

# MANUAL DE LABORATORIO HIDRÁULICA

---

## PRÁCTICA 3 TRANSICIÓN EN FLUJO SUBCRÍTICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL  
DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA  
CIVIL



Universidad  
Industrial de  
Santander



## Contenido

<b>Laboratorio 3. Transición En flujo subcrítico</b> .....	3
<b>1. Marco teórico:</b> .....	3
<b>1.1. Ascensos</b> .....	3
<b>1.2. Descensos</b> .....	4
<b>1.3. Contracciones y expansiones</b> .....	4
<b>2. objetivos</b> .....	5
<b>3. Procedimiento</b> .....	6
<b>4. equipo utilizado</b> .....	7
<b>5. Datos</b> .....	7
<b>7. Resultados</b> .....	10
<b>8. Observaciones y conclusiones</b> .....	11
<b>9. Referencias bibliográficas</b> .....	11
Ilustración 1:Relaciones de energía específica en un ascenso.....	3
Ilustración 2:Relación de profundidades y energías en contracciones con flujo subcrítico .....	4
Ilustración 3: Relaciones de energía específica en contracciones y expansiones.....	5
Ilustración 4: Resumen de contracciones, expansiones, ascensos y descensos.....	6
Ilustración 5: Localización de puntos para toma de medidas .....	6
Ilustración 6: Perfil en el canal .....	11
Tabla 1: Resultados de la practica.....	10
Ecuación 1 .....	3
Ecuación 2 .....	4
Ecuación 3 .....	4

## Laboratorio 3. Transición En flujo subcrítico

### 1. Marco teórico:

La transición se define como un cambio, ya sea en el fondo o en la geometría del canal o en ambos, lo cual produce efectos de variación en la profundidad y velocidad del flujo durante la transición. Las transiciones que se pueden presentar en un canal pueden ser de cuatro tipos:

1. Ascensos.
2. Descensos.
3. Contracciones.
4. Expansiones.

### 11. Ascensos

Un ascenso se define como la variación del nivel en el fondo del canal. Para el análisis de esta transición se igualan energías totales antes y después del ascenso:

$$H_1 = H_2$$
$$Z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$
$$E_1 = E_2 + (Z_2 - Z_1)$$

$E_1 = E_2 + \Delta Z$	Ecuación 1
------------------------	------------

Ecuación que indica que la diferencia entre las energías específicas es igual a la altura del ascenso. Un análisis más sencillo se puede observar al graficar la energía específica contra la profundidad del flujo en el canal *figura 1*

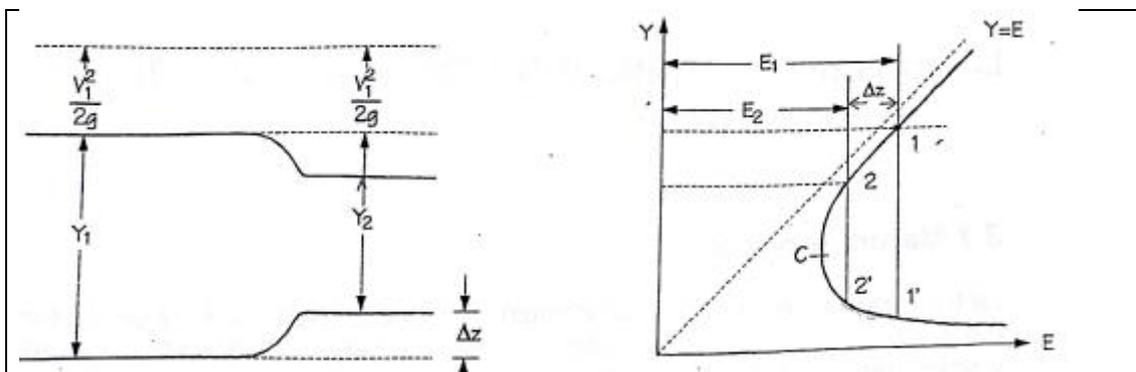


Ilustración 1: Relaciones de energía específica en un ascenso

Como se observó en la teoría del laboratorio de energía específica en flujo no podrá cambiar de régimen en la transición; si la profundidad antes de la transición

es  $Y_1$  entonces la profundidad en el punto 2 será  $Y_2$  cómo  $Y_1 > Y_c$  el flujo es subcrítico y para este caso la profundidad del flujo disminuye en la transición. Un aumento en el nivel de flujo ocurrirá en el caso de un ascenso en flujo supercrítico.

Cuando la energía en la sección 2 se hace igual a la crítica el  $\Delta Z$  en este caso es un  $\Delta Z$  máximo, y la profundidad del flujo en la sección 2 es igual a la profundidad crítica para cualquier régimen aguas arriba.[1]

### 1.2. Descensos

Haciendo el análisis similar para los ascensos se obtiene:

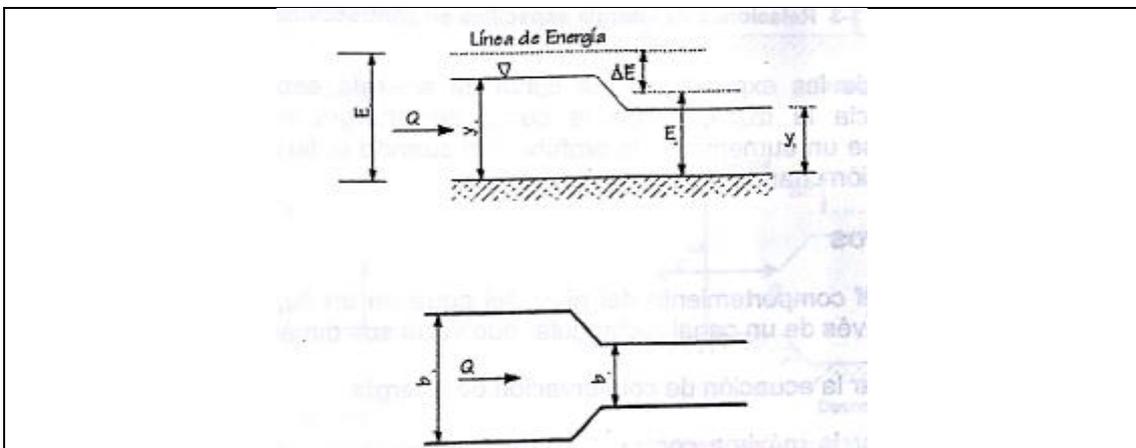
$E_1 = E_2 - \Delta Z$	<i>Ecuación 2</i>
------------------------	-------------------

En este caso  $E_2$  está ubicada a la derecha de  $E_1$  en la gráfica de la energía específica contra la profundidad, y observándose que cuando el flujo es subcrítico se cumple que  $Y_1 > Y_2$  indicando que el nivel en la sección 2 sube respecto al nivel en la sección 1 medidos desde el fondo del canal y lo contrario ocurrirá en el caso del flujo supercrítico.

### 1.3. Contracciones y expansiones

Una contracción es una variación en la sección transversal que produce un aumento en la velocidad del flujo. En el caso de producir una disminución de la velocidad en el flujo, se define como una expansión. Si se omiten las pérdidas de energía por rozamiento del flujo con las paredes del canal, las energías específicas serán iguales a las secciones antes y después de la transición. La ecuación que se debe aplicar para resolver este problema es:

$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$	<i>Ecuación 3</i>
---	-------------------



*Ilustración 2: Relación de profundidades y energías en contracciones con flujo subcrítico*

Como las secciones transversales en 1 y 2 son diferentes se tienen dos curvas de energía específica contra profundidad. La curva de energía específica obtenida para la sección 2 se desplaza hacia la derecha de la curva de energía específica obtenida para la sección 1.

De la *figura 3*, si el flujo aguas arriba es subcrítico, el nivel de agua en la sección 2 baja, y si el flujo es supercrítico aguas arriba el nivel del agua en 2 sube, y la profundidad crítica en 2 aumenta respecto a la profundidad crítica en 1.

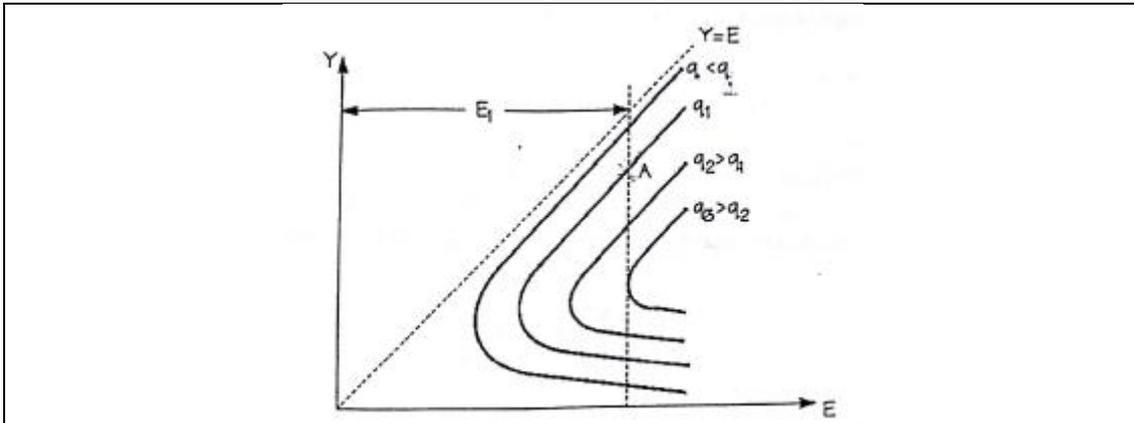
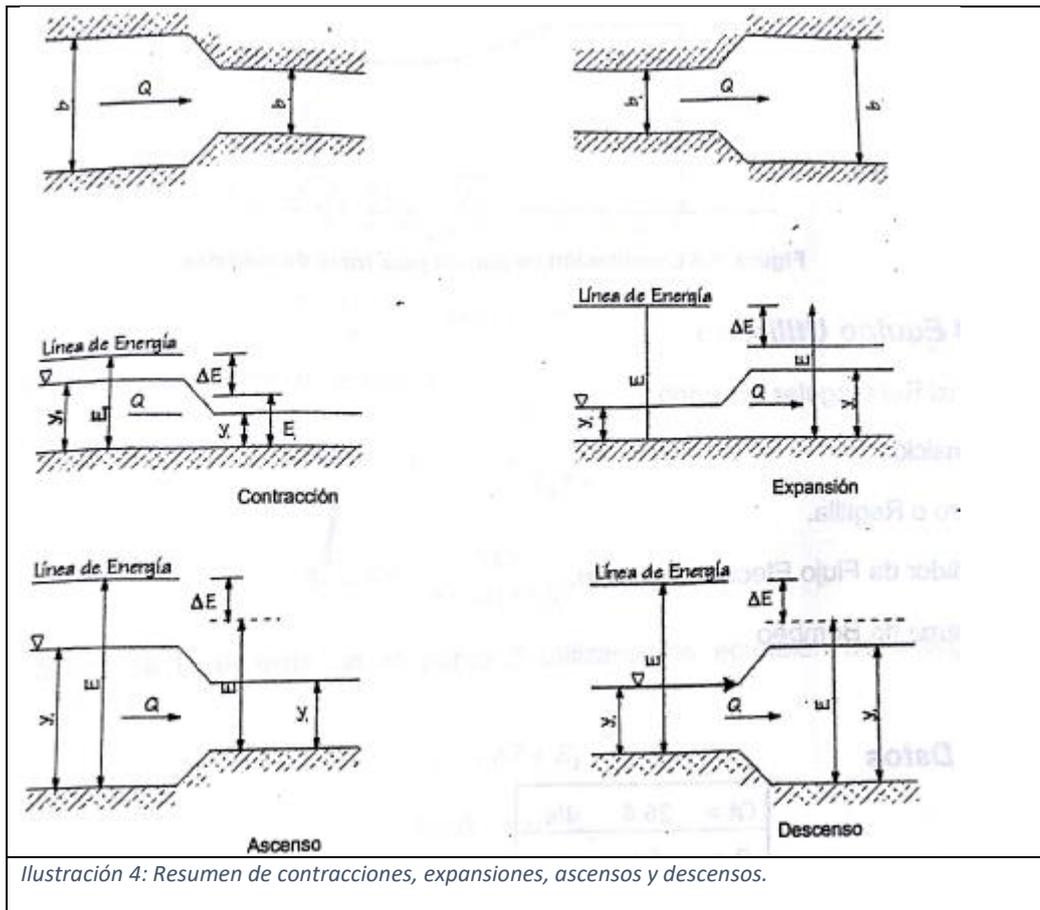


Ilustración 3: Relaciones de energía específica en contracciones y expansiones.

En el caso de las expansiones, la curva de energía específica en 2 se desplaza hacia la izquierda de la curva de energía específica en 1, presentándose un aumento en la profundidad cuando el flujo es subcrítico y una disminución cuando el Flujo es supercrítico.[2]

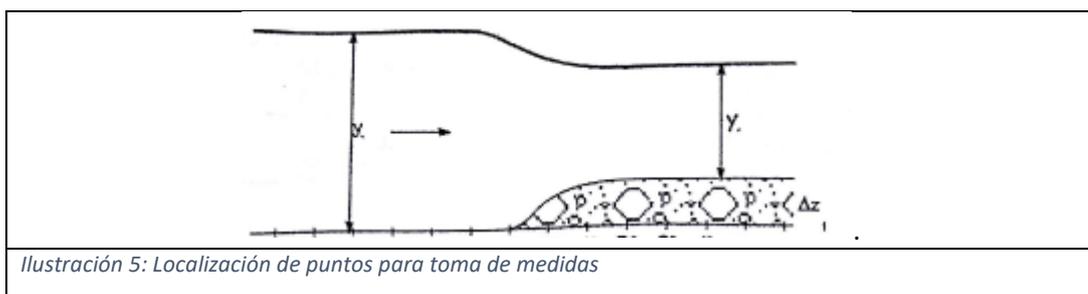
## 2. Objetivos

- 1) Analizar el comportamiento del nivel del agua en un flujo subcrítico que pasa a través de un canal rectangular que varía sus dimensiones.
- 2) Comprobar la ecuación de conservación de energía
- 3) Determinar la máxima contracción que se puede presentar debido a la transición en un flujo subcrítico.



### 3. Procedimiento

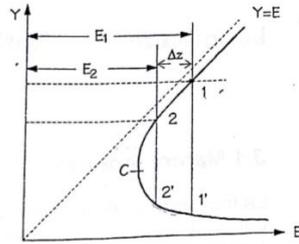
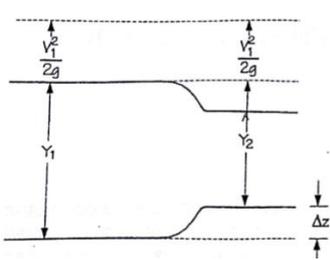
- 1) medir el tamaño de la transición y colocarla en el canal
- 2) Poner en funcionamiento del sistema de bombeo y esperar a que el flujo se estabilice
- 3) Seleccionar un número de puntos no inferior a cinco antes y después de la transición que instante uno de otro
- 4) Tomar las alturas o tirantes en cada una de las abscisas y el respectivo ancho de la sección
- 5) Tomar la lectura del caudal en el medidor de flujo



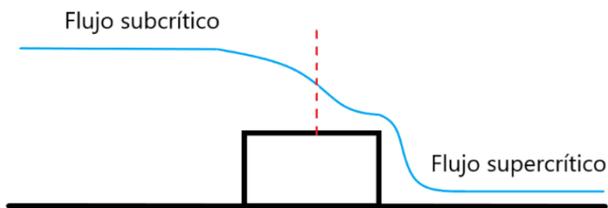
#### 4. Equipo utilizado

- Canal rectangular de vidrio
- Transición
- Metro o regla
- Medidor de flujo electromagnético
- Sistema de bombeo

#### 5. Datos



Abs [cm]	Tirante (Y1)
0	27
10	27
20	27
30	27
35	26.9
40	26.8
45	26.7



Abs [cm]	Tirante (Y1)
50	11
55	10.2
60	8.6
65	7.5
70	6.8
75	6
80	4.8

b canal [m]: 0.412    Q [L/s]: 25.23 27.45 27.62

ΔZ [cm]: 15

## 6. Cálculo tipo

- ✓ Cálculo de caudal promedio [ $m^3/s$ ]

$$Q_{\text{prom}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$Q_{\text{prom}} = \frac{(25,23 + 27,45 + 27,62)E^{-3}}{3} = 26,77 \times 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

- ✓ Cálculo de velocidad en el punto 2 (Antes del bloque) [ $m^2/s$ ]

$$V_{\text{punto 2}} = \frac{Q_{\text{prom}}}{Y_2 * b} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$V_{\text{punto 2}} = \frac{26,77 \times 10^{-3}}{0,27 * 0,412} = 0,241 \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

- ✓ Cálculo de energía en el punto 2 [m]

$$E_2 = Y_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} [m] \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$E_2 = 0,27 + \frac{(0,241)^2}{2 * 9,81} = 0,273 [m]$$

Para poder realizar la comparación se debe calcular la velocidad y la energía específica en el punto 6 (Después del bloque).

- ✓ Cálculo de velocidad en el punto 6 [ $m^2/s$ ]

$$V_{\text{punto 6}} = \frac{Q_{\text{prom}}}{Y_6 * b} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$V_{\text{punto 6}} = \frac{26,77 \times 10^{-3}}{0,102 * 0,412} = 0,637 \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

- ✓ Cálculo de energía experimental [m]

$$E_{\text{Experimental 6}} = Y_6 + \frac{V_2^2}{2 * g} [m] \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$E_{Experimental\ 6} = 0,102 + \frac{(0,637)^2}{2 * 9,81} = 0,12268 [m]$$

- ✓ Cálculo de energía teórica en el punto 6 [m], utilizando la ecuación de energía específica:

$$E_{Teórica\ 6} = E_2 - \Delta z [m] \quad (Ecuación\ 4)$$

$$E_{Teórica\ 6} = 0,273 - 0,15 = 0,12295 [m]$$

- ✓ Cálculo del error en energía en el punto 6

$$\%E_E = \frac{|E_{Teórica\ 6} - E_{Experimental\ 6}|}{E_{Teórica\ 6}} * 100 [\%] \quad (Ecuación\ 5)$$

$$\%E_E = \frac{|0,12268 - 0,12295|}{0,12268} * 100 = 0,22 [\%]$$

- ✓ Cálculo de caudal por unidad de base  $\left[\frac{m^3}{s * m}\right]$

La base del canal tiene una medida de 0,412 [m]

$$q = \frac{Q_{prom}}{b} \left[ \frac{m^3}{s * m} \right] \quad (Ecuación\ 6)$$

$$q = \frac{26,77 * 10^{-3}}{0,412} = 64,97 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s * m} \right]$$

- ✓ Cálculo de tirante teórico en el punto 6 [cm] y porcentaje de error:

$$E_{Teórica\ 6} = Y_{Teórico\ 6} + \frac{q^2}{2 * g * Y_{Teórico\ 6}} \quad (Ecuación\ 7)$$

$$0,12295 = Y_{Teórico\ 6} + \frac{(64,97 * 10^{-3})^2}{2 * 9,81 * Y_{Teórico\ 6}^2}$$

$$Y_{Teórico\ 6} = 0,104 [m] = 10,4 [cm]$$

- ✓ Cálculo del error en el tirante en el punto 6

$$\%EY_2 = \frac{|Y_{Teórico\ 6} - Y_6|}{Y_{Teórico\ 6}} * 100 [\%] \quad (Ecuación\ 8)$$

$$\%EY_2 = \frac{|10,4 - 10,2|}{10,4} * 100 = 1,57 [\%]$$

- ✓ Cálculo del tirante crítico [cm]

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \text{ [m]} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{64,97 \times 10^{-3} \text{ }^2}{9,81}} = 7,5 \text{ [cm]}$$

- ✓ Cálculo de energía crítica [m]

$$E_c = \frac{3}{2} * Y_c \text{ [m]} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$E_c = \frac{3}{2} * 0,075 = 0,113 \text{ [m]}$$

- ✓ Cálculo de  $\Delta z$  máximo [m]

$$\Delta z_{\text{máximo}} = E_2 - E_c \text{ [m]} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$\Delta z_{\text{máximo}} = 0,273 - 0,113 = 0,160 \text{ [m]} = 16 \text{ cm}$$

## 7. Resultados

$Y_1$ [cm]	$Y_2$ [cm]	$V_1$ [m/s]	$V_2$ [m/s]	$E_1$ [m]	$E_2$ [m]	$E_{2\text{teor}}$ [m]	% $E_E$	$Y_{2\text{teor}}$ [cm]	% $E_{Y_2}$	$\Delta z_{\text{max}}$ [cm]
27	11	0,241	0,591	0,273	0,12778	0,12295	3,93%	10,3	6,85%	0,160
27	10,2	0,241	0,637	0,273	0,12268	0,12295	0,22%	10,4	1,57%	0,160
27	8,6	0,241	0,755	0,273	0,11509	0,12295	6,40%	10,4	17,01%	0,160
27	7,5	0,241	0,866	0,273	0,11324	0,12295	7,89%	5,7	31,70%	0,160
26,9	6,8	0,242	0,955	0,272	0,11452	0,12197	6,11%	5,8	17,96%	0,159
26,8	6	0,242	1,083	0,271	0,11976	0,12100	1,02%	5,8	2,67%	0,158
26,7	4,8	0,243	1,353	0,270	0,14137	0,12002	17,79%	5,9	19,03%	0,157

Tabla 1: Resultados de la practica

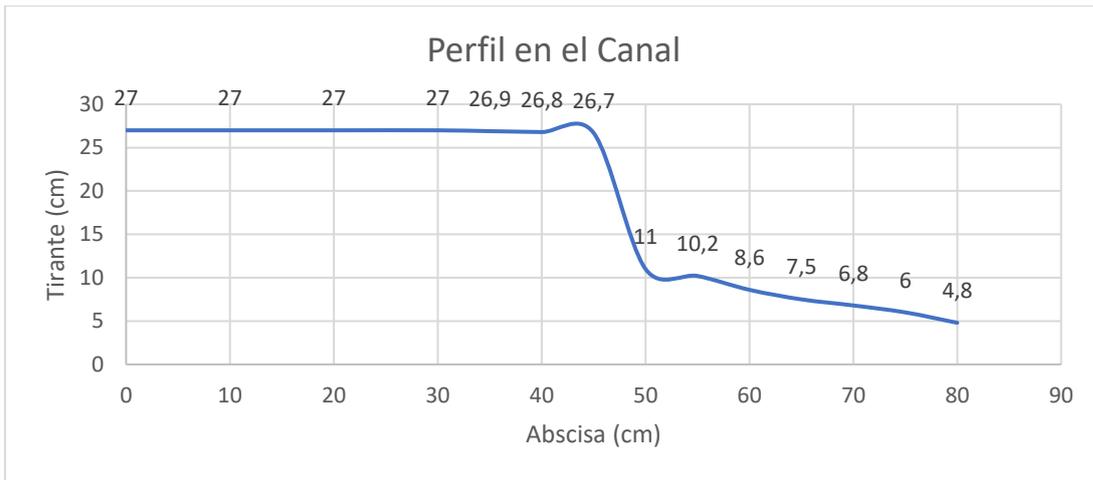


Ilustración 6: Perfil en el canal

## 8. Observaciones y conclusiones

¿Por qué el nivel del agua en la grada pasa por el crítico si en la teoría se dice que en una transición el flujo no puede cambiar (por ejemplo, el subcrítico a supercrítico)?

¿Existe un punto de control en la grada, por qué?

¿Cómo podría usted utilizar este fenómeno en aplicaciones prácticas, por ejemplo, en el diseño de estructuras de medición de caudal?

## 9. Referencias bibliográficas

- [1] V. T. CHOW, *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS*. Santafe de Bogota: McGraw-Hill, 2000.
- [2] G. E. GAVILAN LEON, *GUIA DE LABORATORIO DE HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS*. Bucaramanga: UISEscuela de Ingeniería Civil, 2001.