

# XIII

## Laboratorio n.º 13.

### Resalto hidráulico

#### 13.1 Introducción

Cuando se presentan saltos hidráulicos en la conducción de un fluido por medio de un canal, se generan por un conflicto que se crea entre los controles aguas arriba y aguas abajo, y que se encuentran en la misma posición del canal, aunque en muchos sistemas de conducción son necesarios para realizar variaciones de velocidad y fuerza de conducción del flujo. Por tal razón, se recomienda utilizar únicamente en canales de fondo horizontal, ya que realizar un estudio de este fenómeno en canales con pendiente resulta difícil de sustentar en la teoría.

Este salto se puede ubicar en diferentes zonas del canal de conducción utilizando la superficie libre del líquido: una interfaz de densidad estratificada, pero siempre va acompañada de una turbulencia de gran valor que genera una disminución en la energía de la corriente.

Cuando se posee un canal con una corriente de flujo supercrítica, generalmente se utiliza un obstáculo que le obliga a chocar y variar la velocidad, disminuyéndola y generando una corriente controlable. Este procedimiento genera una onda estacionaria en

el lugar donde se ubicó el obstáculo, por lo que se crea el resalto hidráulico, la velocidad de conducción disminuye teniendo en cuenta que  $V_1 > C$  a  $V_2 < C$ , esto también genera que la profundidad del fluido en el canal de transporte aumente con respecto a la profundidad de la corriente donde se originó el resalto (Villamarín, 2013, p. 4).

### 13.1.1 Resalto en canales rectangulares

Cuando el flujo supercrítico se presenta en un canal de forma horizontal, la energía de la corriente disminuye por la fricción que genera con las paredes a lo largo del canal de conducción, lo que realiza un aumento del nivel del fluido y una disminución de la velocidad. El resalto hidráulico se formará en este tipo de canales si obedecen a una función en la cual el número de Froude ( $F_1$ ) del fluido, su primera profundidad ( $Y_1$ ) y la profundidad que alcanza ( $Y_2$ ) aguas abajo se corresponden (Márquez, 2012, p. 29).

$$Y_2 / Y_1 = \frac{1}{2} [(1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1]$$

### 13.1.2 Resalto en canales inclinados

Cuando se presentan resaltos hidráulicos en canales con pendientes, en el análisis de este fenómeno es importante considerar el paso del fluido dentro del resalto que se origina. Por tal motivo no se pueden emplear las ecuaciones de *momentum*, pues en las canales de forma horizontal la fuerza que originan es mínima, pero en las que presentan pendiente sí muestran un gran valor, por lo que se utiliza una expresión análoga utilizando el principio de *momentum* en una ecuación empírica que debe realizarse de forma experimental.

## 13.2 Marco teórico

Se conoce como *resalto hidráulico* a un fenómeno que se crea cuando una corriente de gran velocidad o supercrítica, con

poca profundidad, cambia drásticamente a una corriente de menor velocidad y mayor profundidad, generando una corriente profunda, lenta y controlada. Este resalto es ampliamente utilizado en la conducción de fluidos por medio de canales, ya que permite manipular la fuerza y velocidad del líquido de conducción, haciéndolo más controlable y lento de lo que originalmente es (Baca, 2019, p. 28).

Cuando el cauce de conducción es constante y el canal presenta una sección transversal limpia y uniforme. Las líneas críticas de interior son equivalentes con el fondo del canal, pero cuando la pendiente presenta alteraciones, la energía y profundidad del fluido se verá sometida a estos cambios, por lo que presentará variación, ya sea aumentando la velocidad y disminuyendo la profundidad, o viceversa.

Si se presentan intersecciones bruscas en las pendientes de conducción del fluido de una corriente subcrítica a una supercrítica se producirá un efecto similar al ya mencionado, pero es probable que el perfil de la corriente se altere en mayor medida en las zonas de transición.

Teóricamente la profundidad no puede ser menor aguas arriba a las profundidades que se alcanzan en los puntos críticos, por lo que no se están produciendo fuerzas que actúen en la corriente que sean externas a la misma, o que se generen pendientes demasiado bruscas, por esto se deduce que las transiciones de una corriente subcrítica a supercrítica son graduales, controladas y manejadas con pocas pérdidas y bajas turbulencias, ya que se utiliza como mecanismo de control la fricción que se genera en el desplazamiento del fluido.

También es útil generar cambios en las velocidades del fluido haciendo variaciones en el diseño del canal sin manifestar cambios en la pendiente; es así como se puede pasar de un flujo supercrítico a uno subcrítico, ampliando el área del canal de conducción y acumulando una capacidad mayor de desplazamiento, o utilizar

este procedimiento de forma contraria, reduciendo el área de transporte y ocasionando fuerzas de empuje al interior del sistema, para ganar energía y aumentar la velocidad.

La longitud de los resaltos se puede definir como la distancia que alcanzan desde la cara frontal del canal de conducción hasta la pared del nuevo canal al que es transportado el fluido. Esta longitud no es fácil de determinar, pero ha sido un motivo de ardua investigación para ingenieros de la rama hidráulica, por lo que es necesario realizar los trabajos de medición de modo empírico, repitiendo la cantidad de mediciones y experimentos para lograr la mayor exactitud posible.

### 13.3 Objetivos

#### 13.3.1 Objetivo general

Observar la formación de un resalto hidráulico aguas abajo de una compuerta de abertura rectangular sobre el fondo, instalada en un canal rectangular con pendiente nula (horizontal,  $S_0=0$ ), al trabajar con tres tipos de caudales conocidos.

#### 13.3.2 Objetivos específicos

- Conocer la teoría del resalto hidráulico y estudiar los diferentes canales abiertos, así como hallar características del resalto hidráulico en canales rectangulares con fondo horizontal.
- Averiguar las distintas velocidades de fluido de cada tirante que se presentan sobre la compuerta rectangular de estudio, dependiendo del tipo de caudal.
- Hallar el conjugado mayor en la compuerta rectangular de estudio para cada variación del caudal.
- Encontrar la potencia hidráulica de cada salto hidráulico

presentado en el desarrollo del laboratorio, dependiendo de la variación del caudal.

### **13.4 Materiales**

- Flujo de alimentación de agua (llave de mano y motobomba)
- Compuerta rectangular de área igual a la compuerta de salida, manteniendo una con pendiente y la otra sin pendiente
- Recipiente con volumen conocido
- Cronómetro
- Flexómetro
- Calibrador
- Nivel de mano
- Manguera

### **13.5 Procedimiento**

1. Afore tres caudales diferentes, los cuales deben ser constantes, es decir, no pueden variar en los procesos que se van a realizar.
2. Tome el área y el perímetro de la sección de los canales con los que cuenta.
3. Ubique el canal dándole una pendiente y al otro en una superficie plana para que queden conectados entre sí.
4. Use el primer caudal y desembóquelo sobre la compuerta de estudio.
5. Tome la altura que alcanza la corriente del agua y averigüe el ancho del espejo del agua.
6. Halle la altura del salto hidráulico para cada caudal.

7. Con los datos obtenidos encuentre el conjugado mayor y menor de la sección de la compuerta de estudio.
8. Calcule la potencia de cada uno de los saltos hidráulicos.

## 13.6 Fórmulas

### 13.6.1 Velocidad del tirante 1 (tirante con pendiente):

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

Donde:

V1: velocidad 1(cm/s) (m/s)

Q: caudal (cm<sup>3</sup>/s) (m<sup>3</sup>/s)

A1: área del tirante 1(cm<sup>2</sup>) (m<sup>2</sup>)

### 13.6.2 Número de Froude en 1:

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g * T_1}}$$

Donde:

1: velocidad 1(cm/s) (m/s)

g: gravedad. (9.81 m/s<sup>2</sup>)

T1: tirante 1 (longitud del tirante 1) (cm, m)

### 13.6.3 Conjugado mayor

$$Cm = \frac{T_1}{2} (\sqrt{8(Fr_1)^2 - 1})$$

Donde:

Cm: conjugado mayor T1: tirante 1

Fr1: número de Froude

### 13.6.4 Velocidad del tirante 2 (tirante sin pendiente)

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

Donde:

v<sup>2</sup>: velocidad 2 (cm/s) (m/s)

Q: caudal (cm<sup>3</sup>/s) (m<sup>3</sup>/s)

A<sub>2</sub>: área del tirante 2 (cm<sup>2</sup>) (m<sup>2</sup>)

### 13.6.5 Altura del salto hidráulico

$$h_s = \frac{(Cm - T_1)^3}{4(T_1)(Cm)}$$

Donde:

h<sub>s</sub>: altura del salto hidráulico (cm, m)

Cm: conjugado mayor T<sub>1</sub>: tirante 1

### 13.6.6 Potencia del salto hidráulico

Pot = γQh<sub>s</sub>

Donde:

h<sub>s</sub>: altura del salto hidráulico (cm, m) Q: caudal (cm<sup>3</sup>/s) (m<sup>3</sup>/s)

Pot: potencia del salto hidráulico

γ: Peso del agua: (9810 N/m<sup>3</sup>)

## 13.7 Conclusiones

- Los saltos hidráulicos son un fenómeno físico de la hidráulica que se generan en la intersección de dos canales que transportan un fluido y que presentan variación de la pendiente que lo conduce.
- Es importante determinar el área y perímetro de la sección mojada en el canal para poder determinar el radio hidráulico del mismo.
- Cada resalto hidráulico presenta una potencia, la cual está compuesta por la fuerza con la que se transporta el fluido, el peso y el alcance de cada salto.

## 13.8 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía