión general para el resalto hidráulico, sabiendo que el valor **F** hace referencia a la fuerza específica del flujo en las secciones 1 y 2, y estas a su vez, son las secciones antes y después del resalto hidráulico respectivamente, mostrado en la *Figura 1*. La expresión antes mencionada es la siguiente:

$$F_1 + \frac{W \sin \theta - F_f - F_{aire}}{\delta g} = F_2 \quad (3)$$

Donde:

$F_1$ : Es la fuerza específica en la sección 1 antes del resalto hidráulico (*Figura 1*)

$F_2$ : Es la fuerza específica en la sección 2 después del resalto hidráulico (*Figura 1*)

$W \sin \theta$ : Componente horizontal del peso del agua

$F_f$ : Fuerza de fricción debida a las paredes del canal

$F_{aire}$ : Fuerza de fricción del aire

$\delta$ : Densidad del fluido

Finalmente, la ecuación general para las profundidades antes y después de un resalto hidráulico en canales horizontales o de pendiente pequeña, se tiene para ( $\theta \leq 5^\circ$ ),  $\sin \theta \cong \tan \theta \approx 0$  y  $(\cos \theta)^2 \cong 1$  (Marbello, 2005). Además de esto en la ecuación 3 se desprecian las fuerzas de resistencia con el

aire y con las fronteras sólidas del canal ( $F_{aire} = F_f = 0$ ) y la componente horizontal del peso del agua, se desprecia debido a que el valor del ángulo  $\theta$  es muy pequeño, resultando en la siguiente ecuación:

$$F_1 = F_2 \quad (4)$$

Es decir:

$$\bar{Y}_1 A_1 + \frac{Q^2}{g A_1} = \bar{Y}_2 A_2 + \frac{Q^2}{g A_2} \quad (5)$$

#### 4.2 Ecuación del Resalto Hidráulico para un Canal Rectangular con ( $\theta \leq 5^\circ$ ).

A partir de la ecuación 5, se pueden realizar distintas deducciones para diferentes secciones transversales según sea el problema, para el caso de secciones rectangulares se parte del hecho de que el coeficiente de Boussinesq es igual a 1, como se mencionó anteriormente. El procedimiento que se muestra a continuación es para un canal rectangular de pendiente pequeña (*Figura 2*).

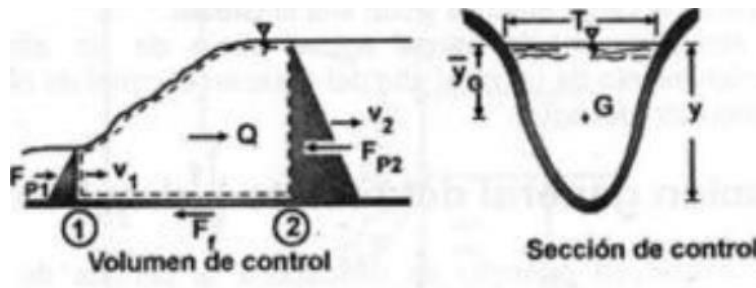


Figura 2 Volumen de Control para el Análisis del Resalto Hidráulico (Villón, 1995)

Teniendo en cuenta de las variables presentes en la *Figura 2* y la ecuación 5, se tiene:

$$\frac{Q^2}{gbY_1} + \frac{bY_1^2}{2} = \frac{Q^2}{gbY_2} + \frac{bY_2^2}{2} \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que:

- ✓  $Q$  = Caudal en el canal [m<sup>3</sup>/s]
- ✓  $g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]
- ✓  $b$  = Ancho del canal (Para canales rectangulares) [m]
- ✓  $Y_1$  = Altura de la lámina de agua en la sección 1, aguas arriba (*Figura 2*)
- ✓  $Y_2$  = Altura de la lámina de agua en la sección 2, aguas abajo (*Figura 2*)

Seguidamente:

$$\frac{b}{2} (Y_1^2 - Y_2^2) = \frac{Q^2}{g * b} \left( \frac{1}{Y_2} - \frac{1}{Y_1} \right) \quad (7)$$

Que resulta equivalente a:

$$\frac{b}{2}(Y_1 - Y_2)(Y_1 + Y_2) = \frac{Q^2}{g * b} \left( \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 * Y_2} \right) \quad (8)$$

Al simplificar queda:

$$\frac{1}{2}(Y_1 + Y_2) = \frac{Q^2}{g * b^2} \left( \frac{1}{Y_1 * Y_2} \right) \quad (9)$$

O también:

$$\frac{1}{2}(Y_1 + Y_2) = \frac{Q^2}{g * b^2 * Y_2^3} \left( \frac{Y_2^2}{Y_1} \right) \quad (10)$$

Teniendo en cuenta que  $b^2 Y_2^2 = A_2^2$ , se encuentra que:

$$\frac{1}{2}(Y_1 + Y_2) = \frac{Q^2}{g A_2^2 Y_2} \left( \frac{Y_2^2}{Y_1} \right) \quad (11)$$

Se puede ver que el primer factor del miembro derecho es el número de Froude:

$$\frac{Q^2}{g A_2^2 Y_2} = \frac{V^2}{g * Y_2} = F_2^2 \quad (12)$$

Al sustituirlo en la anterior expresión y dividir a ambos miembros de la ecuación por  $Y_2$ , se encuentra lo siguiente:

$$\frac{1}{2} \left( \frac{Y_1}{Y_2} + \frac{Y_2}{Y_2} \right) = F_2^2 \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) \quad (13)$$

Se despeja el número de Froude:

$$\frac{1}{2} \left( \left( \frac{Y_1}{Y_2} \right)^2 + \frac{Y_1}{Y_2} \right) = F_2^2 \quad (14)$$

Al organizar un poco se evidencia que la solución aparecerá por medio de la ecuación cuadrática:

$$\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^2 + \frac{Y_1}{Y_2} - 2F_2^2 = 0 \quad (15)$$

Al final de la deducción matemática se llega a una expresión que permite calcular la profundidad en la sección 1 o aguas arriba del resalto hidráulico formado en un canal rectangular, una vez conocida la altura del flujo en la sección 2 o aguas abajo del resalto hidráulico. Recordemos que  $Y_1$  hace referencia al flujo supercrítico y  $Y_2$  hace referencia al flujo subcrítico.

$$Y_1 = \frac{Y_2}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right) \quad (16)$$

Alternativamente, en un procedimiento similar se puede encontrar la ecuación inversa de la misma:

$$Y_2 = \frac{Y_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad (17)$$

Finalmente, se obtienen expresiones presentadas en las ecuaciones 16 y 17, en las cuales se puede hallar la altura  $Y_1$ , en función de la altura  $Y_2$  y del número de Froude asociado a esta altura ( $F_2$ ). Y alternativamente se puede hallar el valor de la altura  $Y_2$ , en función de la altura  $Y_1$  y del número de Froude asociado a esta altura ( $F_1$ ), para canales rectangulares de pendiente pequeña.

#### 4.3 Longitud del Resalto Hidráulico

La longitud del resalto hidráulico se define como la distancia desde la cara frontal del resalto hidráulico hasta un punto en la superficie inmediatamente aguas abajo del remolino. Ésta no se puede determinar con facilidad, sin embargo, algunos ingenieros hidráulicos se han dedicado a obtener datos experimentales de tal manera que se logre tener una expresión empírica que permita obtener un valor aproximado de su longitud.

Por lo general, los datos se muestran en una gráfica de  $F_1$  versus  $L/Y_2$ , donde  $F_1$  es el valor del número de Froude antes del resalto hidráulico,  $L$  es la longitud del resalto hidráulico y  $Y_2$  es la altura después del resalto hidráulico; la representación de los resultados de esta manera es tal vez la mejor ya que presenta los resultados de manera práctica y se obtienen mejores resultados de este (Chow, 1994).

La U.S. Bureau of Reclamation desarrolló una gráfica con la cual se puede calcular la longitud aproximada del resalto hidráulico para canales rectangulares (*Figura 3*)

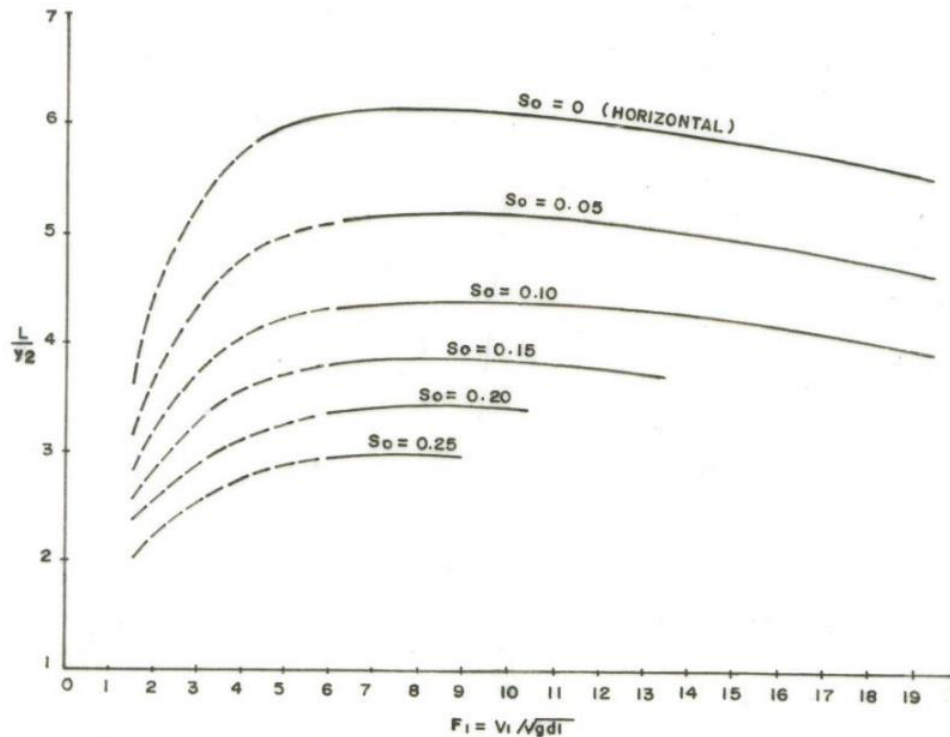


Figura 3 Curvas de Variación  $L_{RH}/Y_2$  vs  $F_1$  para Canales Rectangulares Horizontales e Inclinaados (Marbello, 2005)

La forma de entrar a esta gráfica es la siguiente:

- ✓ Se calcula el número de Froude en la sección aguas arriba del resalto hidráulico, es decir en la zona de flujo supercrítico
- ✓ Al encontrar ese valor se procede a ingresar por el eje de las abscisas, y se sube hasta encontrar la función que nos coincida con la pendiente del canal
- ✓ Luego de ello se procede a mover horizontalmente a la izquierda de tal manera que se llegue hasta el eje de las ordenadas
- ✓ En el eje de las ordenadas se leerá el valor inscrito en él
- ✓ Y por último se calcula el valor de la longitud del resalto hidráulico multiplicando el dato hallado en las ordenadas por el valor de la altura del tirante hidráulico aguas abajo.

Por su parte, Silvester (1964) (Marbello, 2005) propuso las siguientes ecuaciones para la longitud del resalto hidráulico de canales rectangulares, triangulares y parabólicos, en función del número de Froude en la sección aguas arriba del resalto hidráulico  $F_1$  y de la profundidad inicial  $Y_1$ .

- ✓ Para canales rectangulares:  $L_{RH} = 9.75Y_1 * (F_1 - 1)^{1.01}$
- ✓ Para canales triangulares simétricos con un ángulo de  $47.3^\circ$  en el vértice del triángulo:  $L_{RH} = 4.26Y_1 * (F_1 - 1)^{0.695}$
- ✓ Para canales parabólicos, con  $F_1 < 3$ :  $L_{RH} = 11.7Y_1 * (F_1 - 1)^{0.832}$

#### 4.4 Energía Disipada en un Resalto Hidráulico

En un resalto hidráulico, parte de la energía específica presente en el flujo se disipa en forma de calor y se parte de la siguiente expresión para tratar de cuantificar la pérdida de energía entre las secciones transversales.

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (18)$$

$$\Delta E = \left( Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) - \left( Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right) \quad (19)$$

$$\Delta E = \left( Y_1 + \frac{\alpha_1 Q^2}{2gA_1^2} \right) - \left( Y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} \right) \quad (20)$$

$$\Delta E = \left( Y_1 + \frac{\alpha_1 Q^2}{2gA_1^2} \right) - \left( Y_2 + \frac{\alpha_2 Q^2}{2gA_2^2} \right) \quad (21)$$

Suponiendo que  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  se tiene:

$$\Delta E = \left( Y_1 + \frac{\alpha Q^2}{2gA_1^2} \right) - \left( Y_2 + \frac{\alpha Q^2}{2gA_2^2} \right) \quad (22)$$

Teniendo en cuenta que el coeficiente de energía o Coriolis ( $\alpha$ ) representa la relación existente entre la energía real y la que se obtendría considerando una distribución uniforme de velocidades. Para canales prismáticos el coeficiente de Coriolis se encuentra usualmente entre 1.03 y 1.36. Una de las deducciones para el análisis del resalto hidráulico, es suponer la distribución uniforme de velocidades, resultando que el valor del coeficiente de Coriolis sea igual a 1. Por lo tanto  $\alpha = 1$ .

Y realizando las simplificaciones correspondientes se llega a la siguiente expresión general para el cálculo de pérdida de energía en cualquier sección transversal:

$$\Delta E = \frac{F_1^2}{2} \left( 1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) D_1 - (Y_2 - Y_1) \quad (23)$$

Donde:

- ✓  $F$ : Es el número de Froude
- ✓  $A_1$ : El área de la sección aguas arriba del resalto hidráulico [m<sup>2</sup>]
- ✓  $A_2$ : El área de la sección aguas debajo del resalto hidráulico [m<sup>2</sup>]

- ✓  $D_1$ : La profundidad hidráulica promedio de la sección aguas arriba del resalto hidráulico que está dada por la relación entre el área y el ancho superficial  $\left(D_1 = \frac{A_1}{T_1}\right)$  [m]
- ✓  $Y_1$ : La profundidad aguas arriba del resalto hidráulico [m]
- ✓  $Y_2$ : La profundidad aguas abajo del resalto hidráulico [m]

#### 4.4.1 Cálculo de Pérdida de Energía para Canales Rectangulares

Partiendo de la ecuación 17 se tiene:

$$Y_2 = \frac{Y_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad (24)$$

$$1 + 8F_1^2 = \left[ 2 \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) + 1 \right]^2 \quad (25)$$

Por lo tanto:

$$F_1^2 = \frac{\left[ 2 \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) + 1 \right]^2 - 1}{8} \quad (26)$$

Reemplazando la ecuación 24 en la ecuación 22 se tiene:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \left( \frac{\left[ 2 \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) + 1 \right]^2 - 1}{8} \right) \left( 1 - \frac{b^2 Y_1^2}{b^2 Y_2^2} \right) Y_1 - (Y_2 - Y_1) \quad (27)$$

Y finalmente, realizando las simplificaciones correspondientes se llega a la siguiente expresión para canales rectangulares:

$$\Delta E = \frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4Y_1 Y_2} \quad (28)$$

Donde  $Y_1$  es la altura antes del resalto hidráulico o aguas arriba y  $Y_2$  es la altura después del resalto hidráulico o aguas abajo.

#### 4.5 Clasificación del Resalto Hidráulico

Una de las formas de clasificar el resalto hidráulico, es según el número de Froude de la sección aguas arriba del resalto hidráulico, es decir, la sección en la cual se presenta un flujo supercrítico, con una altura  $Y_1$ , una velocidad  $V_1$ , un área  $A_1$  y un número de Froude  $F_1$ . Esta clasificación fue desarrollada por la U.S. Bureau of Reclamation, en la cual al ingresar el número de Froude de la sección aguas arriba, se puede obtener el tipo de resalto hidráulico, las características de este y un pequeño esquema que muestra el comportamiento del resalto a clasificar. Esta clasificación se presenta en la *Tabla 1*.

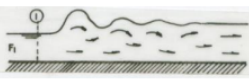
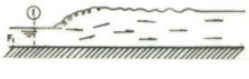



$F_1$	Tipo de Resalto Hidráulico	Características del Resalto Hidráulico	Esquema
$F_1 < 1$	No se forma	La corriente es subcrítica y seguiría siendo subcrítica.	
$F_1 = 1$	No se forma	El flujo es crítico y no se presentan condiciones para la formación de un R.H.	
$1 < F_1 \leq 1.7$	R.H. ondular	La superficie libre presenta ondulaciones. La disipación de energía es baja, menor del 5%.	
$1.7 < F_1 \leq 2.5$	R.H. débil	Se generan muchos rodillos de agua en la superficie del resalto, seguidos de una superficie suave y estable, aguas abajo. La energía disipada es del 5 al 15%.	
$2.5 < F_1 \leq 4.5$	R.H. oscilante	Presenta un chorro intermitente, sin ninguna periodicidad, que parte desde el fondo y se manifiesta hasta la superficie, y retrocede nuevamente. Cada oscilación produce una gran onda que puede viajar largas distancias. La disipación de energía es del 15 al 45%.	
$4.5 < F_1 \leq 9.0$	R.H. estable	Su acción y posición son poco variables y presenta el mejor comportamiento. La energía disipada en este resalto puede estar entre el 45 y el 70%.	
$F_1 > 9.0$	R.H. fuerte	Caracterizado por altas velocidades y turbulencia, con generación de ondas y formación de una superficie tosca, aguas abajo. Su acción es fuerte y de alta disipación de energía, que puede alcanzar hasta un 85%.	

Tabla 1 Clasificación del Resalto Hidráulico Según la U.S.B.R (Marbello, 2005).

#### 4.6 Fuente de Información Adicional

Para una mayor información adicional, puede consultar el siguiente enlace el cual lo redirigirá a un documento de la guía de laboratorio de la Universidad Nacional en el cual podrá ampliar más la información.

- ✓ [EL RESALTO HIDRAULICO, RH \(unal.edu.co\)](http://unal.edu.co) (Marbello, 2005)

## 5. Implementación de la Simulación

### 5.1 Descripción del Problema

Utilice el programa H-Canales para calcular la altura aguas abajo ( $Y_2$ ) de un resalto hidráulico, que se encuentra en el primer tramo después de presentarse una compuerta de admisión inferior. Los datos para el cálculo de  $Y_2$  son:

- ✓  $Q = 3 \text{ [m}^3/\text{s]}$
- ✓  $Y_1 = 0.3419 \text{ [m]}$
- ✓  $b = 2 \text{ [m]}$

También encuentre mediante el programa H-Canales, la altura del resalto hidráulico, la pérdida de energía en el resalto, el número de Froude de la sección aguas abajo  $F_2$ , y la longitud del resalto hidráulico  $L_{RH}$ . La sección transversal se muestra en la *Figura 4*.

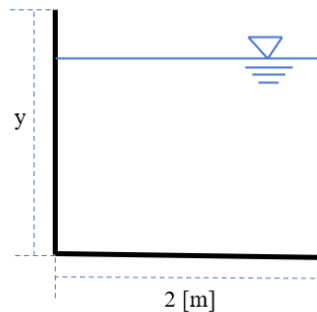


Figura 4 Sección Transversal del Canal

### 5.2 Procedimiento de Implementación

#### 5.2.1 Apertura del Programa H-Canales

- ✓ Para abrir el programa H-Canales, debe seguir la guía 2 que hace referencia a la descarga e instalación de este programa, que se encuentra incluido en este material de laboratorio
- ✓ Debe recordar, que la guía antes mencionada debe estar desarrollada en su totalidad de tal manera que el estudiante no tenga problemas al momento de desarrollar esta simulación
- ✓ Para abrir el programa H-Canales, tiene diferentes opciones, una de estas es, si permitió que el programa creara un acceso directo en el escritorio, puede abrirlo directamente desde allí, el símbolo del programa es el que se muestra en la *Figura 5*

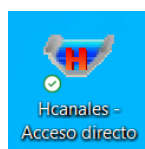


Figura 5 Icono del Programa H-Canales

- ✓ Si no permitió que el programa instalara un acceso directo, el programa se encontrará en la ubicación preestablecida, y para ello seguirá los siguientes pasos
- ✓ Abra el disco local C, mediante la carpeta *Este equipo* (Figura 6)

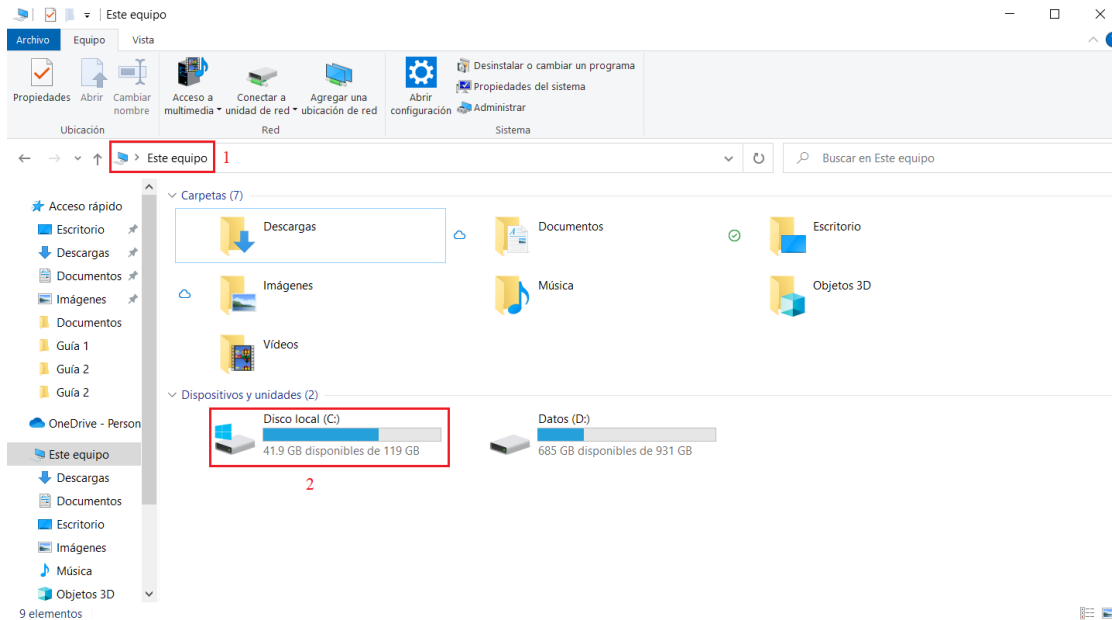


Figura 6 Ventana de la Carpeta "Este Equipo"

- ✓ Al abrir la carpeta *Disco local (C:)*, abra la carpeta que se llama *Archivos de programa (x86)* como se muestra en la Figura 7

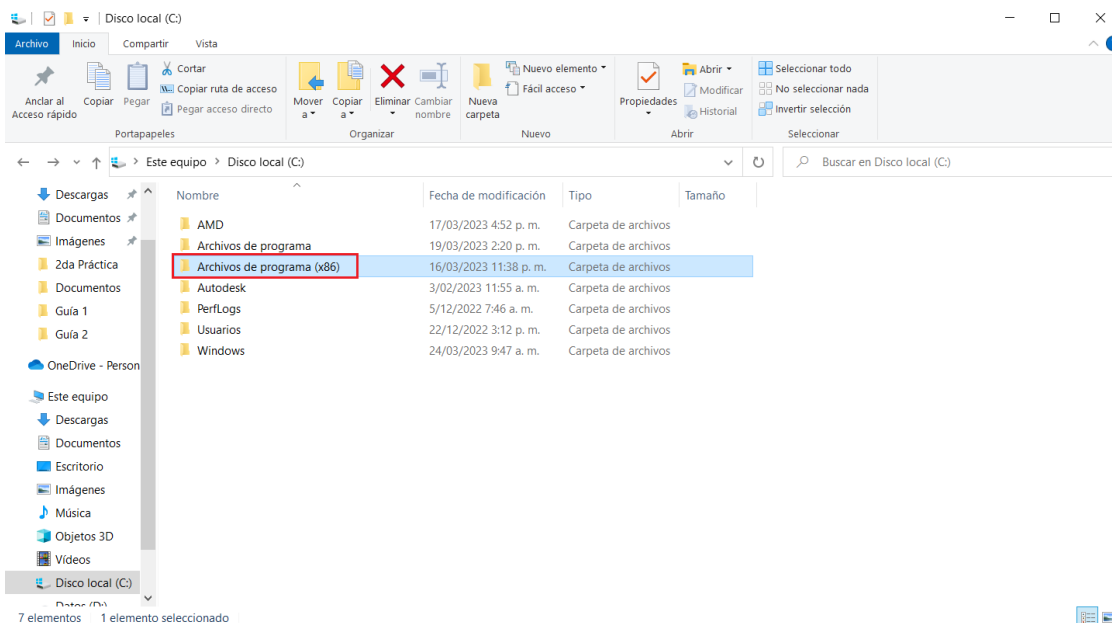


Figura 7 Carpeta de "Archivos de programa (x86)"

- ✓ Dentro de la carpeta *Archivos de programa (x86)*, encontrará una carpeta llamada “*Hcanales*”, y seguido a esto procederá a abrirla (*Figura 8*)

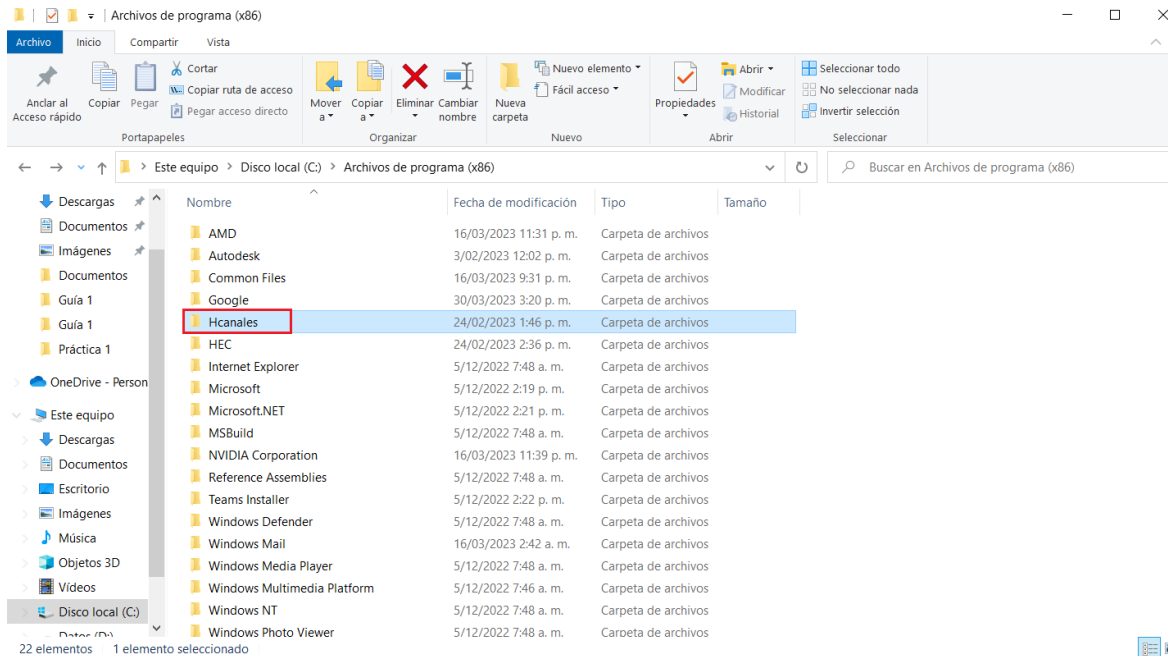


Figura 8 Ubicación de la Carpeta “Hcanales”

- ✓ Seguido a esto encontrará los archivos que se muestran en la *Figura 9* y abra el programa nombrado *H-Canales* (*Figura 9*)

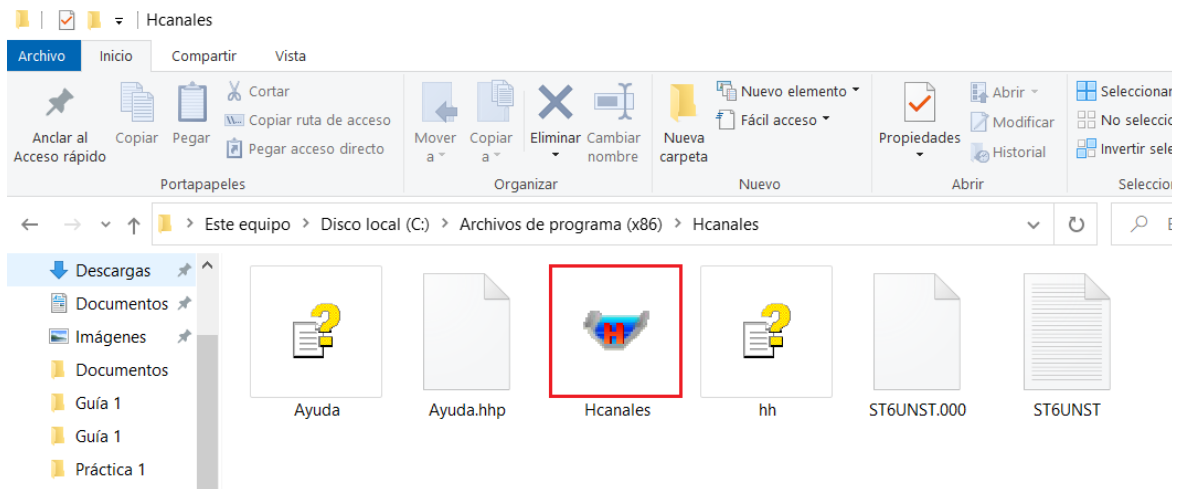


Figura 9 Ubicación Final del Programa H-Canales

- ✓ De esta manera se abrirá el programa que posee presentación que se muestra en la *Figura 10*



Figura 10 Ventana de Presentación del programa

### 5.2.2 Desarrollo del Ejemplo Propuesto

- ✓ Seguido a esto, de clic en la sección llamada *Resalto-Hidráulico* y luego en *Sección Rectangular* en la parte superior del programa, como se muestra en la *Figura 11*



Figura 11 Ventana del Programa para Cálculos del Resalto Hidráulico

- ✓ Encontrará la siguiente ventana, la cual le ayudará a ingresar los datos en el programa para poder resolver el ejercicio. Esto lo puede evidenciar en la *Figura 12*

— □ ×

Cálculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular

Lugar:  Proyecto:

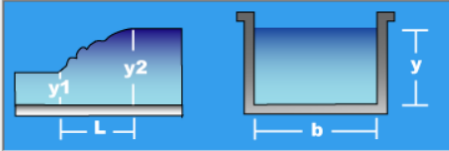
Tramo:

**Datos:**

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

Ancho de solera (b):  m

Tirante (y):  m



**Resultados:**

Tirante conjugado (y):  m

Altura del resalto:  m

Pérdida de energía en el resalto:  m

Número de Froude conjugado (F):

Longitud del resalto (L):  m

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 12 Ventana para Cálculos del Resalto Hidráulico

- ✓ Rellene la sección de la parte superior de la siguiente manera, en Lugar coloque *Laboratorio de Hidráulica*; en Tramo coloque *Primer Tramo* y en proyecto ingrese el nombre de *Cuarta Práctica*
- ✓ Estos cambios se pueden evidenciar en la *Figura 13*

— □ ×

Cálculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular

Lugar:  Proyecto:


Tramo:

**Datos:**

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

Ancho de solera (b):  m

Tirante (y):  m



**Resultados:**

Tirante conjugado (y):  m

Altura del resalto:  m

Pérdida de energía en el resalto:  m

Número de Froude conjugado (F):

Longitud del resalto (L):  m

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 13 Ventana del Nombre de la Cuarta Práctica

- ✓ Después de nombrar la ventana en la cual se realizarán los cálculos de la cuarta práctica (*Figura 13*), ingrese los valores del caudal que es de 3 [m<sup>3</sup>/s], el ancho del canal o ancho de la solera que es de 2 [m] y el valor del tirante aguas arriba conocido que es de 0.3419 [m]. Esto se muestra en la *Figura 14*

Cálculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular

Lugar: Laboratorio de Hidráulica Proyecto: Cuarta Práctica

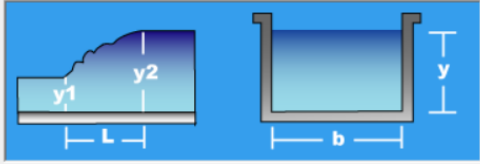
Tramo: Primer Tramo

**Datos:**

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

Ancho de solera (b): 2 m

Tirante (y): 0.3419 m



**Resultados:**

Tirante conjugado (y): m

Altura del resalto: m

Pérdida de energía en el resalto: m

Número de Froude conjugado (F): m

Longitud del resalto (L): m

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 14 Ventana de Ingreso de los Parámetros Iniciales

- ✓ De clic en el icono de *Calcular* que se encuentra en la parte inferior izquierda, y se muestra en la *Figura 15*

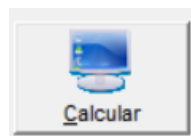


Figura 15 Ventana que Muestra el Icono Calcular

- ✓ Y de esa manera se presentarán los resultados para el resalto hidráulico, mostrados en la *Figura 16*

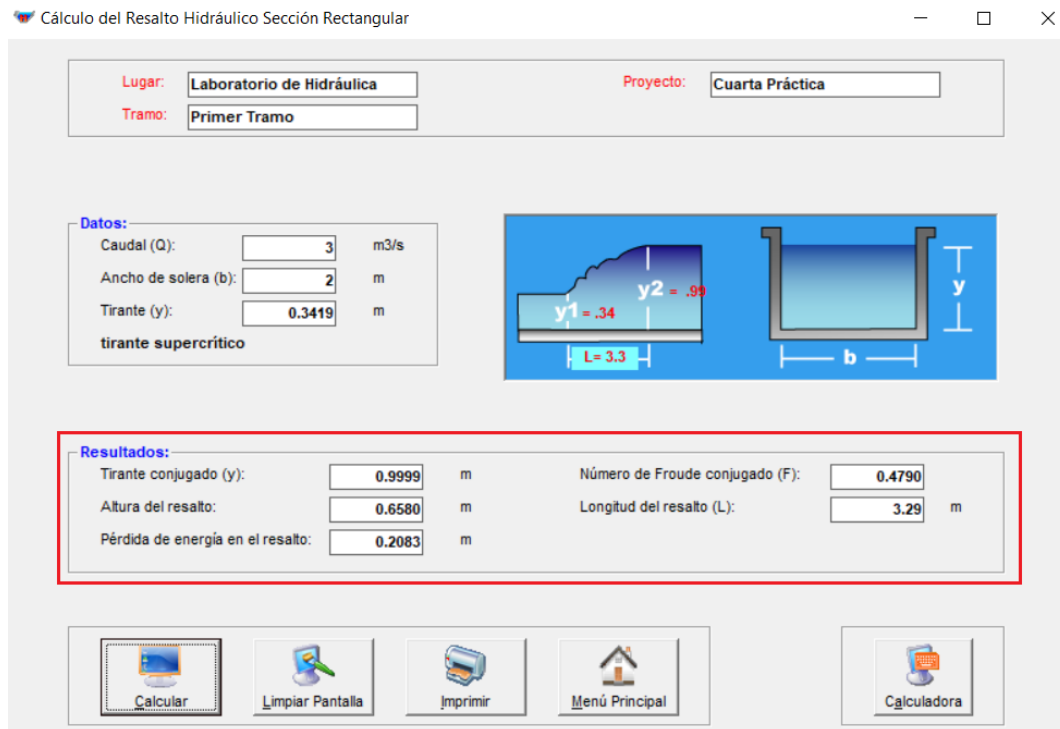


Figura 16 Ventana de Resultados para el Resalto Hidráulico

✓ De esta manera se encuentran los siguientes resultados:

- Tirante Conjugado ( $Y_2$ ):  $0.99 \approx 1$  [m]
- Altura del Resalto: 0.6580 [m]
- Pérdida de Energía en el Resalto: 0.2083 [m]
- Número de Froude conjugado ( $F_2$ ): 0.479
- Longitud del Resalto: 3.29 [m]

## 5.6 Video de la Simulación

A continuación, se presentará el enlace del video que hace referencia a la simulación número cuatro presentada en este documento. Este video hace parte de una serie de tutoriales que ayudan al usuario en el manejo del programa computacional abordado en cada una de las simulaciones.

✓ Enlace del video: [https://www.youtube.com/watch?v=P\\_qJ\\_mtaMU](https://www.youtube.com/watch?v=P_qJ_mtaMU)

## 6. Descripción del Entregable

### 6.1 Entregables de la Simulación Inicial

Debe entregar en archivo PDF un documento donde se realice una captura de toda la pantalla (no solo una sección del programa computacional sino **TODA LA PANTALLA DEL ESCRITORIO**) de los siguientes pasos durante el proceso.

- ✓ La ventana de presentación del programa mostrada en la *Figura 10*
- ✓ La ventana para cálculos del resalto hidráulico mostrada en la *Figura 12*
- ✓ La ventana de ingreso de los parámetros iniciales mostrados en la *Figura 14*
- ✓ La ventana de los resultados para el resalto hidráulico mostrados en la *Figura 16*

### 6.2 Preguntas de Análisis

Desarrolle las siguientes preguntas sustentando **todas las respuestas** con los resultados obtenidos del programa.

1. Teniendo en cuenta el marco teórico presentado en este documento, exprese con sus palabras lo que comprende por resalto hidráulico y la importancia del estudio de este fenómeno en la hidráulica de canales abiertos.
2. Utilice la ecuación 16 o 17, para corroborar que el tirante conjugado hallado mediante el proceso de simulación es correcto. Luego de ello utilice la ecuación 28 para corroborar el valor de pérdida de energía en la sección. Finalmente, presente el procedimiento realizado para estas dos instrucciones, añadiendo una breve explicación sobre las ecuaciones utilizadas.
3. Realice la clasificación del resalto hidráulico teniendo en cuenta la *Tabla 1* presente en este documento, en donde indique el tipo de resalto, la característica del resalto y un esquema que se relacione a su respectiva clasificación.
4. Se tiene un resalto hidráulico con un caudal de 10 [m<sup>3</sup>/s], y un ancho de solera de 4 [m]; se encontró que el tirante hidráulico aguas arriba ( $Y_1$ ), es de 0.3 [m]. Encuentre los resultados que se muestran en la *Figura 16*, y contrástelos con los resultados de las ecuaciones 17 y 28. Además de esto realice una clasificación del resalto hidráulico. Finalmente, presente evidencia y conclusiones del proceso realizado tanto en la simulación como de cálculos manuales.

## 7. Referencias Bibliográficas

- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*.  
[https://www.academia.edu/43519012/Ven\\_Te\\_Chow\\_HIDRAULICA\\_DE\\_CANALES\\_ABIERTOS](https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTOS)
- Marbello, R. (2005). 6. *El resalto hidráulico*. Universidad Nacional de Colombia.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villón, B. (1995). *Hidráulica de canales*. <https://uis-odilotk-es.bibliotecavirtual.uis.edu.co/>.  
<https://pdfb9c6919cf9985b759bfeca2ebb3e1fa1.odilo.us/#/e81c25ea3bb04acc86cfe4f557ac2fae/18955710ff93c4e1ea3445e0c6c773fc3fa6b9587e23c2b8572103ae049747ae>