

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	1/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

Práctica 4

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
M.I. Alejandro Maya Franco, Dr. José A. Bonilla Porras, Ing. Víctor M. Palma Valderrama, et al.	M.I. Alejandro Maya Franco	Ing. Jesús Gallegos Silva	1 de agosto de 2022

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	2/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Rejillas de los canales del cárcamo	Posible caída

2. Objetivos de aprendizaje

I. Objetivos generales

Aplicar la ecuación dinámica que describe al flujo gradualmente variado para determinar el comportamiento del tirante.

II. Objetivos específicos

Analizar las condiciones que rigen el comportamiento en un flujo gradualmente variado.

3. Introducción y antecedentes

- Flujo gradualmente variado
- Ecuación dinámica
- Régimen de un flujo
- Clasificación de perfiles y sus características principales
- Métodos de solución de la ecuación dinámica
- Método estándar por pasos

4. Material y equipo

- Canal de pendiente variable (12868)
- Limnímetro de punta (FI:16011)
- Flexómetro
- Manómetro diferencial cerrado (MDC-03-PLINT)

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	3/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Desarrollo

Actividad 1

1. Verificar que la plantilla del canal cuente con un desnivel Δz de 0.01m.
2. Encender el canal y medir la diferencia de niveles de mercurio Δh , en m, en el manómetro diferencial cerrado de la tobera.

$$\Delta h = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$$

3. Con ayuda de la ecuación de calibración de la tobera, calcular el gasto Q , que circula por el canal, en m^3/s .

$$Q = 0.1239\sqrt{\Delta h} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Determinar el tirante crítico y_c , en m, utilizando la ecuación general de tirante crítico:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$$

donde:

$$b = 0.20 \text{ m}$$

5. Localizar el tirante contracto (sección1), al pie de la compuerta, como lo muestra la figura 1. Medir los niveles de fondo N_f y de superficie libre del agua N_s , en m, registrar las mediciones en la tabla 1.
6. Obtener el nivel de fondo N_f y el nivel de superficie libre del agua N_s , en la sección 2, localizada un metro aguas abajo de la sección 1. Repetir el proceso anterior para cada una de las ocho secciones restantes figura 1. Registre sus mediciones en la tabla 1.

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	4/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

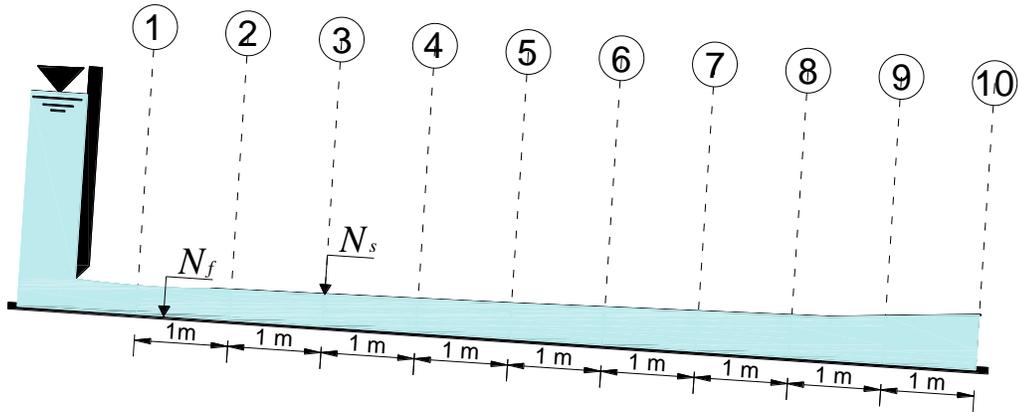


Figura 1. Secciones de medición en el canal con pendiente positiva

Tabla 1. Tabla de tirantes medidos

Sección	N_s m	N_f m	$y = N_s - N_f$ M
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	5/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Análisis de las condiciones que rigen el comportamiento en un flujo gradualmente variado.

Ejercicio 1

1. Calcular el tirante normal y_n , en m, y la pendiente crítica S_c del canal, mediante la ecuación de Manning:

$$\frac{Qn}{\sqrt{S_0}} = A R_h^{2/3} = f(y_n)$$

$$S_c = \left(\frac{n Q}{A R_h^{2/3}} \right)^2 = f(y_c)$$

donde:

- Q gasto que fluye en el canal, en m^3/s
- n coeficiente de Manning, $n = 0.009 \text{ s/m}^{1/3}$
- S_0 pendiente de plantilla, $S_0 = \frac{\Delta z}{L}$; $L = 11.7 \text{ m}$
- A área hidráulica, en m^2
- R_h radio hidráulico, en m

2. Clasificar el perfil que se presenta en el canal (Figura 3) de acuerdo con las siguientes características:
 - a) Tipo de perfil de acuerdo a la magnitud de la pendiente que se presenta en la plantilla respecto a la crítica.
 - b) Zona en la que se localiza el perfil del flujo de acuerdo a la magnitud de los tirantes normal y crítico.
 - c) Variación del tirante en el sentido del flujo de acuerdo a la ecuación del flujo gradualmente variado (analizar el signo de la ecuación) :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - F_r^2}$$

donde:

- F_r número de Froude
- S_f pendiente de fricción del perfil que se presenta en el canal

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	6/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- d) Determinar el sentido del cálculo del perfil hidráulico respecto al régimen y secciones de control a lo largo del canal.
3. Calcular el perfil de la superficie libre del agua con el método estándar por pasos a partir de la sección de control, con la siguiente expresión.

$$y_j = y_i + \frac{\Delta x (S_0 - \bar{S}_f)}{1 - \bar{F}_r^2}$$

$$\bar{F}_r = \frac{F_{ri} + F_{rj}}{2}$$

$$\bar{S}_f = \frac{S_{fi} + S_{fj}}{2}$$

donde:

- y_j tirante en la sección j , en m.
- y_i tirante en la sección i , en m.
- \bar{F}_r número de Froude medio
- \bar{S}_f pendiente media aritmética de fricción
- Δx Longitud entre las secciones i y j , en m.

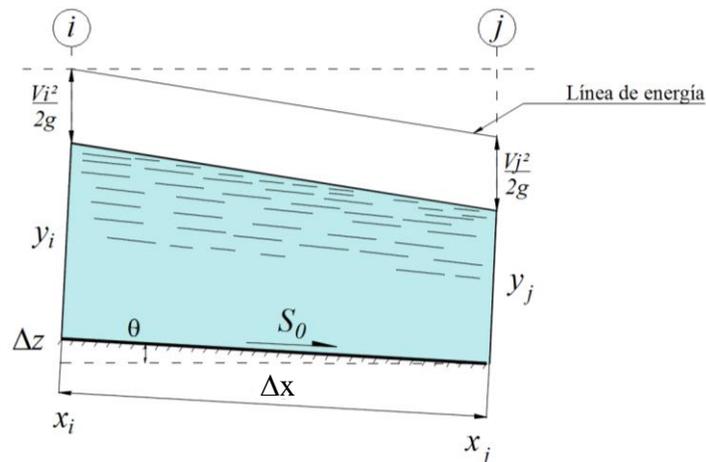


Figura 2. Secciones a considerar en el cálculo.

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	7/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Se sugiere el procedimiento siguiente:

- El método inicia con el tirante y_i medido; éste es el tirante i (figura 2). Calcular el número de Froude Fr_{ip} y la pendiente de fricción S_{fi} .
- Proponer Δy según las características del perfil hidráulico del experimento y obtener un tirante $y_{jprop} = \Delta y + y_i$ que corresponde a la sección j (2) de análisis.
- Calcular el número de Froude Fr_{jp} y la pendiente de fricción S_{fj} correspondiente al tirante propuesto en el inciso anterior.
- Calcular el número de Froude medio \overline{Fr} y la pendiente de fricción media \overline{S}_f entre las dos secciones i y j .
- Obtener el tirante y_{jcalc} según la ecuación del método estándar por pasos:

$$y_j = y_i + \frac{\Delta x(S_0 - \overline{S}_f)}{1 - \overline{Fr}^2}$$

- Comparar los tirantes y_{jprop} y y_{jcalc} , si son diferentes pasar al inciso g; si son iguales pasar al inciso h).
- Iniciar el método pero ahora con el tirante calculado y_{jcalc} , como un nuevo tirante propuesto y_{jp} y repetir los incisos c) al f).
- El tirante y_{jcalc} será el tirante en la sección j (2) y se puede pasar al siguiente intervalo de análisis.
- Realizar los pasos a) al h), donde se conocen las características de la sección i (2) que corresponden al tirante y_{2c} del intervalo anterior y se desconoce el tirante y_j de la sección j (3).

Nota: Se sugiere la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 2. Tabla de cálculo para el perfil de la superficie libre.

Sección	y_p m	A m ²	R_h m	V m/s	Fr	S_f	\overline{Fr}	\overline{S}_f	y_{jcalc} m
i									
j									

- Dibujar un plano con las siguientes características:
 - La plantilla del canal en color negro
 - El tirante crítico en color rojo
 - El tirante normal en color verde
 - El perfil de la superficie libre medido en color azul
 - El perfil de la superficie libre calculado en color naranja

Nota: deberá incluir acotaciones y se puede distorsionar la escala vertical.

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	8/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

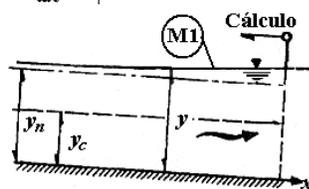
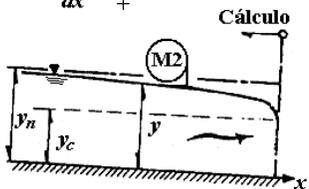
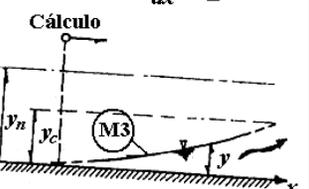
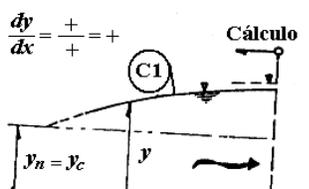
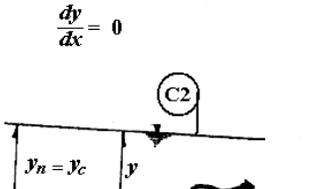
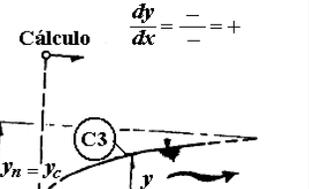
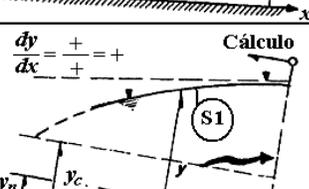
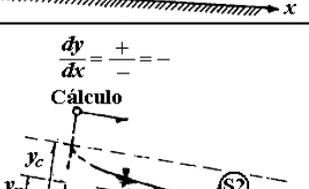
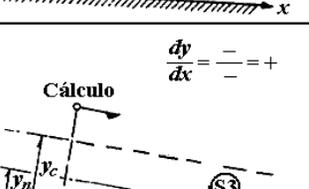
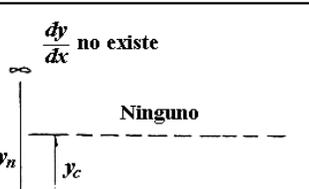
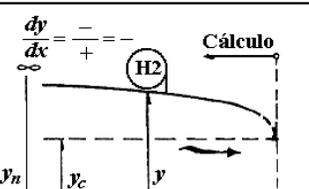
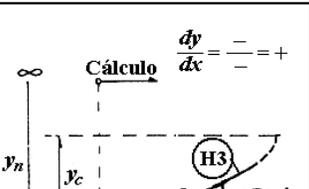
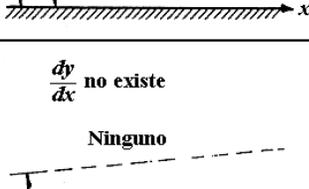
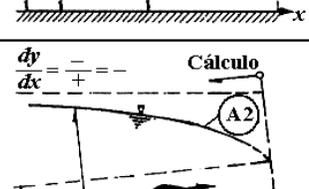
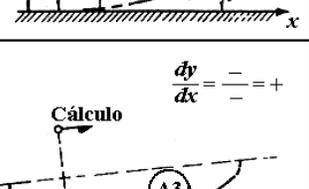
7. Conclusiones

8. Referencias Bibliográficas

1. Sotelo, A. G. *Hidráulica de canales*, Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 2001.
2. Chow, V.T. *Hidráulica de Canales Abiertos*, Editorial Mc Graw Hill, México 1985.
3. Gardea, V. H. *Hidráulica de canales*, Facultad de Ingeniería, UNAM. México. 1999.

	Manual de prácticas de hidráulica de canales	Código	MADO-26
		Versión	03
		Página	9/9
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	1 de agosto de 2022
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de hidráulica	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Figura 3. Clasificación de los perfiles de un flujo gradualmente variado. (Sotelo, 2001)

		Perfiles en la zona 1 $y > y_n ; S_0 > S_f$ $y > y_c ; F_r^2 < 1$	Perfiles en la zona 2 $y_n \geq y \geq y_c ; S_0 \leq S_f ; F_r^2 \leq 1$ $y_c \geq y \geq y_n ; S_0 \geq S_f ; F_r^2 \geq 1$	Perfiles en la zona 3 $y < y_n ; S_0 < S_f$ $y < y_c ; F_r^2 > 1$
Pendiente positiva: $S_0 > 0$	Subcrítica: $y_n > y_c$	$\frac{dy}{dx} = \frac{+}{+} = +$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{+} = -$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 
	Crítica: $y_n = y_c$	$\frac{dy}{dx} = \frac{+}{+} = +$ 	$\frac{dy}{dx} = 0$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 
	Supercrítica: $y_n < y_c$	$\frac{dy}{dx} = \frac{+}{+} = +$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{+}{-} = -$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 
Pendiente horizontal: $S_0 = 0$	$\frac{dy}{dx}$ no existe Ninguno 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{+} = -$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 	
	$y_n > y_c$	$\frac{dy}{dx}$ no existe Ninguno 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{+} = -$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 
Pendiente negativa: $S_0 < 0$	$\frac{dy}{dx}$ no existe Ninguno 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{+} = -$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 	
	$y_n < y_c$	$\frac{dy}{dx}$ no existe Ninguno 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{+} = -$ 	$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$ 