



Laboratorio
de Hidráulica
Ing. David
Hernández Huéramo

Manual de prácticas Hidráulica de canales I I 6 o s e m e s t r e

Autores:

Guillermo Benjamín Pérez Morales
Jesús Alberto Rodríguez Castro
Jesús Martín Caballero Ulaje
Jorge Leonel Angel Hurtado
Juan Pablo Molina Aguilar

Colaboradores:

Alejandro Raúl Gutiérrez Obregón
Elizabeth Pauline Carreño Alvarado
Héctor Rivas Hernández
Rukmini Espinosa Díaz





1. FLUJO BRUSCAMENTE VARIADO (SALTO HIDRÁULICO)

Objetivos

- *Aprender a identificar un salto hidráulico, clasificarlo y calcular la pérdida de energía que genera, calcular y medir la longitud del mismo, así como definir la necesidad de una estructura disipadora de energía.*

Aplicación

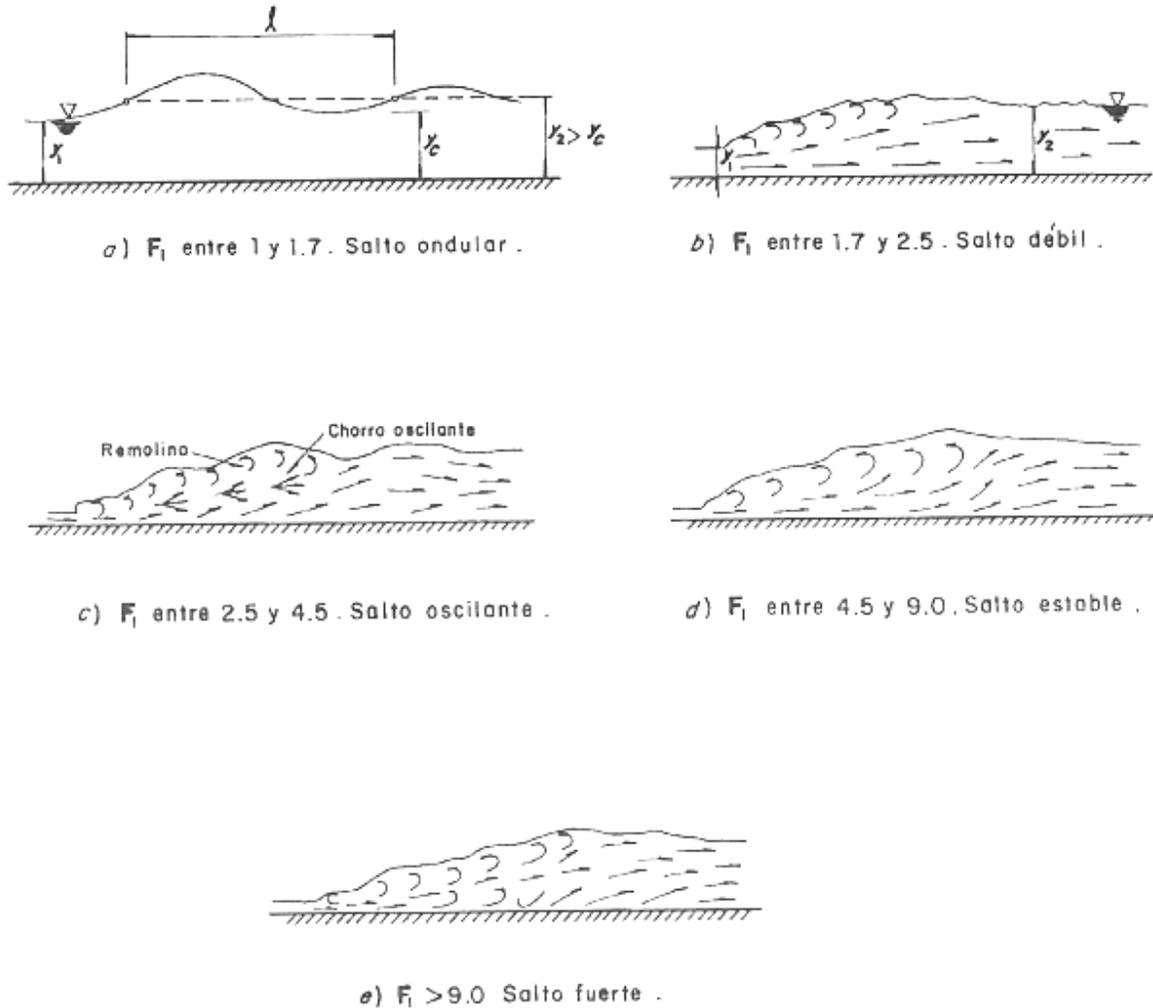
Un salto hidráulico se presenta cuando por alguna circunstancia el flujo pasa de régimen supercrítico a régimen subcrítico, este cambio de régimen generalmente va acompañado por una importante pérdida de energía y tiene su aplicación en el diseño de estructuras hidráulicas disipadoras de energía, ya sea en la descarga de una compuerta de flujo inferior a descarga libre o en canales de conducción donde se necesite descender de una elevación superior a una inferior, lo cual se puede hacer por medio de una rápida, de tal forma que al pie de dicha rápida se continúe con un canal con una pendiente menor que el de la rápida, lo cual da origen a la formación de un flujo bruscamente variado. Por lo anterior es necesario calcular las pérdidas de energía y sobretodo definir si el salto será bien formado, ya que de lo contrario podría provocarse un flujo con velocidad excesiva aguas abajo de la compuerta o la rápida que puedan provocar erosión no aceptable y entonces deberá de calcularse una estructura disipadora de energía. Este fenómeno permite pasar del régimen supercrítico al subcrítico.



Definiciones, fórmulas y unidades a utilizar

El salto hidráulico.- se puede clasificar de acuerdo al número de Froude (Fr), de la siguiente forma, (ver figura 1.1):

FIGURA 1.1



- 1) Salto hidráulico ondulado (figura 1.1 a).
- 2) Salto hidráulico débil (figura 1.1 b).
- 3) Salto hidráulico oscilante (figura 1.1 c).
- 4) Salto hidráulico claro y estable (figura 1.1 d).
- 5) Salto hidráulico Fuerte (figura 1.1 e).



$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

En las fórmulas anteriores se tiene que:

$$Y = \frac{A}{B} = \textit{Tirante hidráulico (m)}$$

$A = \textit{Área hidráulica en la sección (m}^2\textit{)}$

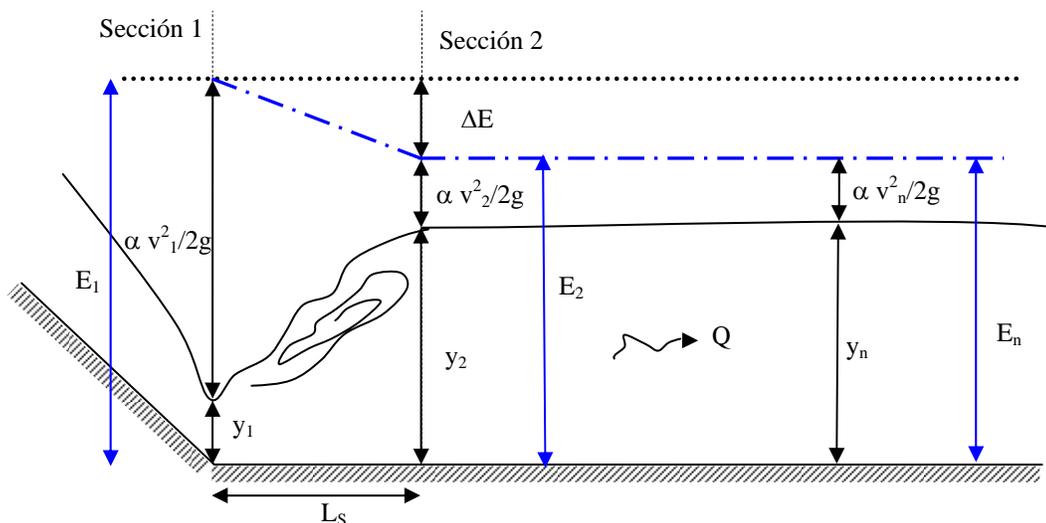
$B = \textit{Ancho de superficie libre (m)}$

Conforme a la energía del conjugado mayor y la energía aguas abajo del salto, se puede clasificar en:

- 1) Salto hidráulico bien formado.
- 2) Salto hidráulico barrido.
- 3) Salto hidráulico ahogado.

Las características hidráulicas de un salto hidráulico se pueden determinar por medio del teorema de cantidad de movimiento, aplicándolo entre las secciones 1 y 2 de la figura 1.2

FIGURA 1.2





$$\frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \bar{y}_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \bar{y}_2 \quad 1.1$$

En las fórmulas anteriores se tiene que:

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

$A =$ Área hidráulica en la sección (m^2)

$g =$ Aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$)

$\bar{y} =$ Tirante al centro de gravedad del área hidráulica (m)

$\alpha =$ Coeficiente de Coriolis, Adimensional

El tirante al centro de gravedad se puede calcular por medio de alguna las siguientes ecuaciones en función de la sección del canal:

- Para canal rectangular

$$\bar{y} = \frac{y}{2} \quad 1.2$$

- Para canal trapecial

$$\bar{y} = \left(\frac{2b + B}{b + B} \right) \frac{y}{3} \quad 1.3$$

Siendo:

$\bar{y} =$ Tirante hidráulico medio de agua (m)

$b =$ Ancho de la plantilla del canal (m)

$B =$ Ancho de la superficie libre del agua (m)

$y =$ Tirante de agua (m)

De lo anterior para conocer el y_2 (denominado tirante conjugado mayor), en función de un valor conocido de y_1 (tirante conjugado menor) y sección rectangular se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$y_2 = \frac{-y_1 \pm \sqrt{y_1^2 + \frac{8Q^2}{gb^2 y_1}}}{2} \quad 1.4$$



Las pérdidas de energía por el salto se pueden calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$\Delta E = y_1 - y_2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q^2}{A_1^2} - \frac{Q^2}{A_2^2} \right) \quad 1.5$$

Que en el caso de un canal rectangular quedaría de la siguiente forma:

$$\Delta E = y_1 - y_2 + \frac{Q^2}{2gb^2} \left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2} \right) \quad 1.6$$

En las fórmulas anteriores se tiene que:

$\Delta E =$ Pérdida de energía (m.c.a.)

$b =$ Ancho de la plantilla del canal (m)

$y_1 =$ Tirante conjugado menor (m)

$y_2 =$ Tirante conjugado mayor (m)

Forma del salto hidráulico.- Cuando la energía del conjugado mayor (E_2) es aproximadamente igual a la energía del tirante normal (E_n) aguas abajo de él (ver figura 1.2), se dice que el **SALTO ES BIEN FORMADO**; cuando la energía E_2 es menor que la energía E_n se dice que el **SALTO ES AHOGADO**; y cuando E_2 es mayor que E_n se dice que el **SALTO ES BARRIDO**. De los tres casos no es conveniente que se barra el salto, si ocurre es necesario diseñar una estructura disipadora de energía, como puede ser un tanque amortiguador o un dique vertedor, que permita igualar la energía del conjugado mayor con la energía del tirante normal aguas abajo del salto.

Procedimiento

1. Aforar el gasto que pasa por el canal, empleando el vertedor triangular que existe al final de éste (m^3/s), utilizando la siguiente ecuación:

Utilizando el canal de flujo lento:

$$Q = 1.2077h^{2.3192} \quad 1.7$$

Utilizando el modelo autocontenido:

$$Q = 0.147412h^{1.5} \quad 1.8$$

En las fórmulas anteriores se tiene que:

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

$h =$ carga del vertedor (m)



2. Medir los tirantes conjugados menor (y_1) y mayor (y_2) del salto hidráulico (m).
3. Calcular la velocidad de la sección del conjugado menor (m/s).
4. Calcular el número de Froude para el tirante conjugado menor (Fr_1)
5. De acuerdo al valor calculado para el número de Froude, clasificar el salto.
6. Plantear la ecuación de energía entre las secciones inicial y subsiguiente del salto hidráulico.
7. Calcular la energía en las secciones inicial y subsiguiente (m).
8. Utilizando las ecuaciones 1.5 ó 1.6 (según sea el caso) calcular la pérdida de energía (ΔE) (m).
9. Medir la longitud del salto hidráulico en proyección horizontal, desde el tirante conjugado menor al tirante conjugado mayor (m).
10. Calcular la longitud del salto hidráulico “bien formado” (L) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L = 5(y_2 - y_1) \qquad 1.9$$

11. Comparar longitud medida en el paso número 9, con la calculada en el paso 10

TABLA N° 1.1

S (%)	(1) h (m)	(2) Q_{Ver} (m^3/s)	(3) y_1 (m)	(4) y_2 (m)	(5) A_1 (m)	(6) V_1 (m/s)	(7) Fr_1	(8) <i>Tipo de salto</i>	(9) ΔE (m)	(10) L_{medida} (m)	(11) $L_{calculada}$ (m)
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Actividades

1. ¿En que sección del canal de flujo lento donde se presenta el salto hidráulico?
2. ¿El salto hidráulico se presenta únicamente en secciones similares a la del canal de flujo lento?
3. ¿Qué otros dispositivos, a parte de los mencionados, se pueden utilizar para evitar que se barra un salto?
4. ¿Cuál es la ecuación para determinar el tirante crítico?
5. ¿Cómo se calcula el conjugado menor?
6. ¿Cómo se puede calcular la longitud donde se desarrolla el salto hidráulico?