



Universidad Autónoma de Sinaloa
Escuela de Ingeniería de Mazatlán
Licenciatura en Ingeniería Civil

Edición 2023

Laboratorio de Hidráulica de Canales



Edición 2023

INTRODUCCIÓN

Las prácticas de laboratorio permiten que el estudiante se familiarice con los fenómenos fundamentales y con el manejo de los aparatos de uso más frecuente en los laboratorios, las empresas y el ejercicio profesional.

Se parte del hecho de que el futuro profesionista debe tener acceso a los conceptos, definiciones, ecuaciones, criterios y procedimientos de forma sencilla, clara y precisa que le permitirán enfrentar y resolver los problemas correctamente. Un aspecto esencial de las prácticas de laboratorio es, por supuesto, el manejo de ciertos instrumentos y la realización de mediciones. Sin embargo, las prácticas no se reducen a ello, otro importante aspecto consiste en la preparación previa de los estudiantes para el trabajo en el laboratorio. Durante esa preparación deben comprender la problemática que abordarán y el objetivo de la práctica, saber deducir las ecuaciones que utilizarán, así como conocer el contenido del trabajo a realizar. Y no menos importante que lo anterior es la labor posterior a la sesión de trabajo en el laboratorio: cálculos, evaluación de la incertidumbre de los resultados, construcción de gráficas, respuesta a las preguntas formuladas y, finalmente, elaboración del informe o reporte de la práctica.

Son muchas las ventajas pedagógicas de las prácticas, ya los estudiantes desarrollan tanto la teoría como la práctica, y proporciona varios datos que permiten la comparación con los fenómenos reales, de tal forma que son observados y analizados para su estudio.

Este manual de prácticas, pretende facilitar el proceso de enseñanza - aprendizaje como apoyo de la asignatura de Laboratorio de Hidráulica de Canales y es retomado del manual del M.I. José Luis Hernández Naranjo.

1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA

UNIDAD DE APRENDIZAJE	Laboratorio de Hidráulica de Canales		
Clave:	3438		
Semestre:	IV		
Grupo disciplinar:	Ciencias Básicas () Ciencias de la Ingeniería (X) Ingeniería Aplicada () Ciencias Sociales y Humanidades () Otros Cursos ()		
Área:	Hidráulica		
Horas y créditos:	Teóricas: 0	Prácticas: 15	Estudio Independiente:
	Total de horas: 15		Créditos: 2
Tipo de curso:	Teórico	Teórico-práctico	Práctico (X)
Competencias del perfil de egreso a la que aporta	<p>Conceptuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tener los conocimientos básicos de estructuras, geotecnia, hidráulica, construcción, sanitaria, sistemas y transportes que le permitan proponer soluciones a los problemas que atiende la ingeniería civil. • Tener los conocimientos de computación y comunicación gráfica para su uso eficaz en la solución de problemas • Conocer la sociedad en la que desarrollará sus actividades así como sus recursos y necesidades. <p>Procedimentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ser capaz de aplicar los conocimientos de las ciencias básicas y de la ingeniería civil a la solución integral de problemas concretos. • Tener la capacidad de observar, interpretar y modelar los fenómenos físicos de la naturaleza. • Ser capaz de crear, innovar, asimilar y adaptar la tecnología en el ámbito de la ingeniería civil. • Poseer creatividad en la solución de problemas. • Tener la capacidad de expresarse correctamente en forma oral, escrita y gráfica. • Tener la capacidad para participar y colaborar en equipos de trabajo. 		

	<p>Actitudinales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atender los problemas de la ingeniería desde una visión inclusiva de la problemática global de los fenómenos sociales. • Buscar la optimización del uso de los recursos, tanto humanos como materiales. • Manifiestar espíritu de servicio para la sociedad. • Respetar los valores, costumbres y tradiciones de las comunidades afectadas por las obras. • Asumir prácticamente la necesidad de una constante actualización. • Ejercer la profesión responsablemente, atendiendo a los principios y valores éticos que obligan a la probidad y la honestidad. • Respetar el ambiente. • Tener disposición para colaborar y participar en grupos multidisciplinarios. • Mostrar iniciativa y liderazgo (emprendedor) en todos los ámbitos del ejercicio profesional, que incluya: la búsqueda de nichos para el desarrollo tecnológico; el incremento de las fuentes de trabajo mediante la creación de empresas; buena disposición hacia las relaciones humanas y la búsqueda de la calidad, y la atención a la relación costo-beneficio dando cuenta del uso adecuado de los recursos. 	
<p>Unidades de aprendizaje relacionadas</p>	<p>Hidráulica General, Lab. De Hidráulica General, Obras hidroagrícolas, Redes de agua potable y alcantarillado.</p>	
<p>Responsables de elaborar y/o actualizar el programa:</p>	<p>M.I. Alma Delia Figueroa Suarez. M.I. Ramón Márquez Domínguez. M.I. Javier Alonso Chávez Pérez. M.I. Jesús Manuel Lizárraga Pereda.</p>	
<p>Fecha de:</p>	<p>Elaboración: Agosto 2006</p>	<p>Actualización: Enero 2014</p>
<p>2. PROPOSITO</p>		
<p>El alumno determinará el coeficiente de rugosidad de Manning, construirá la curva de energía específica contra tirantes para una sección determinada del canal; así como también determinará, clasificar, dibujar algunos perfiles de flujo en un canal de pendiente variable; obtendrá las características de un resalto hidráulico y determinará la forma de perfiles de flujo gradualmente variado con el método por etapas.</p>		

3. SABERES

Teóricos:

- Conoce y comprende el coeficiente de rugosidad de Manning.
- Conoce diferentes materiales y sus coeficientes de rugosidad.
- Comprende el concepto de energía específica y tirante crítico.
- Conoce e identifica los perfiles de flujo.
- Comprende y represente físicamente el fenómeno del resalto hidráulico.
- Conoce y aplica el método por etapas para graficar e identificar perfiles de flujo gradualmente variado.
- Conoce el uso y beneficios de la utilización de canales para el manejo de los recursos hidráulicos.

Prácticos:

- Desarrolla modelos para la representación de los fenómenos que se presentan en los canales.
- Aplica fórmulas para resolver problemas.
- Recopila información con rigor científico.
- Realiza mediciones precisas.
- Ordena datos utilizando principios estadísticos.
- Mide las distintas secciones en canales.
- Determina las características geométricas en canales.
- Determina el coeficiente de rugosidad de Manning.
- Aplica el coeficiente de rugosidad de Manning.
- Calcula la energía específica en canales.
- Determina el tirante crítico en canales.
- Grafica perfiles de flujo.
- Determina las características del resalto hidráulico.
- Determina perfiles de flujo gradualmente variado.
- Aplica el método por etapas en flujo gradualmente variado.

Actitudinales:

- Atiende la problemática de los fenómenos hidráulicos en los canales en beneficio de la sociedad.
- Se muestra solidario con sus compañeros y la sociedad.
- Muestra espíritu de servicio.
- Es responsable, ético y honesto.
- Muestra respeto al medio ambiente.
- Muestra disposición para trabajar en equipos.
- Muestra iniciativa y liderazgo.

4. CONTENIDO TEMÁTICO

Práctica	Temas	Horas
I	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	3
II	ENERGÍA ESPECÍFICA Y TIRANTE CRÍTICO	3
III	PERFILES DE FLUJO	3
IV	CARACTERÍSTICA DEL RESALTO HIDRÁULICO	3
V	PERFILES DE FLUJO GRADUALMENTE VARIADO, MÉTODO POR ETAPAS	3
		15

5. EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

6.1. Evidencias de aprendizaje	6.2. Criterios de desempeño	6.3. Calificación y acreditación										
<ul style="list-style-type: none"> Manual de Prácticas de laboratorio. Bitácora de asistencia. Álbum fotográfico de actividades experimentales. 	<ul style="list-style-type: none"> Respeto la hora de entrada y salida de la práctica. Sigue los criterios establecidos para la entrega del cuadernillo de prácticas. (Limpieza, Contenidos completos, Entrega puntual, etc) Se muestra atento y respetuoso ante las opiniones de sus compañeros. Participa activamente durante el desarrollo de la práctica. 	<p>El procedimiento que se empleará pretende ser flexible, podrá adaptarse y cambiar según lo requiera la situación. La evaluación será diagnóstica, formativa y sumativa. Se muestran los porcentajes que se proponen.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Actitud (Participación, Asistencia, Conducta, Trabajo colaborativo)</i></td> <td style="text-align: center;">40.0%</td> </tr> <tr> <td><i>Album fotográfico.</i></td> <td style="text-align: center;">10.0%</td> </tr> <tr> <td><i>Manual de Prácticas.(reportes, problemas de aplicación, etc.</i></td> <td style="text-align: center;">50.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">100.0%</td> </tr> </table>			<i>Actitud (Participación, Asistencia, Conducta, Trabajo colaborativo)</i>	40.0%	<i>Album fotográfico.</i>	10.0%	<i>Manual de Prácticas.(reportes, problemas de aplicación, etc.</i>	50.0%		100.0%
<i>Actitud (Participación, Asistencia, Conducta, Trabajo colaborativo)</i>	40.0%											
<i>Album fotográfico.</i>	10.0%											
<i>Manual de Prácticas.(reportes, problemas de aplicación, etc.</i>	50.0%											
	100.0%											

ÍNDICE

Práctica 1	Características geométricas de los canales.....	1
Práctica 2	Diagrama de energías en un canal.....	11
Práctica 3	Ecuación de Chezy – Manning su verificación.....	17
Práctica 4	Coefficiente de rugosidad “n” de la Ecuación de Manning.....	23
Práctica 5	Coefficiente de rugosidad equivalente “ n_{eq} ”	29
Práctica 6	Ecuación de flujo crítico.....	37
Práctica 7	Formas de definir el flujo en canales.....	45
Práctica 8	Clasificación de perfiles en flujo gradualmente variado.....	53
Práctica 9	Aplicación del método paso a paso.....	73

1. GENERALIDADES SOBRE LOS CANALES

1.2. Práctica PC1-2: Características geométricas de los canales

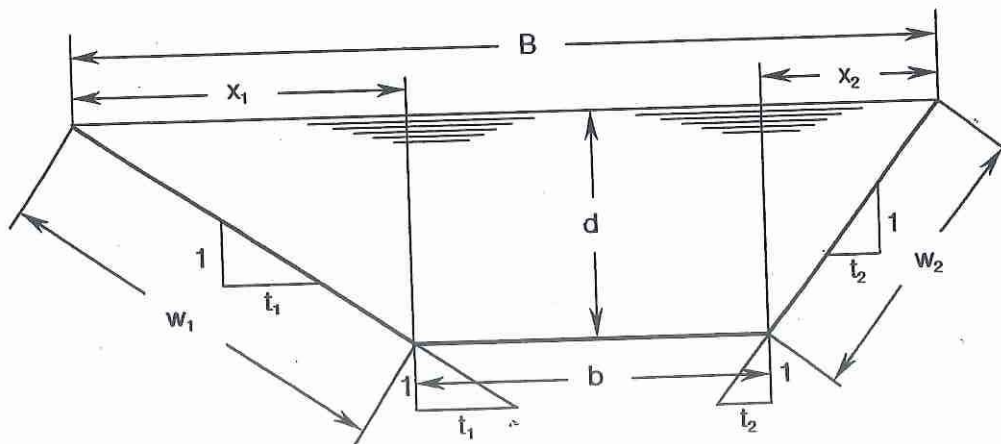
1.2.1. Objetivo:

Estando en funcionamiento el canal de pendiente variable, para una pendiente del fondo pronunciada determinada se llevarán a cabo las mediciones necesarias, para calcular: el ancho de la superficie libre (B), el perímetro mojado (P), el área hidráulica (A), el radio hidráulico (R), la profundidad media (Y) y el tirante vertical (y).

1.2.2. Descripción de la teoría que se verificará, mediante la práctica:

Características geométricas de las secciones transversales más comunes:

1.2.2.1. Sección trapezoidal asimétrica:



se tiene que: $\frac{1}{t_1} = \frac{d}{x_1} \rightarrow x_1 = t_1 d$

además: $w_1 = \sqrt{x_1^2 + d^2} = \sqrt{(t_1 d)^2 + d^2} = \sqrt{t_1^2 d^2 + d^2} = \sqrt{d^2 (t_1^2 + 1)} = d \sqrt{t_1^2 + 1}$

similarmente: $\frac{1}{t_2} = \frac{d}{x_2} \rightarrow x_2 = t_2 d$

de donde: $w_2 = \sqrt{x_2^2 + d^2} = \sqrt{(t_2 d)^2 + d^2} = \sqrt{t_2^2 d^2 + d^2} = \sqrt{d^2 (t_2^2 + 1)} = d \sqrt{t_2^2 + 1}$

Para el ancho de la superficie libre de la figura se tiene: $B = b + x_1 + x_2$

$$B = b + t_1 d + t_2 d \quad \{ \text{ancho de la superficie libre} \}$$

De acuerdo con la figura el area del trapecio es:

$$A = \frac{(B + b)d}{2} = \frac{(b + t_1 d + t_2 d + b)d}{2} = \frac{(2b + t_1 d + t_2 d)d}{2} = \frac{2bd + t_1 d^2 + t_2 d^2}{2}$$

$$A = bd + \frac{t_1 d^2}{2} + \frac{t_2 d^2}{2} \quad \{ \text{Area hidr\u00e1ulica} \}$$

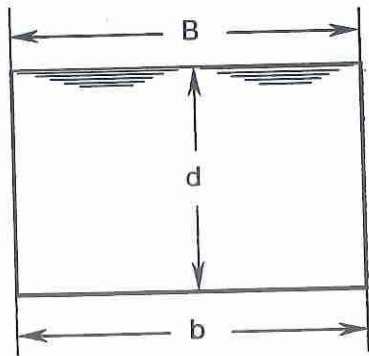
De la figura para el per\u00edmetro mojado se tiene: $P = w_1 + w_2 + b$

$$P = b + d \sqrt{t_1^2 + 1} + d \sqrt{t_2^2 + 1} \quad \{ \text{Per\u00edmetro mojado} \}$$

Por definici\u00f3n el Radio hidr\u00e1ulico viene dado por la expresi\u00f3n: $R = \frac{A}{P}$

$$R = \frac{bd + \frac{t_1 d^2}{2} + \frac{t_2 d^2}{2}}{b + d \sqrt{t_1^2 + 1} + d \sqrt{t_2^2 + 1}} \quad \{ \text{Radio hidr\u00e1ulico} \}$$

1.2.2.2. Secci\u00f3n rectangular:



se tiene que: $t = 0$ { talud }

$$B = b \quad \{ \text{ancho de la superficie libre} \}$$

$$A = b d \quad \{ \text{Area hidr\u00e1ulica} \}$$

$$P = b + 2 d \quad \{ \text{Per\u00edmetro mojado} \}$$

$$R = \frac{b d}{b + 2 d} \quad \{ \text{Radio hidr\u00e1ulico} \}$$

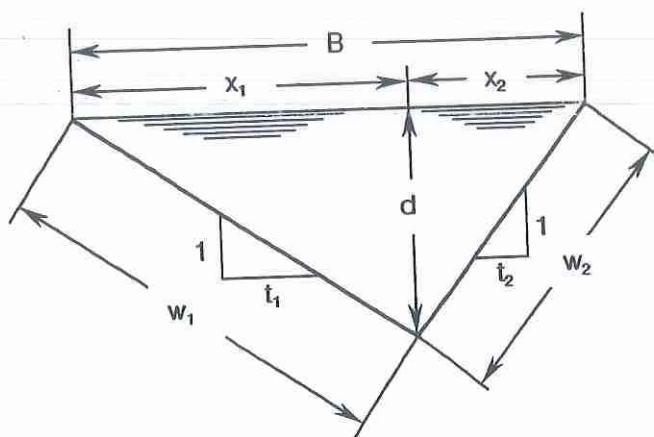
1.2.2.3. Secci\u00f3n triangular asim\u00e9trica:

se tiene que: $\frac{1}{t_1} = \frac{d}{x_1} \rightarrow x_1 = t_1 d$; adem\u00e1s:

$$w_1 = \sqrt{x_1^2 + d^2} = \sqrt{(t_1 d)^2 + d^2} = \sqrt{t_1^2 d^2 + d^2} = \sqrt{d^2 (t_1^2 + 1)} = d \sqrt{t_1^2 + 1}$$

similarmente: $\frac{1}{t_2} = \frac{d}{x_2} \rightarrow x_2 = t_2 d$; de donde:

$$w_2 = \sqrt{x_2^2 + d^2} = \sqrt{(t_2 d)^2 + d^2} = \sqrt{t_2^2 d^2 + d^2} = \sqrt{d^2 (t_2^2 + 1)} = d \sqrt{t_2^2 + 1}$$



Para el ancho de la superficie libre de la figura se tiene: $B = x_1 + x_2$

$$B = t_1 d + t_2 d \quad \{ \text{ancho de la superficie libre} \}$$

De acuerdo con la figura el area del triángulo es:

$$A = \frac{(B)d}{2} = \frac{(t_1 d + t_2 d)d}{2} = \frac{t_1 d^2 + t_2 d^2}{2}$$

$$A = \frac{t_1 d^2}{2} + \frac{t_2 d^2}{2} \quad \{ \text{Area hidráulica} \}$$

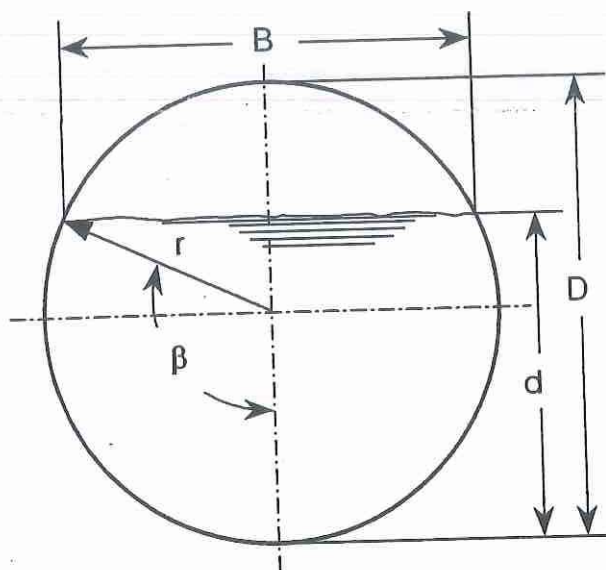
Para el perímetro mojado se tiene: $P = w_1 + w_2 = d \sqrt{t_1^2 + 1} + d \sqrt{t_2^2 + 1}$

$$P = d \left(\sqrt{t_1^2 + 1} + \sqrt{t_2^2 + 1} \right) \quad \{ \text{Perímetro mojado} \}$$

Por definición el Radio hidráulico viene dado por la expresión: $R = \frac{A}{P}$

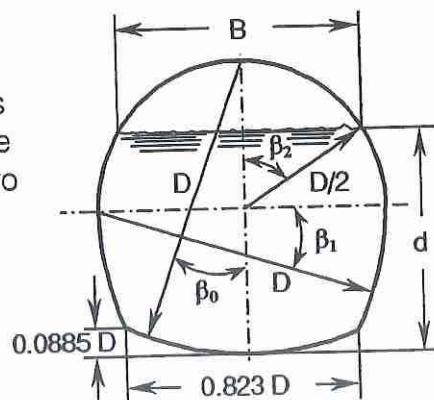
$$R = \frac{\frac{t_1 d^2}{2} + \frac{t_2 d^2}{2}}{d \left(\sqrt{t_1^2 + 1} + \sqrt{t_2^2 + 1} \right)} \quad \{ \text{Radio hidráulico} \}$$

1.2.2.4. Sección circular: Para conocer las características geométricas de las secciones circulares es decir; área hidráulica (A), perímetro mojado (P), radio hidráulico (R) y ancho de la superficie libre (B), se dispone de fórmulas, gráficas y tablas adecuadas.



ELEMENTO GEOMETRICO	FORMULA EMPLEADA
	$0 \leq \frac{d}{D} \leq 1$
Angulo en radianes	$\beta = \text{ang} \cos \left(1 - \frac{2d}{D} \right)$
Perímetro mojado	$P = D \beta$
Área hidráulica	$A = \frac{D^2 (\beta - \text{sen} \beta \cos \beta)}{4}$
Radio hidráulico	$R = \frac{D (\beta - \text{sen} \beta \cos \beta)}{4 \beta}$
Ancho de la superficie libre	$B = D \text{sen} \beta$

1.2.2.5. Sección de herradura: Para conocer las características geométricas de las secciones de herradura es decir; área hidráulica (A), perímetro mojado (P), radio hidráulico (R) y ancho de la superficie libre (B), se dispone de fórmulas, gráficas y tablas adecuadas.



ELEMENTO GEOMETRICO	FORMULA EMPLEADA		
	$0 \leq \frac{d}{D} < 0.0885$	$0.0885 \leq \frac{d}{D} \leq 0.5$	$0.5 < \frac{d}{D} \leq 1.0$
Angulo en radianes	$\beta_0 = \text{ang} \cos \left(1 - \frac{d}{D} \right)$	$\beta_1 = \text{ang} \text{sen} \left(0.5 - \frac{d}{D} \right)$	$\beta_2 = \text{ang} \cos \left(\frac{2d}{D} - 1 \right)$
Perímetro mojado	$P = 2D$	$P = D(1.6962 - 2\beta_1)$	$P = D(3.2670 - \beta_2)$
Área hidráulica	$A = D^2 \left[\frac{\beta_0 - (D-d)B}{2D^2} \right]$	$A = D^2 \left[0.4366 - \beta_1 + 0.5 \left(1 - \frac{B}{D} \right) \text{sen} \beta_1 \right]$	$A = D^2 \left[0.8293 - 0.25\beta_2 + \frac{B \left(\frac{d}{D} - 0.5 \right)}{2D} \right]$
Radio hidráulico	$R = \frac{A}{P}$	$R = \frac{A}{P}$	$R = \frac{A}{P}$
Ancho de la superficie libre	$B = 2 \sqrt{d(2D-d)}$	$B = D \left(\frac{1 + 8 \text{sen}^2 \beta_1}{2 - 4 \text{sen}^2 \beta_1} \right)$	$B = 2 \sqrt{d(D-d)}$

1.2.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable y cinta métrica

1.2.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

1.2.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

1.2.4.2. Con la ayuda del instructor, estando el canal de pendiente variable funcionando para una pendiente y gasto cualquiera, anotando dichos valores; se procede a medir la plantilla, el tirante y el bordo libre en cinco secciones diferentes separadas simétricamente según convega, tomando nota de las distancias respecto del cabezal y entre secciones.

1.2.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

1.2.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC1-2.1

1.2.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Con los datos obtenidos de gasto, pendiente del fondo, plantilla, tirantes y bordos libres, empleando las fórmulas correspondientes para: *el ancho de la superficie libre (B)*, *el perímetro mojado (P)*, *el área hidráulica (A)*, *el radio hidráulico (R)*, *la profundidad media (Y)* y *el tirante vertical (y)*, se calculan estas características geométricas para cada sección seleccionada y se calcula una sección promedio. A escala adecuada se dibujan las secciones elegidas y la promedio, también se dibuja el perfil del flujo mediante un corte longitudinal.

1.2.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC1-2.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad u otro programa impresos en chorro de tinta o laser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC1-2.1					Hoja 1 de 1	
Datos; Práctica PC1-2: Características geométricas de los canales						
Nombre del alumno:						
Grupo:		Brigada:		Fecha:		Horario:
Nombre del instructor:						
<i>Información tomada del canal de pendiente variable</i>						
Gasto:		lts/seg	Pendiente del fondo del canal:			%
<i>Datos correspondientes a la 1ª sección:</i>						
Plantilla (1):		cm	Tirante (1):		cm	Bordo libre (1):
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:						cm
<i>Datos correspondientes a la 2ª sección:</i>						
Plantilla (2):		cm	Tirante (2):		cm	Bordo libre (2):
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 2ª sección:						cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:						cm
<i>Datos correspondientes a la 3ª sección:</i>						
Plantilla (3):		cm	Tirante (3):		cm	Bordo libre (3):
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 3ª sección:						cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:						cm
<i>Datos correspondientes a la 4ª sección:</i>						
Plantilla (4):		cm	Tirante (4):		cm	Bordo libre (5):
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 4ª sección:						cm
Distancia de separación entre la sección 3ª y la 4ª:						cm
<i>Datos correspondientes a la 5ª sección:</i>						
Plantilla (5):		cm	Tirante (5):		cm	Bordo libre (5):
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 5ª sección:						cm
Distancia de separación entre la sección 4ª y la 5ª:						cm
Observaciones:						
Firma del alumno:				Firma del instructor:		
Observaciones del instructor:						
Calificación con número:				Calificación con letra:		

Resultados; *Práctica PC1-2: Características geométricas de los canales*

Nombre del alumno:

Grupo:

Brigada:

Fecha:

Horario:

Nombre del instructor:

Cálculos

Observaciones:

Resultados; *Práctica PC1-2: Características geométricas de los canales*

Representación gráfica de las características geométricas de las secciones

Sección 1 ^a	Sección 2 ^a
Sección 3 ^a	Sección 4 ^a
Sección 5 ^a	Sección Promedio

Representación gráfica del perfil del flujo en corte longitudinal

Observaciones:

Formato PC1-2.2				Hoja 3 de 3	
Resultados; Práctica PC1-2: Características geométricas de los canales					
Características del flujo					
Gasto:	lts/seg	Pendiente del fondo del canal:			%
Características geométricas de la 1ª sección:					
Ancho de superficie libre (1): $B_1 =$		cm	Area hidráulica (1): $A_1 =$		cm ²
Perímetro mojado (1): $P_1 =$		cm	Radio hidráulico (1): $R_1 =$		cm
Profundidad media (1): $Y_1 =$		cm	Tirante Vertical (1): $y_1 =$		cm
Características geométricas de la 2ª sección:					
Ancho de superficie libre (2): $B_2 =$		cm	Area hidráulica (2): $A_2 =$		cm ²
Perímetro mojado (2): $P_2 =$		cm	Radio hidráulico (2): $R_2 =$		cm
Profundidad media (2): $Y_2 =$		cm	Tirante Vertical (2): $y_2 =$		cm
Características geométricas de la 3ª sección:					
Ancho de superficie libre (3): $B_3 =$		cm	Area hidráulica (3): $A_3 =$		cm ²
Perímetro mojado (3): $P_3 =$		cm	Radio hidráulico (3): $R_3 =$		cm
Profundidad media (3): $Y_3 =$		cm	Tirante Vertical (3): $y_3 =$		cm
Características geométricas de la 4ª sección:					
Ancho de superficie libre (4): $B_4 =$		cm	Area hidráulica (4): $A_4 =$		cm ²
Perímetro mojado (4): $P_4 =$		cm	Radio hidráulico (4): $R_4 =$		cm
Profundidad media (4): $Y_4 =$		cm	Tirante Vertical (4): $y_4 =$		cm
Características geométricas de la 5ª sección:					
Ancho de superficie libre (5): $B_5 =$		cm	Area hidráulica (5): $A_5 =$		cm ²
Perímetro mojado (5): $P_5 =$		cm	Radio hidráulico (5): $R_5 =$		cm
Profundidad media (5): $Y_5 =$		cm	Tirante Vertical (5): $y_5 =$		cm
Características geométricas de la sección promedio:					
Ancho de superficie libre: $B =$		cm	Area hidráulica: $A =$		cm ²
Perímetro mojado: $P =$		cm	Radio hidráulico: $R =$		cm
Profundidad media: $Y =$		cm	Tirante Vertical: $y =$		cm
Observaciones:					
Firma del alumno:			Firma del instructor:		
Observaciones del instructor:					
Calificación con número:		Calificación con letra:			

1. GENERALIDADES SOBRE LOS CANALES

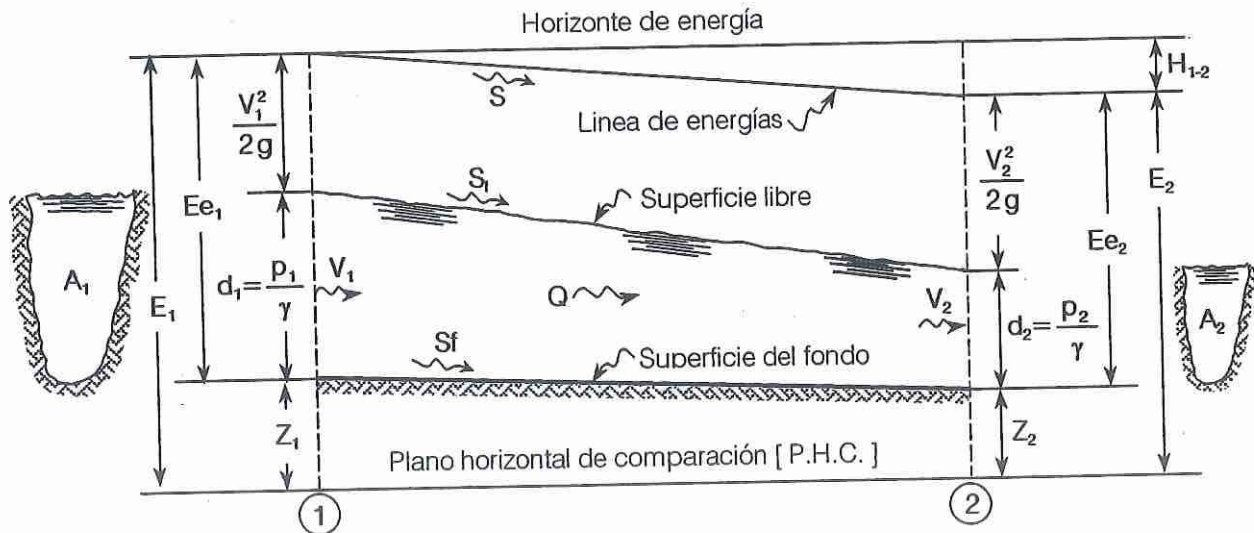
1.7. Práctica PC1-7: Diagrama de energías para un canal

1.7.1. Objetivo:

Mediante el canal de pendiente variable trabajando para un gasto y una pendiente del fondo cualquiera, se llevarán a cabo las mediciones necesarias para obtener el *Diagrama de energías para un canal*.

1.7.2. Descripción de la teoría que se verificará, mediante la práctica.

Diagrama de energías para un canal:



en donde:

S = Pendiente de energía; S_L = Pendiente de la superficie libre; Q = Gasto o caudal;
 S_f = Pendiente del fondo; $H_{1,2}$ = Pérdida de energía de 1 a 2; A_1 ; A_2 = Areas en 1 y en 2;
 E_1 ; E_2 = Energías o alturas totales en 1 y en 2; V_1 ; V_2 = Velocidades medias en 1 y en 2;
 Ee_1 ; Ee_2 = Energías específicas en 1 y en 2; p_1 ; p_2 = Presiones en 1 y en 2;
 Z_1 ; Z_2 = Energías de posición en 1 y en 2; d_1 ; d_2 = Tirantes en 1 y en 2;

$\frac{V_1^2}{2g}$; $\frac{V_2^2}{2g}$ = Energías o alturas de velocidad en 1 y en 2;

$\frac{p_1}{\gamma}$; $\frac{p_2}{\gamma}$ = Energías o alturas de presión en 1 y en 2; γ = Peso específico;

1.7.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable, cinta métrica

1.7.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

1.7.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

1.7.4.2. Obtención del Diagrama de energías para un canal.- Con ayuda del instructor, se pone a trabajar el canal para una pendiente del fondo cualquiera, anotando este valor; se permite que se establezca el flujo, procurando que no se forme una ola o un salto hidráulico; se eligen dos secciones cuidando que tengan tirantes diferentes, se miden los tirantes, se mide la distancia de la primera sección respecto del cabezal derecho, se mide la distancia entre secciones; de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil.

1.6.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

1.7.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC1-7.1

1.7.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

1.7.6.1. Determinación de las cargas o alturas de velocidad.- El cálculo de las cargas de velocidad se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$Ec_1 = \frac{V_1^2}{2g} = \text{Carga de velocidad en 1}; \quad Ec_2 = \frac{V_2^2}{2g} = \text{Carga de velocidad en 2}$$

Las velocidades medias del flujo se obtienen recurriendo a la ecuación de la continuidad: $Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$.

$V_1 = Q / A_1 =$ Velocidad media en 1; $V_2 = Q / A_2 =$ Velocidad media en 2; en donde:

$Q =$ Gasto que fluye por el canal registrado en el flujómetro;

$A_1 = b d_1 =$ Area hidráulica; $A_2 = b d_2 =$ Area hidráulica; en donde:

$b =$ Ancho de plantilla; $d_1 =$ Tirante en 1; $d_2 =$ Tirante en 2.

1.7.6.2. **Determinación de las cargas o alturas de presión.**- Aceptando que se cumple la ley de distribución de presiones hidrostática o lineal, el cálculo de las cargas de presión se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$Ep_1 = \frac{p_1}{\gamma} = d_1 = \text{Carga de presión en 1}; \quad Ep_2 = \frac{p_2}{\gamma} = d_2 = \text{Carga de presión en 2};$$

en donde: p_1 = Presión en 1; p_2 = Presión en 2 ; γ = Peso específico;

d_1 = Tirante en 1; d_2 = Tirante en 2

1.7.6.3. **Determinación de las cargas o alturas de posición.**- Es la energía que posee un fluido en virtud de su posición con respecto a un plano horizontal de comparación, también se le conoce como energía potencial, debido a su capacidad de realizar trabajo en función de encontrarse en un plano más elevado con relación al lugar donde se llevará a cabo la acción, las cargas o alturas de posición de las secciones son:

Z_1 = Carga o altura de posición en 1; Z_2 = Carga o altura de posición en 2;

$Z_2 = Z_1 - Sf L$; en donde:

Sf = Pendiente del fondo del canal ; L = Distancia que separa las secciones 1 y 2

1.7.6.4. **Determinación de las energías específicas.**- La energía específica de un fluido es la suma de la carga o altura de velocidad y la carga o altura de presión de dicho fluido, de donde para cada sección se tiene:

$$Ee_1 = Ec_1 + Ep_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \text{Energía específica en 1}$$

$$Ee_2 = Ec_2 + Ep_2 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} = \text{Energía específica en 2}$$

1.7.6.5. **Determinación de las energías totales.**- La energía total de un fluido es la suma de la carga o altura de velocidad, la carga o altura de presión más la carga o altura de posición de dicho fluido, de donde para cada sección se tiene:

$$E_1 = Ee_1 + Z_1 = Ec_1 + Ep_1 + Z_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 = \text{Energía total en 1}$$

$$E_2 = Ee_2 + Z_2 = Ec_2 + Ep_2 + Z_2 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 = \text{Energía total en 2}$$

1.7.6.6. Diagrama de energías.- Conocidos; E_1 , E_2 , Ee_1 , Ee_2 , Ec_1 , Ec_2 , Ep_1 , Ep_2 , Z_1 , Z_2 ; tomando como referencia lo expuesto en la teoría se procede a llevar a cabo la representación gráfica de la información calculada, dibujando a una escala adecuada las secciones elegidas así como el perfil del flujo con sus acotamientos, leyendas y demás información típica de un diagrama de energías, señalando plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, velocidades, etc., con sus respectivas escalas gráficas, siendo aconsejable emplear escalas diferentes en la horizontal y en la vertical.

1.7.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC1-7.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad u otro programa impresos en chorro de tinta o laser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC1-7.1						Hoja 1 de 1	
Datos; Práctica PC1-7: Diagrama de energías para un canal							
Nombre del alumno:							
Grupo:		Brigada:		Fecha:		Horario:	
Nombre del instructor:							
<i>Información para obtener el diagrama de energías:</i>							
<i>Datos de la medición:</i>							
Pendiente del fondo del canal: $S_f =$						%	
Plantilla: $b =$		cm	Gasto: $Q =$	lps			
Tirante(1):		cm	Tirante (2):	cm			
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:						cm	
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:						cm	
<i>Perfil observado en la medición:</i>							
Observaciones:							
Firma del alumno:				Firma del instructor:			
Observaciones del instructor:							
Calificación con número:				Calificación con letra:			

Resultados; *Práctica PC1-7: Diagrama de energías para un canal*

Nombre del alumno:		Brigada:		Fecha:	Horario:
Grupo:					
Nombre del instructor:					
<i>Obtención del diagrama de energías:</i>					
Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf =	%

Cálculos:

$V_1 =$	cm/s	$E_{c1} = V_1^2/2g =$	cm	$Z_1 =$	cm
$d_1 =$	cm	$E_{p1} = p_1/\gamma =$	cm	$E_{e1} =$	cm
$V_2 =$	cm/s	$E_{c2} = V_2^2/2g =$	cm	$Z_2 =$	cm
$d_2 =$	cm	$E_{p2} = p_2/\gamma =$	cm	$E_{e2} =$	cm

Diagrama de energías:

Firma del alumno:	Firma del instructor:
Observaciones del instructor:	
Calificación con número:	Calificación con letra:

2. FLUJO UNIFORME

2.3. Práctica PC2-3: Ecuación de Chezy-Manning su verificación

2.3.1. Objetivo:

Con el canal de pendiente variable funcionando para una pendiente del fondo y un gasto adecuados se verificará la *Ecuación de Chezy-Manning*.

2.3.2. Descripción de la teoría que se validará mediante la práctica.

Ecuación de Chezy-Manning:

2.3.2.1.- Ecuación de Chezy-Manning para cualquier pendiente.- La ecuación fundamental del flujo uniforme en canales o ecuación de Chezy viene dada de la siguiente forma:

$$V = C \sqrt{R S} ; \text{ o bien: } Q = C A \sqrt{R S} ; \text{ y de acuerdo con Manning: } C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

sustituyendo tenemos:

$$V = \frac{1}{n} R^{1/6} R^{1/2} S^{1/2} = \frac{1}{n} R^{1/6} R^{3/6} S^{1/2} = \frac{1}{n} R^{1/6 + 3/6} S^{1/2} = \frac{1}{n} R^{4/6} S^{1/2}$$

$$\text{de donde se concluye que: } V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \text{ \{ Ecuación de Chezy-Manning}$$

$$\text{y ya que: } Q = A V; \text{ por tanto: } Q = \frac{A R^{2/3} S^{1/2}}{n} \text{ \{ Ecuación de Chezy-Manning}$$

2.3.2.1. Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas.- En los casos donde la pendiente del fondo de los canales es pequeña, se tiene que: $S \approx S_f$; por tanto, reemplazando en la Ecuación de Chezy-Manning tenemos:

$$V = \frac{R^{2/3} \sqrt{S_f}}{n} \text{ \{ Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas; o bien:}$$

$$Q = \frac{A R^{2/3} \sqrt{S_f}}{n} \text{ \{ Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas.}$$

2.3.2.1. Relación entre [n] y [f].- En la ecuación de Chezy-Manning se tiene que aparece el término [n], que es el Coeficiente de Rugosidad que depende de la naturaleza de las paredes del conducto y en la ecuación de Darcy-Weisbach aparece el Coeficiente de Fricción de Fanning [f], que depende de la rugosidad relativa y del Número de Reynolds. La relación que existe entre ellos se obtiene de la siguiente manera:

Se sabe que: $C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$; además: $C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$; igualando se tiene:

$\sqrt{\frac{8g}{f}} = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$; despejando para n:

$$n = R^{\frac{1}{6}} \sqrt{\frac{f}{8g}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Relación entre la [n] de la ecuación de Chezy-Manning} \\ \text{y la [f] de la ecuación de Darcy-Weisbach} \end{array} \right.$$

2.3.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable y cinta métrica

2.3.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

2.3.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

2.3.4.2. Con ayuda del instructor, estando el canal de pendiente variable funcionando para una pendiente del fondo adecuada, anotando este valor; se permite que se establezca el flujo, procurando que no se forme una ola o un salto hidráulico; se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean iguales, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, se miden las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye.

2.3.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

2.3.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC2-3.1

2.3.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

2.3.6.1. Cálculo del gasto mediante la Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas.- En los casos donde la pendiente del fondo de los canales es pequeña, se tiene que: $S \approx S_f$ y el cálculo del gasto que fluye se lleva a cabo mediante la Ecuación de Chezy-Manning de la siguiente manera:

$$Q = \frac{A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_f}}{n} \quad \{ \text{Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas.} \}$$

en donde:

$R = A/P =$ Radio hidráulico promedio; $A = b d =$ Area hidráulica promedio;

$P = b + 2 d =$ Perímetro mojado; $b =$ Ancho de plantilla;

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 =$ Tirante promedio; $d_1, d_2, d_3 =$ Tirantes en secciones 1, 2, 3

$n =$ Coeficiente de rugosidad del canal; $S_f =$ Pendiente del fondo del canal;

2.3.6.2. Verificación de la validez de la Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas.- El gasto calculado mediante la ecuación de Chezy-Manning se compara con el gasto que fluye por el canal, es decir, el que registra el flujómetro.

2.3.6.3. Representación gráfica.- Para tener el conocimiento completo del comportamiento del fluido en las mediciones; de lo observado, con los datos obtenidos se procede a realizar un reporte gráfico, a escala adecuada dibujando las secciones elegidas y el perfil del flujo en corte longitudinal. Los dibujos deben estar acotados señalando, plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, etc., acompañados de leyendas explicativas que ilustren el tema con su respectiva escala gráfica.

2.3.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC2-3.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad y otro programa impresos en chorro de tinta o láser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC2-3.1			Hoja 1 de 1	
Datos; Práctica PC2-3: Ecuación de Chezy-Manning su verificación				
Nombre del alumno:				
Grupo:		Brigada:	Fecha:	Horario:
Nombre del instructor:				
<i>Información correspondiente al flujo</i>				
Gasto: $Q =$		lps	Plantilla: $b =$	cm
Pendiente: $S_f =$		%		
Tirante(1): $d_1 =$		cm	Tirante (2): $d_2 =$	cm
Tirante (3): $d_3 =$		cm		
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:				cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:				cm
<i>Perfil observado en la medición</i>				
observaciones:				
Firma del alumno:			Firma del instructor:	
Observaciones del instructor:				
Calificación con número:			Calificación con letra:	

Formato PC2-3.2			Hoja 1 de 1
Resultados; <i>Práctica PC2-3: Ecuación de Chezy-Manning su verificación</i>			
Nombre del alumno:			
Grupo:	Brigada:	Fecha:	Horario:
Nombre del instructor:			
<i>Dibujos correspondientes al estado del flujo</i>			
Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)	
<i>Representación gráfica del perfil en corte longitudinal</i>			
<i>Cálculos</i>			
<i>Resumen de la información obtenida</i>			
Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm Pendiente: Sf = %
Tirante promedio: d =	cm	Area hidráulica: A =	m ²
Perímetro mojado: P =	m	Radio hidráulico: R =	m
Gasto calculado mediante la ecuación de Chezy-Manning:			lps
observaciones:			
Firma del alumno:		Firma del instructor:	
Observaciones del instructor:			
Calificación con número:		Calificación con letra:	

2. FLUJO UNIFORME

2.5. Práctica PC2-5: Coeficiente de rugosidad "n" de la Ecuación de Manning

2.5.1. Objetivo:

Mediante el canal de pendiente variable trabajando en *Flujo Uniforme*, para una pendiente del fondo y gasto cualquiera se llevarán a cabo las mediciones necesarias para calcular el *Coeficiente de Rugosidad de la ecuación de Manning [n]*.

2.5.2. Descripción de la teoría que se validará mediante la práctica.

Coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning:

La ecuación de Chezy-Manning se expresa de la siguiente forma: $V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$; o bien:

$Q = \frac{A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$; y para pendientes del fondo pequeñas: $V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \sqrt{Sf}}{n}$; o bien:

$Q = \frac{A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{Sf}}{n}$; en donde dependiendo del tipo de canal y de la naturaleza de sus paredes, el coeficiente de rugosidad [n], se obtiene de tablas como la siguiente:

Descripción y tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo
1.- Conductos cerrados fluyendo parcialmente llenos			
1.1.- Metal	0.009	0.010	0.013
1.1.1. Bronce, liso			
1.1.2. Acero	0.010	0.012	0.014
1.1.2.1. Lockbar y soldado	0.013	0.016	0.017
1.1.2.2. Riveteado y en espiral			
1.1.3. Acero fundido	0.010	0.013	0.014
1.1.3.1. Forrado	0.011	0.014	0.016
1.1.3.2. Sin forrar			
1.1.4. Acero comercial	0.012	0.014	0.015
1.1.4.1. Negro	0.013	0.016	0.017
1.1.4.2. Galvanizado			
1.1.5. Metal corrugado	0.017	0.019	0.021
1.1.5.1. Drenaje inferior	0.021	0.024	0.030
1.1.5.2. Drenaje tormenta			
1.2. No metal	0.008	0.009	0.010
1.2.1. Lucita	0.009	0.010	0.013
1.2.2. Vidrio			
1.2.3. Cemento	0.010	0.011	0.013
1.2.3.1. Pulido de superficie	0.011	0.013	0.015
1.2.3.2. Mortero			

Tabla 2.5.2. Valores del Coeficiente de Rugosidad [n] de la ecuación de Manning (continuación)			
Descripción y tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo
1.2.4. Concreto	0.010	0.011	0.013
1.2.4.1. Alcantarilla, recta y libre de desperdicios	0.011	0.013	0.014
1.2.4.2. Alcantarilla con codos, conexiones y algunos desperdicios	0.011	0.012	0.014
1.2.4.3. Terminado	0.013	0.015	0.017
1.2.4.4. Cloaca con válvulas, entradas, etc., recto	0.012	0.013	0.014
1.2.4.5. Sin terminar, con encofrado metálico	0.012	0.014	0.016
1.2.4.6. Sin terminar, con encofrado pulido de madera	0.015	0.017	0.020
1.2.4.7. Sin terminar, con encofrado común de madera			
1.2.5. Madera	0.010	0.012	0.014
1.2.5.1. Machihembrada	0.015	0.017	0.020
1.2.5.2. Laminada, tratada			
1.2.6. Cerámica	0.011	0.013	0.017
1.2.6.1. Drenaje común de tejas	0.011	0.014	0.017
1.2.6.2. Cloaca vitrificada	0.013	0.015	0.017
1.2.6.3. Cloaca vitrificada con válvulas, entradas, etc.	0.014	0.016	0.018
1.2.6.4. Dren inferior vitrificado con juntas abiertas			
1.2.7. Mampostería de ladrillo	0.011	0.013	0.015
1.2.7.1. Vidriada	0.012	0.015	0.017
1.2.7.2. Revestida con mortero de cemento			
1.2.8. Colectores sanitarios revestidos con desechos de aguas negras, con codos y conexiones	0.012	0.013	0.016
1.2.9. Solera pavimentada, cloaca de fondo liso	0.016	0.019	0.020
1.2.10. Mampostería cepillada, cementada	0.018	0.025	0.030
2.- Canales revestidos o fabricados			
2.1. Metal			
2.1.1. Superficie de acero liso	0.011	0.012	0.014
2.1.1.1. Sin pintar	0.012	0.013	0.017
2.1.1.2. Pintada	0.021	0.025	0.030
2.1.2. Corrugado			
2.2. No metal			
2.2.1. Cemento	0.010	0.011	0.013
2.2.1.1. Limpio en la superficie	0.011	0.013	0.015
2.2.1.2. Mortero			
2.2.2. Madera	0.010	0.012	0.014
2.2.2.1. Cepillada sin tratar	0.011	0.012	0.015
2.2.2.2. Cepillada, creosotada	0.011	0.013	0.015
2.2.2.3. Sin cepillar	0.012	0.015	0.018
2.2.2.4. Planchas con listones	0.010	0.014	0.017
2.2.2.5. Revestida con papel impermeable			
2.2.3. Concreto	0.011	0.013	0.015
2.2.3.1. Terminado con cuchara	0.013	0.015	0.016
2.2.3.2. Terminado con lechada	0.015	0.017	0.020
2.2.3.3. Terminado con grava en el fondo	0.014	0.017	0.020
2.2.3.4. Sin terminar	0.016	0.019	0.023
2.2.3.5. Gunita en sección correcta	0.018	0.022	0.025
2.2.3.6. Gunita en sección ondulada	0.017	0.020	----
2.2.3.7. Sobre roca excavada pareja	0.022	0.027	----
2.2.3.8. Sobre roca excavada irregular			
2.2.4. Fondo de concreto terminado con lechada con los costados de	0.015	0.017	0.020
2.2.4.1. Piedra acomodada en mortero	0.017	0.020	0.024
2.2.4.2. Piedra volcada en mortero	0.016	0.020	0.024
2.2.4.3. Mampostería de piedra partida cementada y revocada	0.020	0.025	0.030
2.2.4.4. Mampostería de piedra partida cementada	0.020	0.030	0.035
2.2.4.5. Piedra: partida suelta o riprap			

Tabla 2.5.2. Valores del Coeficiente de Rugosidad [n] de la ecuación de Manning (continuación)			
Descripción y tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo
2.2.5. Fondo de grava con costado de			
2.2.5.1. Hormigón encofrado	0.017	0.020	0.025
2.2.5.2. Piedra volcada en mortero	0.020	0.023	0.026
2.2.5.3. Piedra partida suelta o riprap	0.023	0.033	0.036
2.2.6. Ladrillo			
2.2.6.1. Vidriado	0.011	0.013	0.015
2.2.6.2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
2.2.7. Mampostería			
2.2.7.1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2.2.7.2. Piedra partida suelta	0.023	0.032	0.035
2.2.8. Piedra cortada y acomodada	0.013	0.015	0.017
2.2.9. Asfalto			
2.2.9.1. Liso	0.013	0.013	----
2.2.9.2. Rugoso	0.016	0.016	----
2.2.10. Revestimiento vegetal	0.030	-----	0.500
3. Excavado o dragado			
3.1. Tierra, recto y uniforme			
3.1.1. Limpio, terminado recientemente	0.016	0.018	0.020
3.1.2. Limpio con cierto uso	0.018	0.022	0.025
3.1.3. Grava, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
3.1.4. Con musgo corto, poca hierba	0.022	0.027	0.033
3.2. Tierra, curvo y lento			
3.2.1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
3.2.2. Musgo, algunos pastos	0.025	0.030	0.033
3.2.3. Pastos densos o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
3.2.4. Fondo de tierra y costados de piedra partida	0.028	0.030	0.035
3.2.5. Fondo pedregoso y bancos con pastos	0.025	0.035	0.040
3.2.6. Fondos de cantos rodados y costados limpios	0.030	0.040	0.050
3.3. Excavado con pala o dragado			
3.3.1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
3.3.2. Pocos arbustos en los bancos	0.035	0.050	0.060
3.4. Roca cortada			
3.4.1. Lisa y uniforme	0.025	0.035	0.040
3.4.2. Dentada o irregular	0.035	0.040	0.050
3.5. Canales sin mantenimiento, pastos y arbustos sin cortar			
3.5.1. Pastos densos, altos como la profundidad del flujo	0.050	0.080	0.120
3.5.2. Fondo limpio, arbustos en los lados	0.040	0.050	0.080
3.5.3. Igual al más alto nivel del flujo	0.045	0.070	0.110
3.5.4. Arbustos densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
4. Cursos naturales			
4.1. Cursos menores (ancho superior al nivel de crecida < 30m)			
4.1.1. Cursos en planicie			
4.1.1.1. Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
4.1.1.2. Igual que arriba, pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
4.1.1.3. Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4.1.1.4. Igual que arriba, pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
4.1.1.5. Igual que arriba, nivel inferiores, más pendiente y sección inefectivas	0.040	0.048	0.055
4.1.1.6. Igual que (4.1.1.4.), pero más piedras	0.045	0.050	0.060
4.1.1.7. Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
4.1.1.8. Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera y arbustos bajos	0.075	0.100	0.150

Tabla 2.5.2. Valores del Coeficiente de Rugosidad [n] de la ecuación de Manning (continuación)

Descripción y tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo
4.1.2. Cursos en montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, arboles y arbustos a lo largo de las laderas sumergidos para niveles altos			
4.1.2.1. Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
4.1.2.1. Fondo: cantos rodados con grandes rocas	0.040	0.050	0.070
4.2. Planicie crecida			
4.2.1. Pasturas, sin arbustos			
4.2.1.1. Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
4.2.1.2. Pastos altos	0.030	0.035	0.050
4.2.2. Areas cultivadas			
4.2.2.1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
4.2.2.2. Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
4.2.2.3. Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
4.2.3. Arbustos			
4.2.3.1. Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
4.2.3.2. Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
4.2.3.3. Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4.2.3.4. Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
4.2.3.5. Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
4.2.4. Arboles			
4.2.4.1. Sauces densos, en verano y rectos	0.110	0.150	0.200
4.2.4.2. Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
4.2.4.3. Igual que arriba, pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
4.2.4.4. Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
4.2.4.5. Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
4.3. Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación > 30m). Los valores n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva			
4.3.1. Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-----	0.060
4.3.2. Sección irregular y áspera	0.035	-----	0.100

2.5.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable y cinta métrica

2.5.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

2.5.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

2.5.4.2. Con ayuda del instructor, estando el canal de pendiente variable funcionando para una pendiente del fondo adecuada, anctando este valor; se permite que se establezca el flujo, procurando que no se forme una ola o un salto hidráulico; se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean iguales, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, se miden las distancias entre

secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye.

2.5.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

2.5.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC2-5.1

2.5.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

2.5.6.1. Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de la Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas.- En los casos donde la pendiente del fondo de los canales es pequeña, se tiene que: $S \approx S_f$ y el cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de las paredes del conducto se lleva a cabo mediante la Ecuación de Chezy-Manning de la siguiente manera:

$$Q = \frac{A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_f}}{n} \quad \left\{ \text{Ecuación de Chezy-Manning para pendientes pequeñas, despejando:} \right.$$

$$n = \frac{A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_f}}{Q} \quad ; \text{ en donde:}$$

$R = A/P =$ Radio hidráulico promedio; $A = b d =$ Area hidráulica promedio;

$P = b + 2 d =$ Perímetro mojado; $b =$ Ancho de plantilla;

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 =$ Tirante promedio; $d_1, d_2, d_3 =$ Tirantes en secciones 1, 2, 3

$n =$ Coeficiente de rugosidad del canal; $S_f =$ Pendiente del fondo del canal;

$Q =$ Gasto que registra el flujómetro;

2.5.6.2. Representación gráfica.- Para tener el conocimiento completo del comportamiento del fluido en las mediciones; de lo observado, con los datos obtenidos se procede a realizar un reporte gráfico, a escala adecuada dibujando las secciones elegidas y el perfil del flujo en corte longitudinal. Los dibujos deben estar acotados señalando, plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, etc., acompañados de leyendas explicativas que ilustren el tema con su respectiva escala gráfica.

Formato PC2-5.1			Hoja 1 de 1	
Datos; <i>Práctica PC2-5</i> : Coeficiente de rugosidad "n" de la ecuación de Manning				
Nombre del alumno:				
Grupo:		Brigada:	Fecha:	Horario:
Nombre del instructor:				
<i>Información correspondiente al flujo</i>				
Gasto: Q = lps Plantilla: b = cm Pendiente: Sf = %				
Tirante(1): d ₁ = cm		Tirante (2): d ₂ = cm	Tirante (3): d ₃ = cm	
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:				cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:				cm
<i>Perfil observado en la medición</i>				
observaciones:				
Firma del alumno:			Firma del instructor:	
Observaciones del instructor:				
Calificación con número:			Calificación con letra:	

2. FLUJO UNIFORME

2.9. Práctica PC2-9: Coeficiente de rugosidad equivalente "n_{eq}"

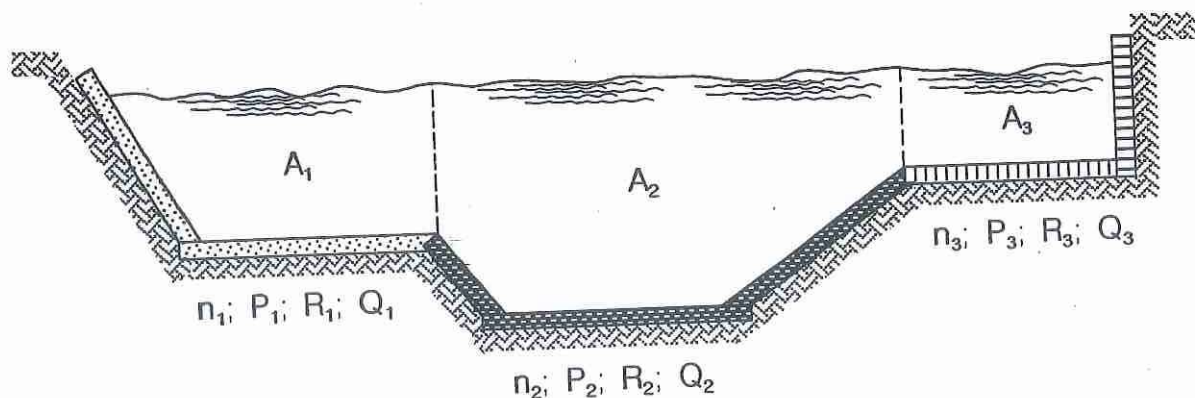
2.9.1. Objetivo:

Con el canal de pendiente variable operando para un gasto y una pendiente del fondo cualquiera, se llevarán a cabo las mediciones necesarias, para obtener *Coeficiente de rugosidad equivalente* "n_{eq}"

2.9.2. Descripción de la teoría que se validará mediante la práctica.

Canales de sección compuesta y rugosidades diferentes:

2.9.2.1. Cálculo con la ecuación de Manning en cada subsección.- Cuando la sección transversal de un canal está compuesta de varias subsecciones de forma y rugosidad distinta, el cálculo se realiza dividiendo en secciones de preferencia de profundidad distinta, el cálculo se realiza dividiendo en secciones de preferencia de profundidad uniforme, aplicando la ecuación de Manning a cada sección. La suma de los gastos proporciona el total. En la determinación de los perímetros mojados se considera únicamente las paredes en contacto con el líquido sin considerar las líneas imaginarias en el líquido por no ser frontera sólida.



Aplicando la ecuación de Manning a cada subsección se tiene:

$$Q_1 = \frac{A_1 R_1^{2/3} \sqrt{Sf}}{n_1}; \quad Q_2 = \frac{A_2 R_2^{2/3} \sqrt{Sf}}{n_2}; \quad Q_3 = \frac{A_3 R_3^{2/3} \sqrt{Sf}}{n_3};$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \left(\frac{A_1 R_1^{2/3}}{n_1} + \frac{A_2 R_2^{2/3}}{n_2} + \frac{A_3 R_3^{2/3}}{n_3} + \dots + \frac{A_N R_N^{2/3}}{n_N} \right) \sqrt{Sf}$$

$$Q_T = \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_i R_i^{2/3}}{n_i} \right) \sqrt{Sf}$$

2.9.2.2. Cálculo con la ecuación de Manning y rugosidad equivalente.- Otra forma de llevar a cabo los cálculos cuando se tienen secciones compuestas y rugosidades diferentes es calculando un *Coefficiente de Rugosidad Equivalente*, n_{eq} , en donde el perímetro mojado de una misma sección puede incluir tramos de diferentes grados de rugosidad $n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$, que corresponden a porciones de perímetro mojado $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$;

Aplicando la ecuación de Manning y recurriendo al concepto de rugosidad equivalente se tiene:

$$Q_T = \frac{A_T}{n_{eq}} \left(\frac{A_T}{P_T} \right)^{2/3} \sqrt{Sf}; \text{ en donde:}$$

$$\begin{aligned} A_T &= A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N; \\ P_T &= P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N; \\ Q_T &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N; \end{aligned}$$

2.9.2.3. Cálculo de la rugosidad equivalente.- Para la determinación de la rugosidad equivalente, el perímetro mojado total es dividido en N partes de las cuales los perímetros mojados $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ y los coeficientes de rugosidad $n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$ son conocidos. Las expresiones más conocidas para el cálculo de la rugosidad equivalente son las siguientes:

2.9.2.3.1. Coeficiente de Rugosidad Equivalente n_{eq} Según Horton y Einstein.- Supusieron que cada porción N tiene la misma velocidad media, la cual al mismo tiempo es igual a la velocidad media de la sección completa, es decir: $V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_N = V$. De acuerdo con ésta hipótesis se obtiene la siguiente expresión:

$$n_{eq} = \left(\frac{P_1 n_1^{1.5} + P_2 n_2^{1.5} + P_3 n_3^{1.5} + \dots + P_N n_N^{1.5}}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N} \right)^{2/3} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{\sum_{i=1}^N P_i} \right)^{2/3}$$

según: Horton y Einstein

2.9.2.3.2. Coeficiente de Rugosidad Equivalente n_{eq} según Pavlovskii, Münthofer, Einstein, Banks y Forchheimer.- Consideraron que la fuerza total de resistencia al escurrimiento; $\psi = f \rho P L V^2 / 8$, es igual a la suma de las fuerzas de resistencia desarrolladas en las N porciones y mediante ésta suposición el coeficiente de rugosidad equivalente viene dado por la siguiente expresión:

$$n_{eq} = \sqrt{\frac{P_1 n_1^2 + P_2 n_2^2 + P_3 n_3^2 + \dots + P_N n_N^2}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^2}{\sum_{i=1}^N P_i}}$$

según: Pavlovskii, Münlhofer, Einstein, Banks y Forchheimer

2.9.2.3.3. Coeficiente de Rugosidad Equivalente n_{eq} según Lotter.- Supuso que el gasto total es igual a la suma de los gastos correspondientes a las N porciones, por lo que el coeficiente de rugosidad equivalente es:

$$n_{eq} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N) (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N)^{5/3}}{\frac{P_1 R_1^{5/3}}{n_1} + \frac{P_2 R_2^{5/3}}{n_2} + \frac{P_3 R_3^{5/3}}{n_3} + \dots + \frac{P_N R_N^{5/3}}{n_N}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N P_i\right) \left(\sum_{i=1}^N R_i\right)^{5/3}}{\sum_{i=1}^N \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}}$$

según: Lotter

En donde para todas las expresiones:

n_{eq} = Rugosidad equivalente;

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_N$ = Radios hidráulicos de 1, 2, 3, ..., N;

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ = Perímetros mojados de 1, 2, 3, ..., N;

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ = Areas hidráulicas de 1, 2, 3, ..., N;

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$ = Rugosidades de Manning de 1, 2, 3, ..., N;

$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_N$ = Gastos o caudales de 1, 2, 3, ..., N;

Q_T = Gasto Total; A_T = Area hidráulica Total; P_T = Perímetro mojado Total;

2.9.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable, fondo del canal rugoso y cinta métrica

2.9.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

2.9.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

2.9.4.2. Con ayuda del instructor, verificando que en la plantilla del canal en todo su recorrido estén colocados los lechos de rugosidad diferente, se pone a funcionar el canal de pendiente variable para una pendiente del fondo adecuada, anotando este valor; se permite que se establezca el flujo, procurando que no se forme una ola o un salto hidráulico; se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean iguales, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, se miden las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye.

2.9.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

2.9.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC2-9.1

2.9.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

2.9.6.1. Cálculo del coeficiente de rugosidad equivalente " n_{eq} " con la Ecuación según Pavloskii, Münlhofer, Einstein, Banks y Forchheimer.- Cuando se tienen secciones compuestas y rugosidades diferentes, se calcula un *Coefficiente de Rugosidad Equivalente* n_{eq} . El cálculo se realiza dividiendo la sección transversal en subsecciones de preferencia de profundidad uniforme. En la determinación de los perímetros mojados, se considera únicamente las paredes en contacto con el líquido sin considerar las líneas imaginarias en el líquido, por no ser frontera sólida. A cada subsección le corresponde un perímetro mojado; $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$, con su respectiva rugosidad; $n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$. Según: Pavlovskii, Münlhofer, Einstein, Banks y Forchheimer, el *Coefficiente de Rugosidad Equivalente* n_{eq} se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$n_{eq} = \sqrt{\frac{P_1 n_1^2 + P_2 n_2^2 + P_3 n_3^2 + \dots + P_N n_N^2}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^2}{\sum_{i=1}^N P_i}}$$

n_{eq} = Rugosidad equivalente;

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ = Perímetros mojados de 1, 2, 3, ..., N;

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_N$ = Rugosidades de Manning de 1, 2, 3, ... N;

2.9.6.2. Cálculo del Gasto Total Q_T y su comparación con el gasto Real Q .- Conocido el *Coefficiente de Rugosidad Equivalente* n_{eq} , se procede a calcular el gasto total Q_T mediante la ecuación de Chezy-Manning y se compara con el gasto real Q que fluye por el canal, o sea, el que indica el flujómetro.

$$Q_T = \frac{A_T}{n_{eq}} \left(\frac{A_T}{P_T} \right)^{2/3} \sqrt{Sf}; \text{ en donde:}$$

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N = b d$$

$$A_1, A_2, A_3, \dots, A_N = \text{Áreas hidráulicas de 1, 2, 3, \dots, N;}$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N = b + 2 d;$$

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ = Perímetros mojados de 1, 2, 3, ..., N;
 b = Ancho de plantilla;

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3$ = Tirante promedio; d_1, d_2, d_3 = Tirantes en secciones 1, 2, 3

Q_T = Gasto Total; A_T = Area hidráulica Total; P_T = Perímetro mojado Total;

Q = Gasto que registra el flujómetro; S_f = Pendiente del fondo del canal;

2.9.6.3. Representación gráfica.- Para tener el conocimiento completo del comportamiento del fluido en las mediciones; de lo observado, con los datos obtenidos se procede a realizar un reporte gráfico, a escala adecuada dibujando las secciones elegidas y el perfil del flujo en corte longitudinal. Los dibujos deben estar acotados señalando, plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, etc., acompañados de leyendas explicativas que ilustren el tema con su respectiva escala gráfica.

2.9.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC2-9.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad y otro programa impresos en chorro de tinta o láser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC2-9.1			Hoja 1 de 1	
Datos; Práctica PC2-9: Coeficiente de rugosidad equivalente " n_{eq} "				
Nombre del alumno:				
Grupo:	Brigada:	Fecha:	Horario:	
Nombre del instructor:				
<i>Información correspondiente al flujo</i>				
Gasto: $Q =$	lps	Plantilla: $b =$	cm	Pendiente: $S_f =$ %
Tirante(1): $d_1 =$	cm	Tirante (2): $d_2 =$	cm	Tirante (3): $d_3 =$ cm
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:				cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:				cm
<i>Perfil observado en la medición</i>				
observaciones:				
Firma del alumno:			Firma instructor:	
Observaciones del instructor:				
Calificación con número:			Calificación con letra:	

Resultados; *Práctica PC2-9: Coeficiente de rugosidad equivalente "n_{eq}"*

Nombre del alumno:

Grupo:

Brigada:

Fecha:

Horario:

Nombre del instructor:

Dibujos correspondientes al estado del flujo

Sección (1)

Sección (2)

Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal

Cálculos

Resumen de la información obtenida

Gasto: Q = _____ lps | Plantilla: b = _____ cm | Pendiente: Sf = _____ %

Tirante promedio: d = _____ cm | Área hidráulica: A = _____ cm²

Perímetro mojado: P = _____ cm | Radio hidráulico: R = _____ cm

Coeficiente de rugosidad equivalente de las paredes del canal: n_{eq} = _____

Gasto total calculado mediante la ecuación de Chezy-Manning: Q_T = _____ lps

observaciones:

Firma del alumno:

Firma del instructor:

Observaciones del instructor:

Calificación con número:

Calificación con letra:

3. FLUJO CRÍTICO

3.2. Práctica PC3-2: Ecuación del flujo crítico

3.2.1. Objetivo:

Recurriendo al canal de pendiente variable, trabajando para un gasto y una pendiente del fondo adecuados, se llevarán a cabo las mediciones necesarias para obtener mediante la Ecuación del Flujo Crítico el Tirante Crítico d_c .

3.2.2. Descripción de la teoría que se verificará, mediante la práctica.

Ecuación para la determinación del tirante crítico:

3.2.2.1. Ecuación del Flujo Crítico:

Se sabe que: $E_e = E_p + E_c = d + \frac{Q^2}{2gA^2}$; derivando con respecto al tirante d :

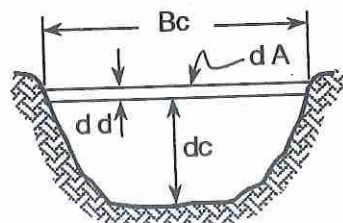
$$\frac{dE_e}{dd} = \frac{dd}{dd} + \frac{d}{dd} \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right) = 1 + \left(-\frac{2Q^2}{2gA^3} \cdot \frac{dA}{dd} \right) = 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{dA}{dd}$$

para Régimen Crítico: $\frac{dE_e}{dd} = 0$

además: $d = d_c$; $A = A_c$; $dA = (B_c)(dd)$

$$0 = 1 - \frac{Q^2}{gA_c^3} \cdot \frac{(B_c)(dd)}{dd} \rightarrow \frac{Q^2 B_c}{gA_c^3} = 1 ; \text{ de donde:}$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{B_c} \quad \left\{ \text{Ecuación del Régimen Crítico que se cumple para el tirante crítico } d_c. \right.$$



3.2.2.2. Tirante Crítico de las secciones más comunes:

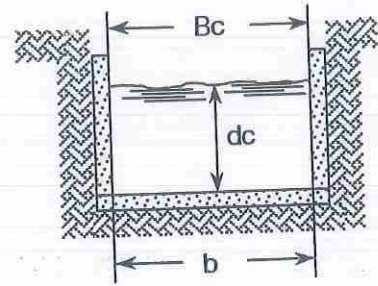
3.2.2.2.1. Canales rectangulares:

Para régimen crítico se tiene que: $\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{B_c}$; en canales rectangulares se sabe

que: $b = B_c \rightarrow A_c = d_c B_c \rightarrow A_c^3 = d_c^3 B_c^3$; sustituyendo en la ecuación:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc} = \frac{dc^3 Bc^3}{Bc} \rightarrow dc^3 = \frac{Q^2}{Bc^2 g} = \frac{Q^2}{b^2 g}$$

$$dc = \left(\frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{1/3} \quad \{ \text{Tirante crítico en canales rectangulares} \}$$



Definiendo: $q = \frac{Q}{b}$ = Gasto unitario ó gasto por unidad de ancho

$$dc = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \quad \{ \text{Tirante crítico en canales rectangulares} \}$$

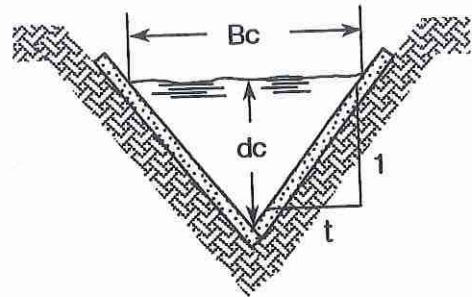
3.2.2.2.2. Canales triangulares:

Para régimen crítico se tiene que: $\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc}$;

para canales triangulares se tiene:

$$Bc = 2 t dc \rightarrow Ac = t dc^2 \rightarrow Ac^3 = t^3 dc^6;$$

$$\text{sustituyendo en la ecuación: } \frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc} = \frac{t^3 dc^6}{2 t dc} = \frac{t^2 dc^5}{2} \rightarrow dc^5 = \frac{2 Q^2}{g t^2}$$



$$dc = \left(\frac{2 Q^2}{g t^2} \right)^{1/5} \quad \{ \text{Tirante crítico en canales triangulares} \}$$

3.2.2.2.3. Canales trapezoidales:

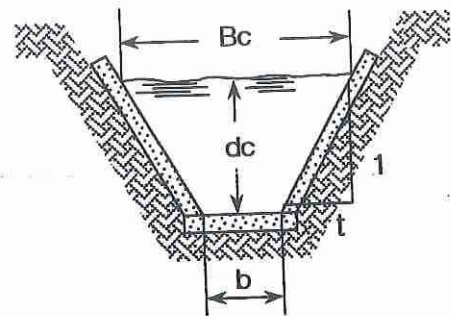
Para régimen crítico se tiene que: $\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc}$;

para canales trapezoidales se tiene:

$$Bc = b + 2 t dc \rightarrow Ac = b dc + t dc^2;$$

sustituyendo en la ecuación:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc} = \frac{(bdc + tdc^2)^3}{(b + 2tdc)} \quad \{ \text{El tirante crítico se obtiene por tanteos} \}$$



3.2.2.2.3.1. Tirante crítico por tanteos.- Cuando el tirante se obtiene por tanteos es común elaborar una Tabla auxiliar de cálculo para ordenar las suposiciones y por interpolación mejorar la respuesta.

Tabla auxiliar de cálculo del tirante crítico					
Nº de Suposición	dc	Ac	Ac ³	Bc	Ac ³ / Bc = c
0	dc ₀	Ac ₀	Ac ₀ ³	Bc ₀	c ₀
1	dc ₁	Ac ₁	Ac ₁ ³	Bc ₁	c ₁
2	dc ₂	Ac ₂	Ac ₂ ³	Bc ₂	c ₂
3	dc ₃	Ac ₃	Ac ₃ ³	Bc ₃	c ₃
-----	-----	-----	-----	-----	-----

por interpolación se tiene:

$$\frac{dc - dc_3}{c - c_3} = \frac{dc_2 - dc_1}{c_2 - c_1} \rightarrow dc = \frac{(dc_2 - dc_1)(c - c_3)}{(c_2 - c_1)} + dc_3$$

en donde: $dc \cong dc_3$; $dc_1 < dc < dc_2$

Es condición necesaria para poder interpolar que dc_1 , sea aproximadamente menor que dc y dc_2 aproximadamente mayor que dc y dc_3 sea la suposición mas cercana a dc .

3.2.2.2.3.2. Tirante crítico mediante gráfica.- Para determinar el tirante crítico de canales trapezoidales es común recurrir a gráficas adecuadas en donde se tiene:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{(b \, dc + t \, dc^2)^3}{b + 2 \, t \, dc} \rightarrow \frac{Q}{g^{1/2}} = \left[\frac{dc^3 (b + t \, dc)^3}{b + 2 \, t \, dc} \right]^{1/2}$$

multiplicando y dividiendo ambos miembros por: $t^{3/2}$ y $b^{5/2}$; se tiene:

$$\frac{Q \, t^{3/2}}{g^{1/2} \, b^{5/2}} = \frac{t^{3/2}}{b^{5/2}} \left[\frac{dc^3 (b + t \, dc)^3}{b + 2 \, t \, dc} \right]^{1/2} = \left(\frac{t \, dc}{b} \right)^{3/2} \left[\frac{\left(1 + t \frac{dc}{b} \right)^3}{1 + \frac{2 \, t \, dc}{b}} \right]^{1/2}$$

$$\frac{Q \, t^{3/2}}{g^{1/2} \, b^{5/2}} = \left(\frac{t \, dc}{b} \right)^{3/2} \left[\frac{\left(1 + t \frac{dc}{b} \right)^3}{1 + \frac{2 \, t \, dc}{b}} \right]^{1/2}$$

La representación gráfica de esta ecuación nos conduce a la figura respectiva.

3.2.2.2.4. Canales circulares y de herradura:

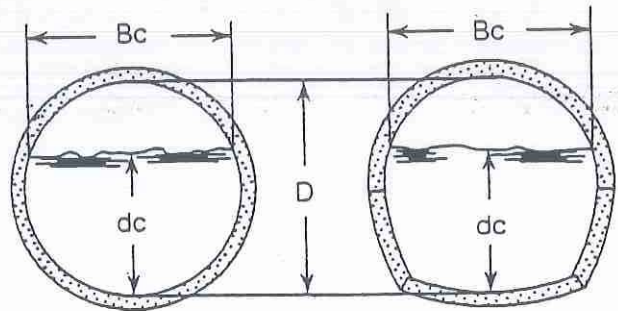
3.2.2.2.4.1. Tirante crítico mediante gráfica.- Para la determinación del tirante crítico se recurre a:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc} \rightarrow \frac{Q}{g^{1/2}} = \frac{Ac^{3/2}}{Bc^{1/2}} ;$$

multiplicando ambos miembros por:

$$\frac{1}{D^{5/2}} ; \text{ se tiene:}$$

$\frac{Q}{g^{1/2} D^{5/2}} = \frac{Ac^{3/2}}{Bc^{1/2} D^{5/2}} = f\left(\frac{dc}{D}\right)$; la representación gráfica de esta expresión nos conduce a la figura respectiva.



3.2.2.2.4.2. Tirante crítico mediante tabla.-Para la determinación del tirante crítico se dispone además de tablas.

3.2.2.2.4.3. Tirante crítico de secciones circulares mediante fórmula.- Recurriendo al análisis matemático, mediante una regresión lineal de los valores para secciones circulares se tiene la siguiente fórmula para el cálculo del tirante crítico.

$$dc = 1.01 \alpha^{0.253} g^{-0.253} Q^{0.506} D^{-0.264} ; \text{ valida para: } 0.02 < \frac{dc}{D} \leq 0.85 ; \text{ en donde:}$$

$$\alpha = \frac{\iint_A \gamma V^3 dA}{\gamma \bar{V}^3 A} = \text{Coeficiente de corrección de energía cinética (para flujo}$$

uniforme: $\alpha \approx 1.0$; para otros casos: $\alpha > 1.0$); γ = Peso específico;

V = Velocidad; A = Área hidráulica; \bar{V} = Velocidad media; dc = Tirante crítico;

D = Diámetro; Q = Gasto; g = Aceleración de la gravedad;

3.2.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable, cinta métrica

3.2.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

3.2.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

3.2.4.2. Con ayuda del instructor, estando el canal de pendiente variable funcionando para un gasto y pendiente del fondo adecuados, procurando que no se forme una ola o un salto hidráulico, cambiando estas variables según convenga, se llevarán a cabo las mediciones y modificaciones necesarias, hasta que se estabilice el flujo, y se observen en la superficie libre ondas en V semiestacionarias (ondas de Mach), logrado esto; se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean iguales, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, se miden las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye, así como la pendiente del fondo.

3.2.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

3.2.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC3-2.1

3.2.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

3.2.6.1. Cálculo del gasto mediante la Ecuación del Flujo Crítico.- Para calcular el gasto Q_c que fluye por un canal donde está presente el flujo crítico se recurre a la ecuación respectiva, donde primeramente se obtiene el tirante crítico, este gasto calculado se compara con el gasto que registra el flujómetro.

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc} \quad \left\{ \text{Ecuación del Régimen Crítico que se cumple para el tirante crítico } dc. \right.$$

$$Q_c = \frac{Ac^{3/2} g^{1/2}}{Bc^{1/2}}$$

en donde:

g = Aceleración de la gravedad; $Ac = b dc$ = Area hidráulica crítica;

$Bc = b$ = Ancho de la superficie libre crítica; b = Ancho de plantilla;

$dc = (dc_1 + dc_2 + dc_3) / 3$ = Tirante crítico promedio;

dc_1, dc_2, dc_3 = Tirantes en secciones 1, 2, 3

Formato PC3-2.1			Hoja 1 de 1	
Datos; <i>Práctica PC3-2: Ecuación del Flujo Crítico su verificación</i>				
Nombre del alumno:				
Grupo:		Brigada:	Fecha:	Horario:
Nombre del instructor:				
<i>Información correspondiente al flujo</i>				
Gasto: $Q =$		lps	Plantilla: $b =$	cm
Pendiente: $S_f =$		%		
Tirante(1): $dc_1 =$		cm	Tirante (2): $dc_2 =$	cm
Tirante (3): $dc_3 =$		cm		
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:				
cm				
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:				
cm				
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:				
cm				
<i>Perfil observado en la medición</i>				
observaciones:				
Firma del alumno:			Firma del instructor:	
Observaciones del instructor:				
Calificación con número:			Calificación con letra:	

Formato PC3-2.2			Hoja 1 de 1
Resultados; <i>Práctica PC3-2: Ecuación del Flujo Crítico su verificación</i>			
Nombre del alumno:			
Grupo:	Brigada:	Fecha:	Horario:
Nombre del instructor:			
<i>Dibujos correspondientes al estado del flujo</i>			
Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)	
<i>Representación gráfica del perfil en corte longitudinal</i>			
<i>Cálculos</i>			
<i>Resumen de la información obtenida</i>			
Gasto: $Q =$	lps	Plantilla: $b =$	cm Pendiente: $S_f =$ %
Tirante promedio: $dc =$	cm	Area hidráulica: $Ac =$	cm ²
Ancho de la superficie libre crítico: $B_c =$	cm		
Gasto calculado mediante la ecuación del Flujo Crítico: $Q_c =$	lps		
observaciones:			
Firma del alumno:		Firma del instructor:	
Observaciones del instructor:			
Calificación con número:		Calificación con letra:	

3. FLUJO CRÍTICO

3.6. Práctica PC3-6: Formas de definir el flujo en canales

3.6.1. Objetivo:

Mediante el canal de pendiente variable trabajando para un gasto y una pendiente del fondo adecuados, se llevarán a cabo las mediciones necesarias para obtener las *Formas de definir el flujo en canales*.

3.6.2. Descripción de la teoría que se verificará, mediante la práctica.

Formas de definir el flujo en canales:

3.6.2.1. Por medio de los Tirantes:

- Sí: $d < d_c$ { Flujo rápido ó Supercrítico
- Sí: $d = d_c$ { Flujo crítico
- Sí: $d > d_c$ { Flujo lento ó Subcrítico

3.6.2.2. Por medio de la Velocidad media:

- Sí: $V < V_c$ { Flujo lento ó Subcrítico
- Sí: $V = V_c$ { Flujo crítico
- Sí: $V > V_c$ { Flujo rápido ó Supercrítico

3.6.2.3. Por medio de la Pendiente del fondo:

- Sí: $S_f < S_c$ { Flujo lento ó Subcrítico
- Sí: $S_f = S_c$ { Flujo crítico
- Sí: $S_f > S_c$ { Flujo rápido ó Supercrítico

3.6.2.4. Por medio del Número de Froude:

- Sí: $F < F_c$ { Flujo lento ó Subcrítico
- Sí: $F = F_c$ { Flujo crítico
- Sí: $F > F_c$ { Flujo rápido ó Supercrítico

3.6.2.5. Para diseñar un canal se debe tener presente:

3.6.2.5.1. Para asegurar Flujo lento o Subcrítico: $V \leq 0.8 V_c$

3.6.2.5.2. Para trabajar con Flujo rápido o Supercrítico: $V \geq 1.2 V_c$

3.6.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable y cinta métrica

3.6.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

3.6.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

3.6.4.2. Con ayuda del instructor, estando el canal de pendiente variable funcionando para un gasto y pendiente del fondo adecuados, se procura que se forme un salto hidráulico claro; una vez estabilizado el flujo, se miden los tirantes en dos secciones diferentes al mismo tiempo. La sección 1 se toma a un metro antes del salto hidráulico, es decir, hacia aguas hacia arriba, la sección 2 se considera a un metro después del salto hidráulico, es decir, hacia aguas hacia abajo, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye, así como la pendiente del fondo y la plantilla o ancho del canal.

3.6.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

3.6.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC3-6.1

3.6.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

3.6.6.1. Cálculo de: el tirante, la velocidad, la pendiente y el número de Froude Críticos.- Para calcular el tirante, la velocidad, la pendiente y el número de Froude críticos, se recurre a las expresiones respectivas, empleando el gasto que registra el flujómetro.

$$d_c = \left(\frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{1/3} \quad \{ \text{Tirante crítico en canales rectangulares} \}$$

$$V_c = \sqrt{g d_c} \quad \{ \text{Velocidad crítica en canales rectangulares} \}$$

$$S_c = \frac{g n^2 A_c}{B_c R_c^{4/3}} \quad \{ \text{Pendiente crítica en canales} \}$$

$$F_c = \frac{V_c}{(g d_c)^{1/2}} = 1.0 \quad \{ \text{Número de Froude crítico para canales rectangulares} \}$$

en donde:

g = Aceleración de la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$ o $g = 32.2 \text{ p/s}^2$)

n = Coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning del canal;

Q = Gasto que registra el flujómetro; b = Ancho de plantilla;

$A_c = b d_c$ = Área hidráulica de la sección en régimen crítico;

$B_c = b$ = Ancho de la superficie libre en régimen crítico;

$P_c = b + 2 d_c$ = Perímetro mojado de la sección en régimen crítico;

$R_c = A_c / P_c$ = Radio hidráulico de la sección en régimen crítico;

d_c = Tirante crítico promedio; V_c = Velocidad crítica; S_c = Pendiente crítica;

F_c = Número de Froude crítico.

3.6.6.2. Cálculo de las velocidades y los números de Froude en las secciones.- Para calcular las velocidades y los números de Froude, se emplea el gasto que indica el flujómetro, así como los tirantes y la plantilla respectiva medidos. Recurriendo a la ecuación de la continuidad, se tiene:

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = \dots = V_N A_N$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{b d_1}; \quad V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{Q}{b d_2}; \quad F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g d_1}}; \quad F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g d_2}}$$

en donde:

Q = Gasto que registra el flujómetro; b = Ancho de plantilla;

g = Aceleración de la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$ o $g = 32.2 \text{ p/s}^2$)

$A_1 = b d_1$ = Área hidráulica de sección 1; $A_2 = b d_2$ = Área hidráulica de sección 2;

d_1 = Tirante en la sección 1; d_2 = Tirante en la sección 2;

V_1 = Velocidad media en la sección 1, V_2 = Velocidad media en la sección 2;

F_1 = Número de Froude en la sección 1; F_2 = Número de Froude en la sección 2;

3.6.6.3. Formas de definir el flujo en canales.- Comparando los tirantes d_1 y d_2 , con el crítico d_c ; las velocidades V_1 y V_2 , con la crítica V_c ; la pendiente del fondo S_f con la crítica S_c ; así como los números de Froude F_1 y F_2 , con el crítico $F_c = 1.0$, de acuerdo como se muestra en la teoría, se definen las formas del flujo como *Subcrítico*, *Supercrítico* y *Crítico*.

3.6.6.4. Representación gráfica.- Para tener el conocimiento completo del comportamiento del fluido en las mediciones; de lo observado, con los datos obtenidos se procede a realizar un informe gráfico, a escala adecuada dibujando las secciones elegidas y el perfil del flujo en corte longitudinal. Los dibujos deben estar acotados señalando, plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, etc., acompañados de leyendas explicativas que ilustren el tema con su respectiva escala gráfica.

3.6.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC3-6.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad u otro programa impresos en chorro de tinta o láser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC3-6.1			Hoja 1 de 1		
Datos; Práctica PC3-6: Formas de definir el flujo en canales					
Nombre del alumno:					
Grupo:		Brigada:	Fecha:	Horario:	
Nombre del instructor:					
<i>Información correspondiente al flujo</i>					
Gasto: $Q =$	lps	Plantilla: $b =$	cm	Pendiente: $S_f =$	%
Tirante(1): $d_1 =$	cm	Tirante (2): $d_2 =$	cm		cm
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:					cm
<i>Perfil observado en la medición</i>					
observaciones:					
Firma del alumno:			Firma del instructor:		
Observaciones del instructor:					
Calificación con número:			Calificación con letra:		

Formato PC3-6.2			Hoja 1 de 2
Resultados; <i>Práctica PC3-6: Formas de definir el flujo en canales</i>			
Nombre del alumno:			
Grupo:	Brigada:	Fecha:	Horario:
Nombre del instructor:			
<i>Dibujos correspondientes a las secciones del flujo</i>			
Sección (1)		Sección (2)	
<i>Representación gráfica del perfil en corte longitudinal</i>			
<i>Cálculos</i>			

Resultados; *Práctica PC3-6: Formas de definir el flujo en canales*

Cálculos

(This area is intentionally left blank for calculations.)

Resumen de la información obtenida

Gasto: $Q =$	lps	Plantilla: $b =$	cm	Pendiente: $S_f =$	%
Tirante crítico: $d_c =$	cm	Velocidad crítica: $V_c =$	m/s		
Pendiente crítica: $S_c =$	%	Número de Froude crítico: $F_c =$			
Tirante(1): $d_1 =$	cm	Tirante (2): $d_2 =$	cm		
Velocidad media (1): $V_1 =$	m/s	Velocidad media (2): $V_2 =$	m/s		
Número de Froude (1): $F_1 =$		Número de Froude (2): $F_2 =$			
Conclusión del estado del flujo en la sección (1):					
Conclusión del estado del flujo en la sección (2):					
observaciones:					
Firma del alumno:			Firma del instructor:		
Observaciones del instructor:					
Calificación con número:			Calificación con letra:		

4. FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

4.5. Práctica PC4-5: Clasificación de los perfiles en flujo gradualmente variado

4.5.1. Objetivo:

Por medio del canal de pendiente variable trabajando para un gasto y una pendiente del fondo adecuados, se llevarán a cabo las mediciones necesarias para la *Clasificación de los perfiles en flujo gradualmente variado*.

4.5.2. Descripción de la teoría que se verificará, mediante la práctica.

Clasificación de los perfiles en flujo gradualmente variado:

La forma del perfil de la curva de remanso, que depende de la pendiente del fondo y de la influencia de los controles en el canal es importante para el cálculo numérico del perfil, por lo que hay que tener presente lo siguiente:

4.5.2.1. Como se calculan los perfiles de las curvas de remanso:

4.5.2.1.1. Los perfiles de las curvas de remanso donde la sección de control está aguas abajo y el tirante real es tal que el régimen es subcrítico, o sea para los perfiles: M_1 , M_2 , S_1 , C_1 , H_2 , A_2 ; estos perfiles se calculan hacia aguas arriba.

4.5.2.1.2. Los perfiles de las curvas de remanso donde la sección de control está aguas arriba y el tirante real es tal que el régimen es supercrítico, o sea para los perfiles: M_3 , S_2 , S_3 , H_3 , A_3 , C_3 ; estos perfiles se calculan hacia aguas abajo.

4.5.2.2. Pasos a seguir en la determinación del tipo de curva de remanso:

4.5.2.2.1. Se dibujan los tramos de canal en croquis marcando los cambios de pendiente de fondo.

4.5.2.2.2. Calcular el tirante normal d_n para cada tramo de acuerdo con los datos particulares en cada tramo.

4.5.2.2.3. Calcular el tirante crítico d_c para las secciones transversales que se tengan.

4.5.2.2.4. Definir las secciones de control que se presenten a lo largo de los tramos en estudio.

4.5.2.2.5. Indicar las secciones transversales con tirante real d conocido.

4.5.2.2.6. Establecer las condiciones de tirantes, comparando el tirante real d con el tirante normal dn y el tirante crítico dc . Con esto se establece el número de Zona: 1, 2 ó 3, es decir, el número de la curva de remanso.

4.5.2.2.7. Establecer las condiciones de pendiente de fondo. Con esto se obtiene la letra de la curva de remanso: M, C, S, H, A; de acuerdo con lo siguiente:

m ,	sí:	$S_f < S_c$	ó	$dc < dn$;
C,	sí:	$S_f = S_c$	ó	$dc = dn$;
S,	sí:	$S_f > S_c$	ó	$dc > dn$;
H,	sí:	$S_f = 0$	ó	$dn = \infty$
A,	sí:	$S_f < 0$	ó	$dn = \text{no existe}$

4.5.2.2.8. Una vez definido el tipo de curva de remanso $M_1, M_2, M_3, C_1, C_3, S_1, S_2, S_3, H_2, H_3, A_2, A_3$; se pasa a la tabla y se define su geometría. En algunos casos se puede recurrir a la geometría que viene en tablas.

4.5.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable y cinta métrica

4.5.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

4.5.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

4.5.4.2. Con ayuda del instructor, para cada curva de remanso se preestablece un gasto adecuado y una pendiente del fondo conveniente, éstas variables se cambian según convengan, anotando dichos valores, también los accesorios que se requieran se cambian. Se calcularán previamente el tirante crítico y la pendiente crítica para cada caso; se llevarán a cabo las mediciones y modificaciones necesarias, para verificar las diferentes curvas de remanso y para cada curva se procederá de la siguiente:

4.5.4.2.1. Curva de remanso M_1 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se coloca un vertedor cresta afilada, aguas abajo de la descarga, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo suave, es decir, $S_f < S_c$, anotando este valor; procurando que no se forme un salto hidráulico, se permite que se estabilice el flujo, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

Clasificación de los perfiles en flujo gradualmente variado

		Perfiles en la Zona 1 $d > d_n$ y $d > d_c$ $S_f > S$ y $F^2 < 1$	Perfiles en la Zona 2 $d_n \geq d \geq d_c$ y $S_f \leq S$ $d_c \geq d \geq d_n$ y $S_f \geq S$	Perfiles en la Zona 3 $d < d_n$ y $d < d_c$ $S_f < S$ y $F^2 > 1$
Pendiente positiva $S_f > 0$	Suave M: $d_n > d_c$	$\frac{dd}{dX} = \frac{+}{+} = +$ Aplicación 	$\frac{dd}{dX} = \frac{-}{+} = -$ Aplicación 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{+}{+} = +$
	Crítica C: $d_n = d_c$	$\frac{dd}{dX} = \frac{+}{+} = +$ Aplicación 	$\frac{dd}{dX} = 0$ 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{-}{-} = +$
	Fuerte S: $d_n > d_c$	$\frac{dd}{dX} = \frac{+}{+} = +$ Aplicación 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{+}{-} = -$ 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{-}{-} = +$
Pendiente horizontal H: $S_f = 0$; $d_n > d_c$	Ninguna	$\frac{dd}{dX}$ No existe 	$\frac{dd}{dX} = \frac{-}{+} = -$ Aplicación 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{-}{-} = +$
	Ninguna	$\frac{dd}{dX}$ No existe 	$\frac{dd}{dX} = \frac{-}{+} = -$ Aplicación 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{-}{-} = +$
Pendiente negativa A: $S_f < 0$	Ninguna	$\frac{dd}{dX}$ No existe 	$\frac{dd}{dX} = \frac{-}{+} = -$ Aplicación 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{-}{-} = +$
	Ninguna	$\frac{dd}{dX}$ No existe 	$\frac{dd}{dX} = \frac{-}{+} = -$ Aplicación 	Aplicación $\frac{dd}{dX} = \frac{-}{-} = +$

Ejemplos prácticos de perfiles de flujo gradualmente variado

		Perfiles en la Zona 1 $d > d_n$ y $d > d_c$ $S_f > S$ y $F^2 < 1$	Perfiles en la Zona 2 $d_n \geq d \geq d_c$ y $S_f \leq S$ $d_c \geq d \geq d_n$ y $S_f \geq S$	Perfiles en la Zona 3 $d < d_n$ y $d < d_c$ $S_f < S$ y $F^2 > 1$
Pendiente positiva $S_f > 0$	Suave M : $d_n > d_c$			
	Crítica C : $d_n = d_c$			
	Fuerte S : $d_n > d_c$			
Pendiente horizontal H : $S_f = 0$; $d_n > d_c$	No existe 			
Pendiente negativa A : $S_f < 0$	No existe 			

4.5.4.2.2. Curva de remanso M_2 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo suave, es decir, $S_f < S_c$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico claro, se permite que se establezca el flujo, aguas abajo del salto hidráulico, es decir, después del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en ese momento.

4.5.4.2.3. Curva de remanso M_3 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo suave, es decir, $S_f < S_c$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico barrido, se permite que se establezca el flujo, aguas arriba del salto hidráulico, es decir, antes del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye al momento de realizar las mediciones.

4.5.4.2.4. Curva de remanso C_1 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se coloca un vertedor cresta afilada, aguas abajo de la descarga, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo igual a la pendiente crítica, es decir, $S_f = S_c$, anotando este valor; se procura que no se forme un salto hidráulico ni una onda, se permite que se establezca el flujo, pero no permitiendo que se establezca el flujo crítico propiamente; aguas arriba del vertedor, es decir, antes del vertedor, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye al momento de realizar las mediciones.

4.5.4.2.5. Curva de remanso C_3 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo igual a la pendiente crítica, es decir, $S_f = S_c$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico barrido, se permite que se establezca el flujo; aguas arriba del salto hidráulico, es decir, antes del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye al momento de realizar las mediciones.

4.5.4.2.6. Curva de remanso S_1 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se coloca un vertedor cresta afilada, aguas abajo de la descarga, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo fuerte, es decir, $S_f > S_c$, anotando este valor; se busca que se forme un salto

hidráulico claro, se permite que se establezca el flujo; aguas abajo del salto hidráulico, es decir, después del salto hidráulico, hasta el vertedor, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

4.5.4.2.7. Curva de remanso S_2 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se coloca un vertedor cresta afilada, aguas abajo de la descarga, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo fuerte, es decir, $S_f > S_c$, anotando este valor; se busca que se forme un salto hidráulico claro, se permite que se establezca el flujo; aguas abajo del vertedor, es decir, después del vertedor, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

4.5.4.2.8. Curva de remanso S_3 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo fuerte, es decir, $S_f > S_c$, anotando este valor; se busca que no se forme un salto hidráulico barrido, se permite que se establezca el flujo; se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

4.5.4.2.9. Curva de remanso H_2 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo horizontal, es decir, $S_f = 0$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico claro, se permite que se establezca el flujo; aguas abajo del salto hidráulico, es decir, después del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

4.5.4.2.10. Curva de remanso H_3 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo horizontal, es decir, $S_f = 0$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico barrido, se permite que se establezca el flujo, aguas arriba del salto hidráulico, es decir, antes del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye al momento de realizar las mediciones.

4.5.4.2.11. Curva de remanso A_2 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo negativa o adversa, es decir, $S_f < 0$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico claro, se permite que se establezca el flujo; aguas abajo del salto hidráulico, es decir, después del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

4.5.4.2.12. Curva de remanso A_3 .- Conocidos el tirante crítico y la pendiente crítica, para verificar su existencia, se trabaja el canal para el gasto preestablecido y una pendiente del fondo negativa o adversa, es decir, $S_f < 0$, anotando este valor; procurando que se forme un salto hidráulico barrido, se permite que se establezca el flujo, aguas arriba del salto hidráulico, es decir, antes del salto hidráulico, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye al momento de realizar las mediciones.

4.5.4.3. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

4.5.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC4-5.1

4.5.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

4.5.6.1. Cálculo del tirante crítico y la pendiente crítica.- Para calcular el tirante crítico y la pendiente crítica, se recurre a las expresiones respectivas, empleando el gasto preestablecido que registra el flujómetro.

$$d_c = \left(\frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{1/3} \quad \{ \text{Tirante crítico en canales rectangulares} \}$$

$$S_c = \frac{g n^2 A_c}{B_c R_c^{4/3}} \quad \{ \text{Pendiente crítica en canales} \}$$

en donde:

g = Aceleración de la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$ o $g = 32.2 \text{ p/s}^2$)

n = Coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning del canal;

Q = Gasto que registra el flujómetro; b = Ancho de plantilla;

$A_c = b d_c$ = Area hidráulica de la sección en régimen crítico;

$B_c = b$ = Ancho de la superficie libre en régimen crítico;

$P_c = b + 2 d_c$ = Perímetro mojado de la sección en régimen crítico;

$R_c = A_c / P_c$ = Radio hidráulico de la sección en régimen crítico;

d_c = Tirante crítico promedio; S_c = Pendiente crítica;

4.5.6.2. Representación gráfica.- Para tener el conocimiento completo del comportamiento del fluido en las mediciones; de lo observado, con los datos obtenidos se procede a realizar un informe gráfico, a escala adecuada dibujando las secciones elegidas y el perfil del flujo en corte longitudinal. Los dibujos deben estar acotados señalando, plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, etc., acompañados de leyendas explicativas que ilustren el tema con su respectiva escala gráfica.

4.5.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC4-5.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad u otro programa impresos en chorro de tinta o láser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC4-5.1				Hoja 1 de 6	
Datos; Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso					
Nombre del alumno:					
Grupo:		Brigada:	Fecha:		Horario:
Nombre del instructor:					
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso M₁</i>					
Gasto: Q =		lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf = %
Tirante(1): d ₁ =		cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ = cm
Tirante crítico: dc =		cm		Pendiente crítica: Sc = %	
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :					cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :					cm
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso M₁</i>					
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso M₂</i>					
Gasto: Q =		lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf = %
Tirante(1): d ₁ =		cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ = cm
Tirante crítico: dc =		cm		Pendiente crítica: Sc = %	
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :					cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :					cm
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso M₂</i>					

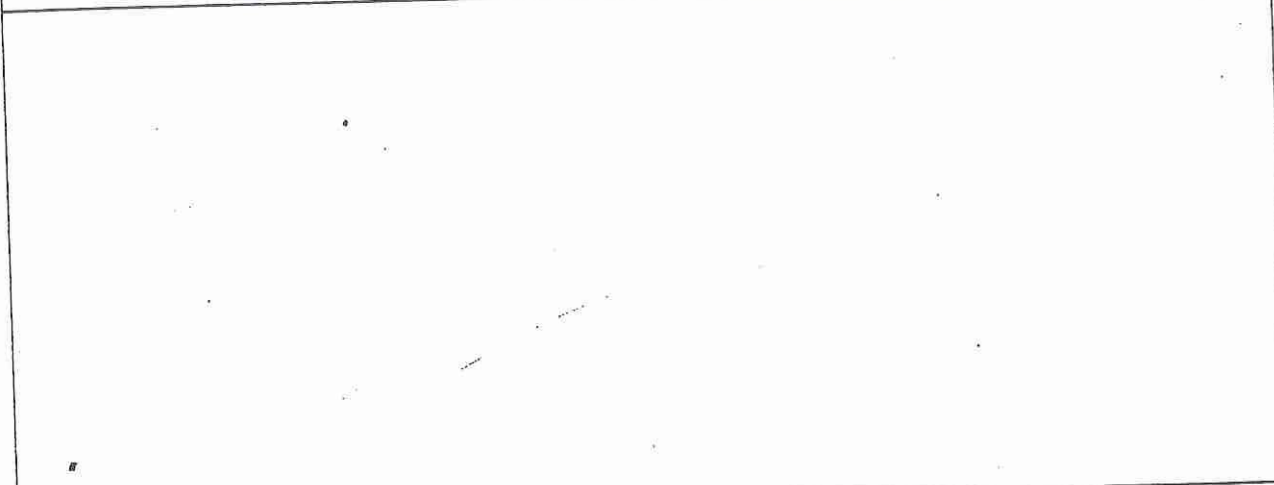
Formato PC4-5.1			Hoja 2 de 6	
Datos; <i>Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso</i>				
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso M₃</i>				
Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf = %
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ = cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =		%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :				cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :				cm
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso M₃</i>				
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso C₁</i>				
Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf = %
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ = cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =		%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :				cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :				cm
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso C₁</i>				

Datos; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso C₃

Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf =	%
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ =	cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =			%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :					cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :					cm

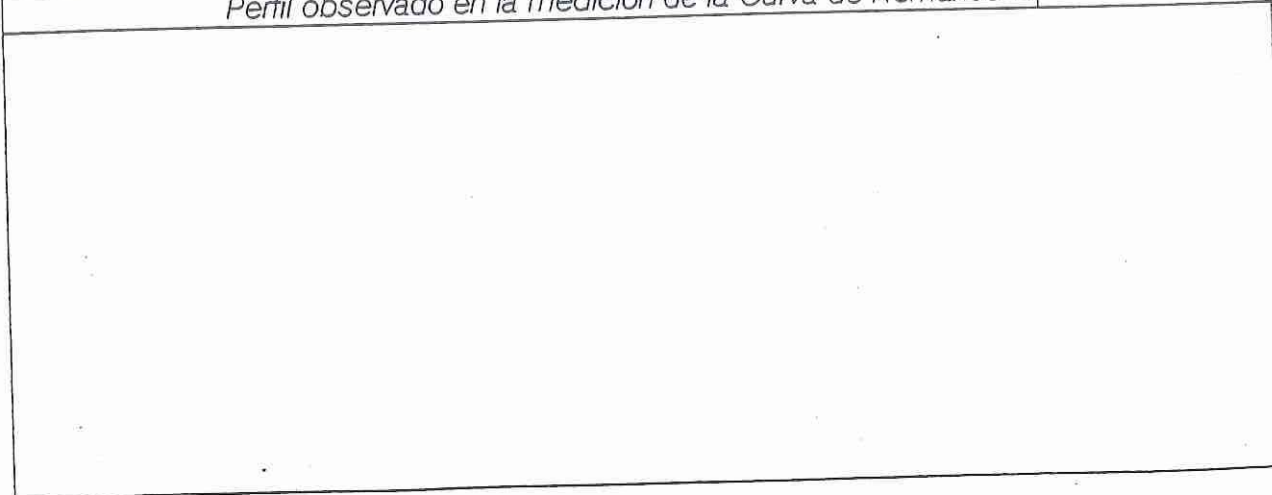
Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso C₃



Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso S₁

Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf =	%
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ =	cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =			%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :					cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :					cm

Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso S₁

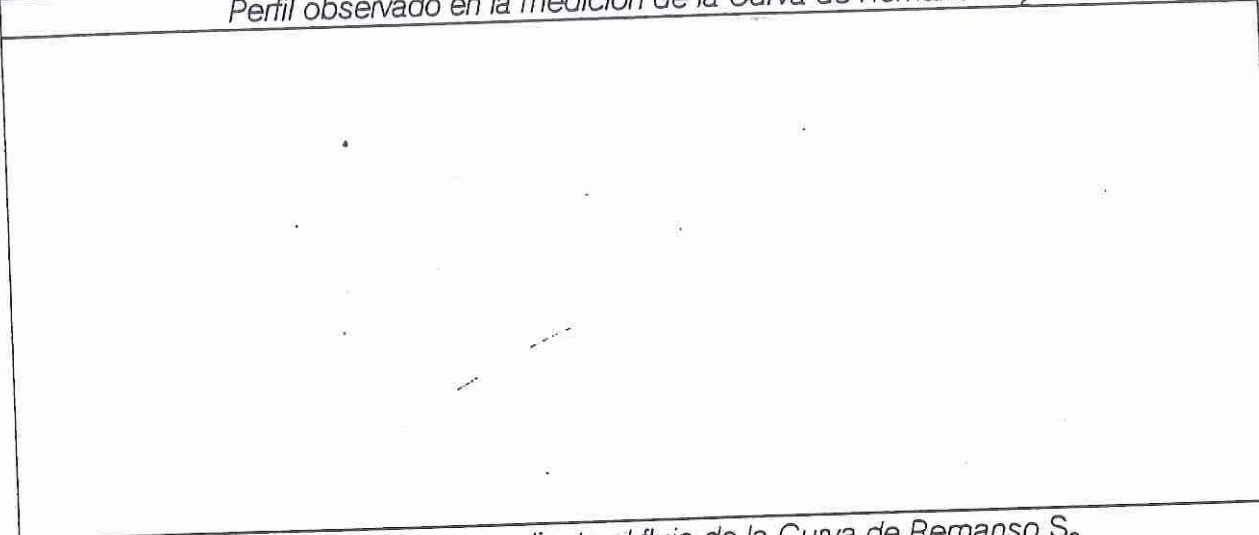


Datos; Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso

Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso S_2

Gasto: $Q =$	lps	Plantilla: $b =$	cm	Pendiente: $S_f =$	%
Tirante(1): $d_1 =$	cm	Tirante (2): $d_2 =$	cm	Tirante (3): $d_3 =$	cm
Tirante crítico: $d_c =$	cm	Pendiente crítica: $S_c =$			%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:					cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:					cm

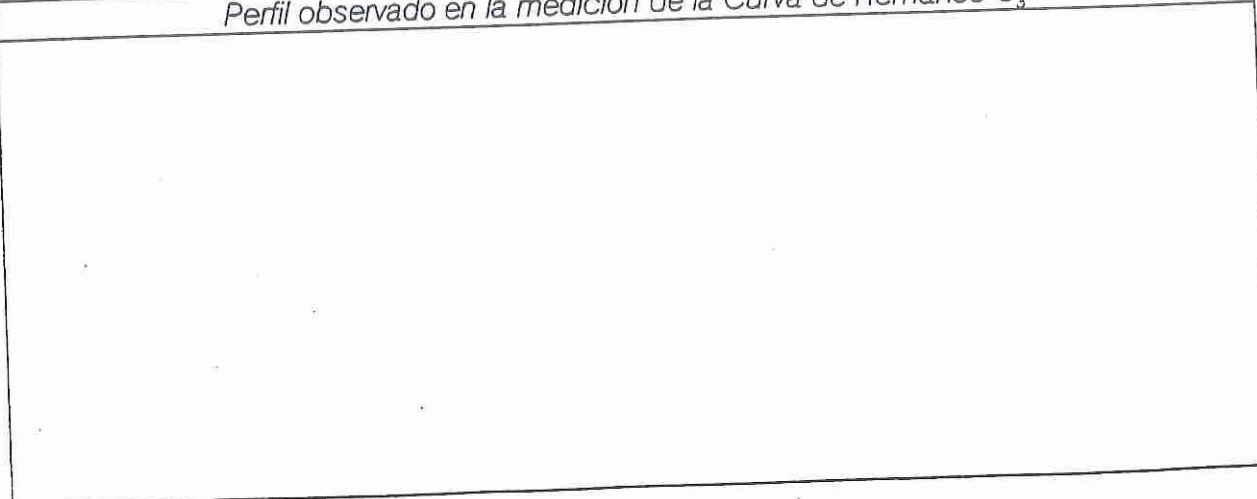
Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso S_2



Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso S_3

Gasto: $Q =$	lps	Plantilla: $b =$	cm	Pendiente: $S_f =$	%
Tirante(1): $d_1 =$	cm	Tirante (2): $d_2 =$	cm	Tirante (3): $d_3 =$	cm
Tirante crítico: $d_c =$	cm	Pendiente crítica: $S_c =$			%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:					cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:					cm

Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso S_3



Datos; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso H₂

Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf =	%
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ =	cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =			%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :					cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :					cm

Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso H₂

Blank area for profile observation of curve H₂.

Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso H₃

Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf =	%
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ =	cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =			%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1 ^a sección:					cm
Distancia de separación entre la sección 1 ^a y la 2 ^a :					cm
Distancia de separación entre la sección 2 ^a y la 3 ^a :					cm

Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso H₃

Blank area for profile observation of curve H₃.

Formato PC4-5.1			Hoja 6 de 6	
Datos; <i>Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso</i>				
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso A₂</i>				
Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf = %
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ = cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =		%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:				cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:				cm
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso A₂</i>				
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso A₃</i>				
Gasto: Q =	lps	Plantilla: b =	cm	Pendiente: Sf = %
Tirante(1): d ₁ =	cm	Tirante (2): d ₂ =	cm	Tirante (3): d ₃ = cm
Tirante crítico: dc =	cm	Pendiente crítica: Sc =		%
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:				cm
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:				cm
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:				cm
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso A₃</i>				
Firma del alumno:		Firma del instructor:		
Observaciones del instructor:				
Calificación con número:		Calificación con letra:		

Resultados; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Nombre del alumno:

Grupo:

Brigada:

Fecha:

Horario:

Nombre del instructor:

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso M₁

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso M₁

--

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso M₂

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso M₂

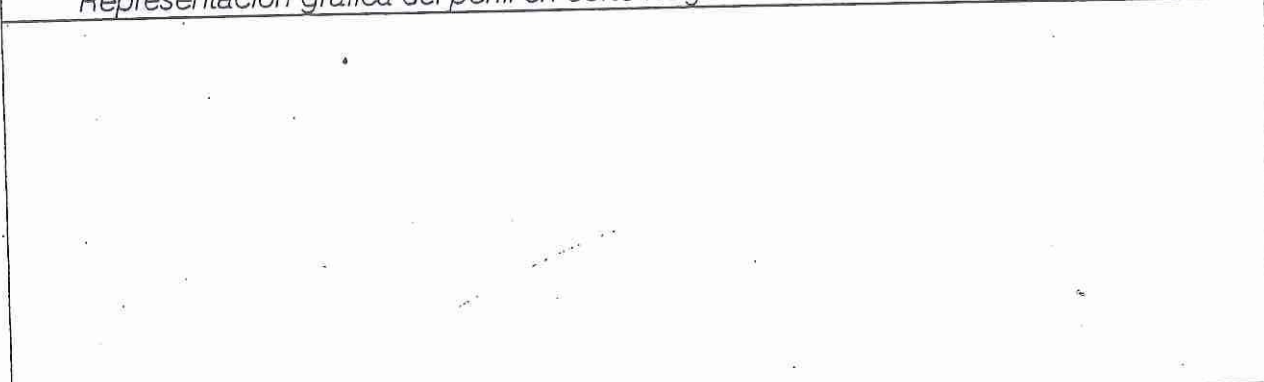
--

Resultados; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso M₃

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

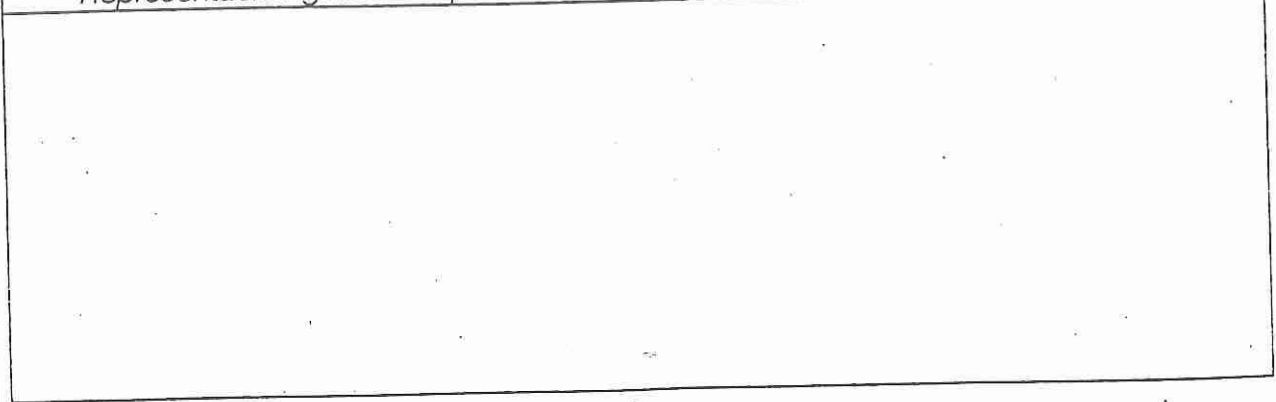
Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso M₃



Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso C₁

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso C₁

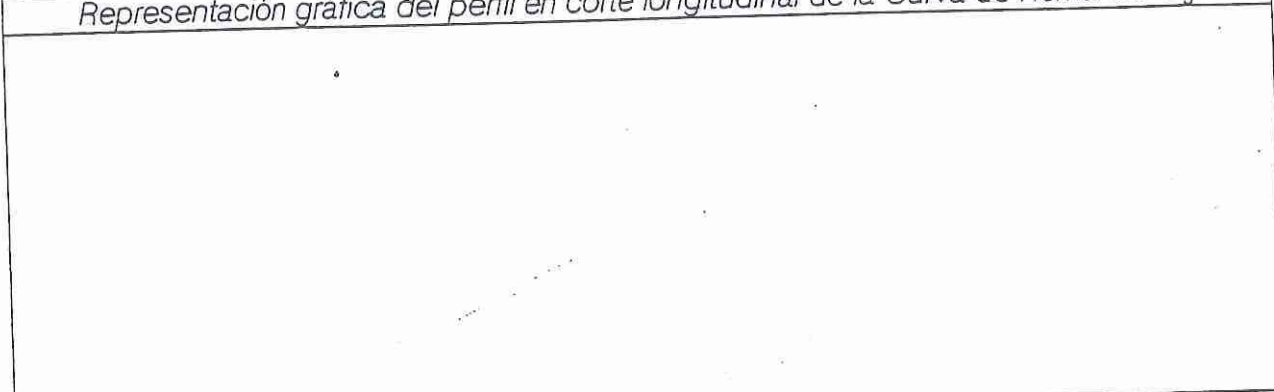


Resultados; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso C₃

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

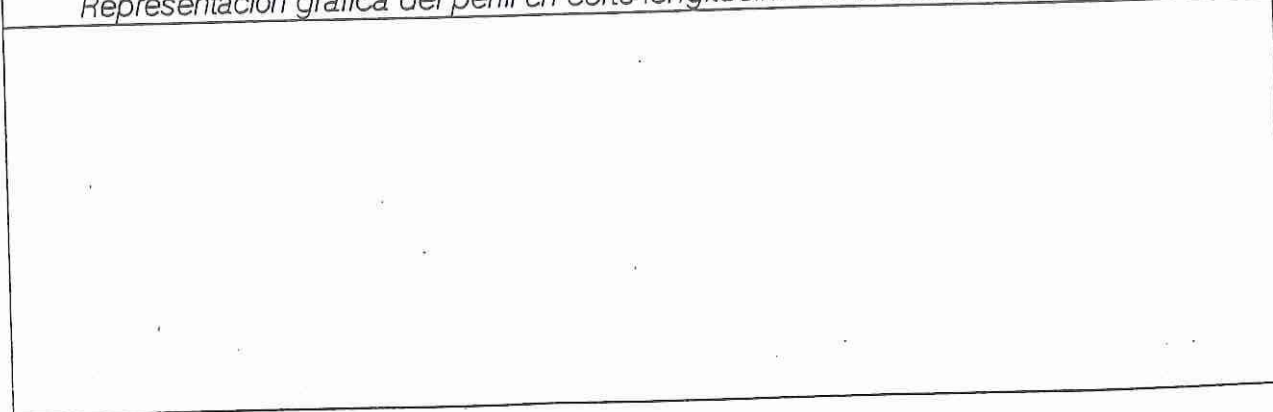
Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso C₃



Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso S₁

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso S₁

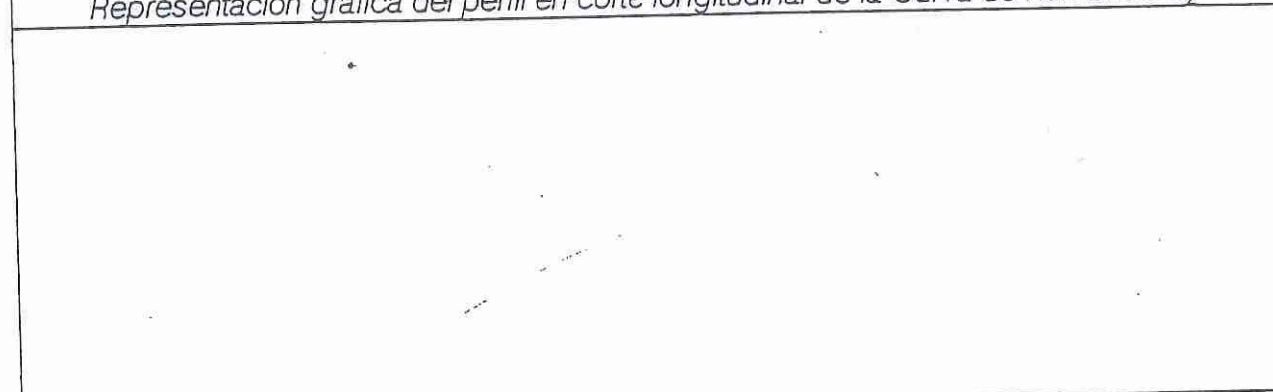


Resultados; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso S₂

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

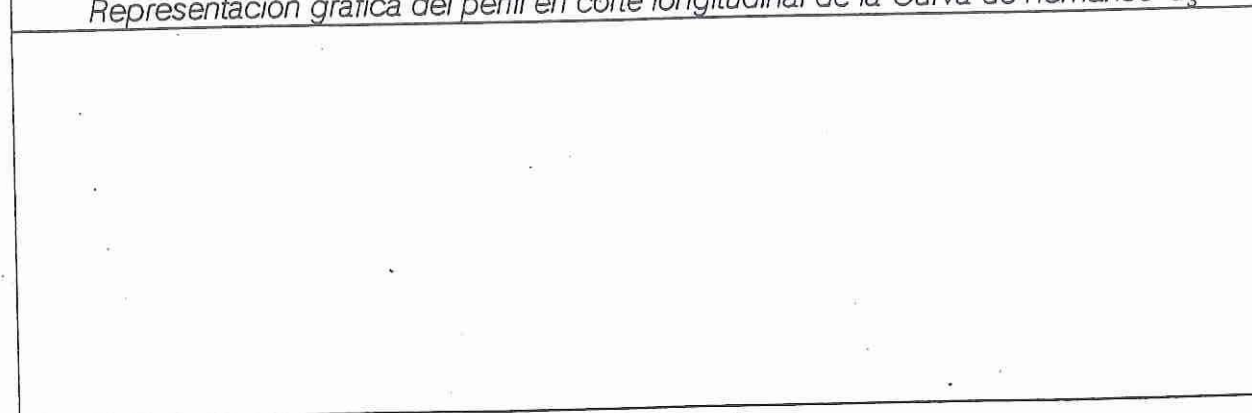
Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso S₂



Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso S₃

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso S₃

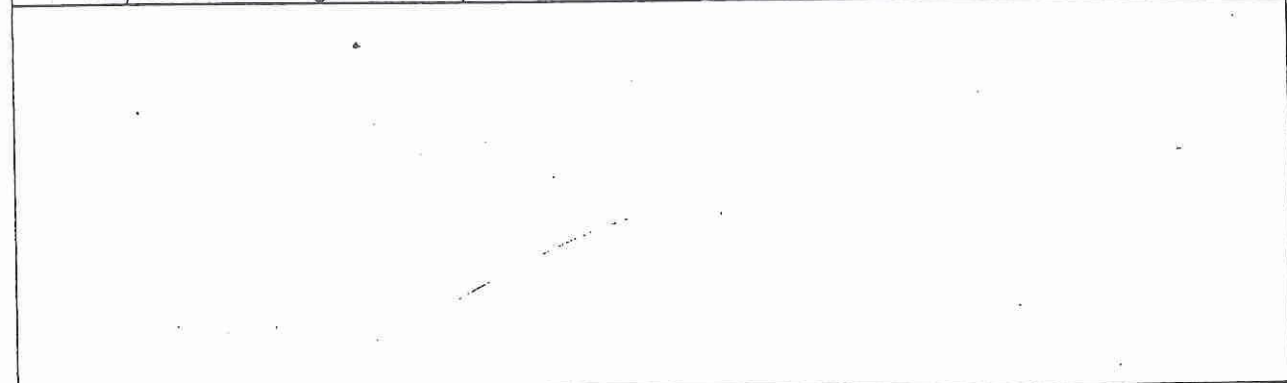


Resultados; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso H₂

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

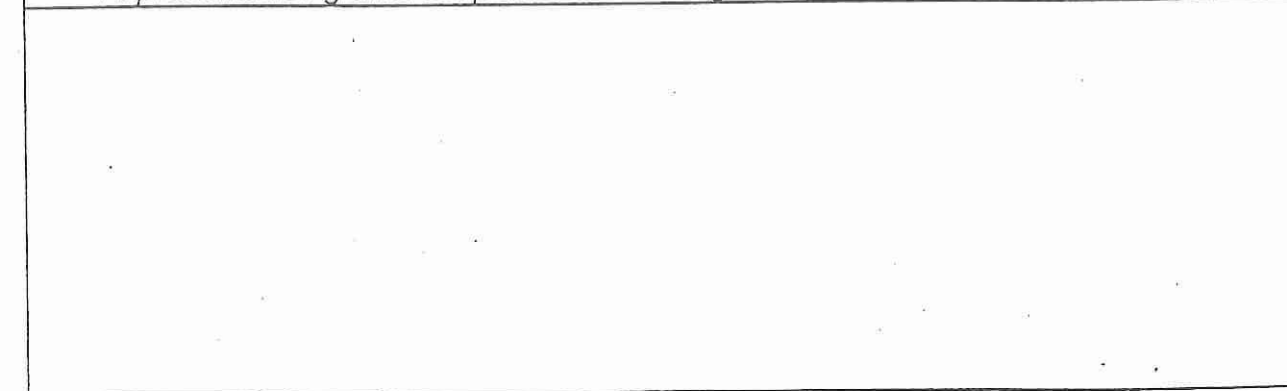
Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso H₂



Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso H₃

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso H₃



Resultados; *Práctica PC4-5: Clasificación de las curvas de remanso*

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso A₂

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso A₂

Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso A₃

Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)

Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso A₃

Firma del alumno:	Firma del instructor:
-------------------	-----------------------

Observaciones del instructor:	
Calificación con número:	Calificación con letra:

4. FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

4.6. Práctica PC4-6: Aplicación del Método Paso a Paso

4.6.1. Objetivo:

Mediante el canal de pendiente variable trabajando para un gasto y una pendiente del fondo cualquiera, se llevarán a cabo las mediciones necesarias para la *Aplicación del Método Paso a Paso*.

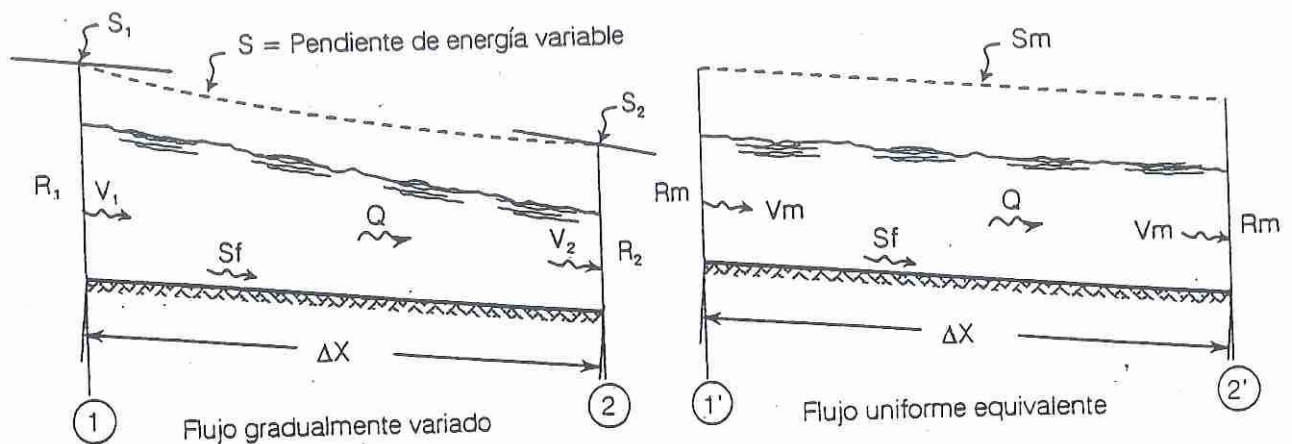
4.6.2. Descripción de la teoría que se verificará, mediante la práctica.

Aplicación del Método Paso a Paso:

Después de obtenido el tipo y la geometría de la curva de remanso se procede al cálculo numérico de los tirantes reales a lo largo del escurrimiento para cada uno de los tramos con pendiente del fondo constante.

4.6.2.1. Método Paso a Paso.- El método consiste en hacer aplicaciones sucesivas de la ecuación de Bernoulli entre tramos, con pendiente de fondo conocida constante, evaluando las pérdidas con la ecuación de Manning para flujo uniforme, con el propósito de determinar los tirantes a lo largo de una curva de remanso.

4.6.2.2. Hipótesis del método Paso a Paso.- Las pérdidas de energía por fricción $H_{1,2}$ efectuadas entre dos secciones 1 y 2 del flujo son iguales a las que se llevarían a cabo en un tramo de la misma longitud ΔX con flujo uniforme, cuyas características de velocidad y radio hidráulico fueren los promedios aritméticos de estas magnitudes en las secciones 1 y 2 del tramo de la aplicación con flujo gradual.



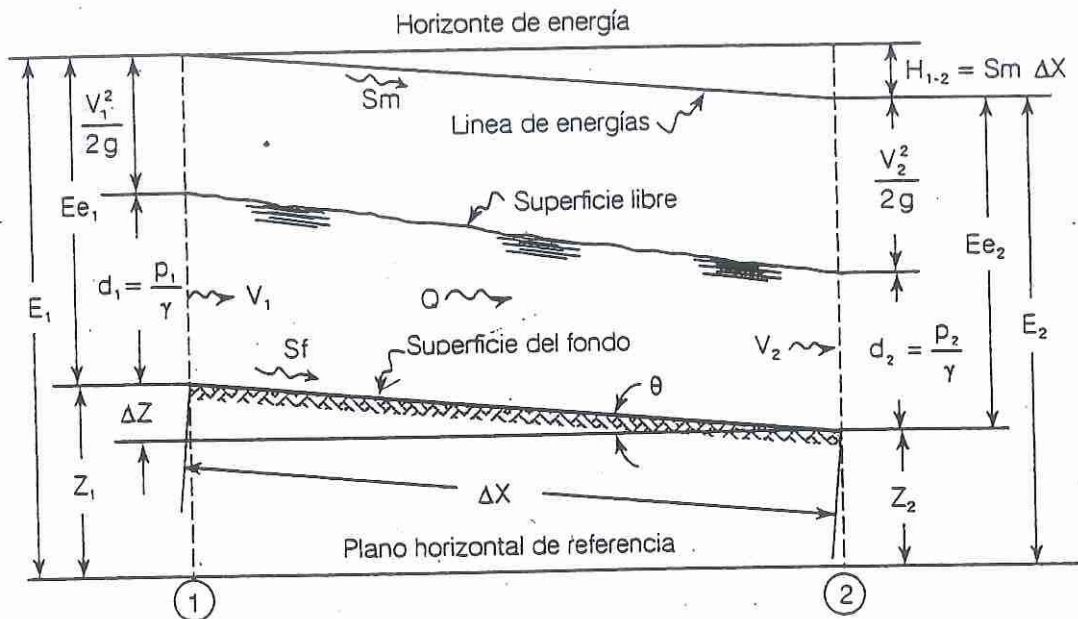
De acuerdo con la hipótesis: $H_{1,2} = H_{1',2'}$; $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$; $R_m = \frac{R_1 + R_2}{2}$

Las pérdidas se calcularán de esta manera: $H_{1-2} = S L = S_m \Delta X$; en donde:

$$V_m = \frac{R m^{2/3} S_m^{1/2}}{n} \rightarrow S_m = \frac{V_m^2 n^2}{R^{4/3}} \rightarrow H_{1-2} = \frac{V_m^2 n^2}{R m^{4/3}} \cdot \Delta X = S_m \cdot \Delta X$$

Nota.- Mientras más grande sea ΔX hay más error.

4.6.2.3. Ecuación del método Paso a Paso:



Haciendo un balance de energías entre 1 y 2

$$E_1 = E_2 + H_{1-2} \rightarrow Z_1 + d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_{1-2}$$

$$Z_1 - Z_2 + \left(d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) = \left(d_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) + S_m \Delta X \rightarrow \Delta Z + Ee_1 = Ee_2 + S_m \Delta X$$

pero: $\text{sen } \theta = \frac{\Delta Z}{\Delta X} \rightarrow \Delta Z = \Delta X \text{ sen } \theta$; para θ pequeño: $\text{sen } \theta \approx \tan \theta = S_f$;

de donde: $\Delta Z = \Delta X S_f$; por tanto:

$$Ee_1 + \Delta Z = Ee_2 + H_{1-2} \quad \{ \text{Ecuación del Método Paso a Paso} \}$$

El tirante d_2 desconocido se obtendrá por tanteos hasta que con algún valor supuesto de este y con el d_1 conocido se satisfaga la igualdad planteada en la ecuación.

4.6.2.4. Convención de signos.- Como la ecuación anterior se obtuvo para este caso en particular es necesario adoptar una convención de signos adecuada para poder aplicar la fórmula satisfactoriamente o bien plantear la ecuación para cada caso en particular que se presente. Para la aplicación de la fórmula se tiene:

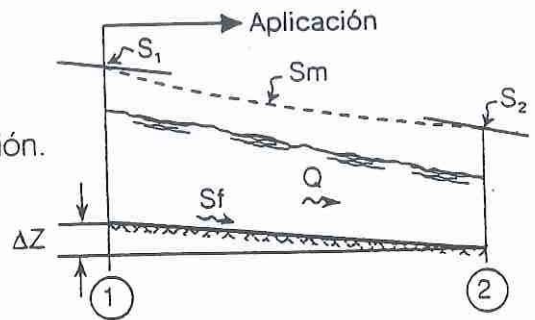
4.6.2.4.1. La longitud del tramo ΔX siempre es positiva.

4.6.2.4.2. La línea de alturas totales se considera con pendiente descendente en el sentido del escurrimiento para todos los casos.

4.6.2.4.3. Caso A.- La ecuación de Bernoulli se aplica de aguas arriba a aguas abajo en el sentido del escurrimiento y el nivel de la plantilla desciende en el sentido de la aplicación.

$$\Delta Z = (+); \quad Sf = (+); \quad Sm = (+)$$

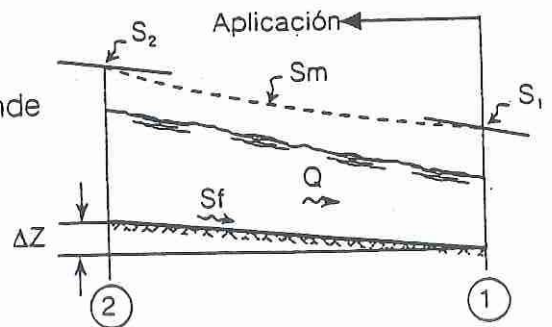
$$\text{Ecuación: } Ee_1 + \Delta Z = Ee_2 + H_{1-2}$$



4.6.2.4.4. Caso B.- La aplicación se efectúa desde aguas abajo hacia aguas arriba en contra del flujo y el nivel de la plantilla desciende en el sentido del escurrimiento.

$$\Delta Z = (-); \quad Sf = (-); \quad Sm = (-)$$

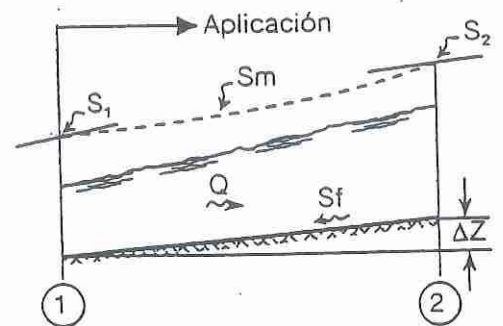
$$\text{Ecuación: } Ee_1 - \Delta Z = Ee_2 - H_{1-2}$$



4.6.2.4.5. Caso C.- La aplicación se efectúa desde aguas arriba hacia aguas abajo en el sentido del flujo y la pendiente del fondo es adversa.

$$\Delta Z = (-); \quad Sf = (-); \quad Sm = (+)$$

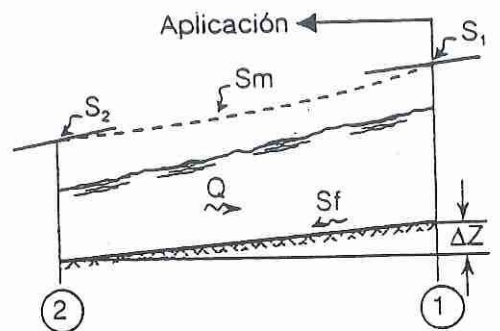
$$\text{Ecuación: } Ee_1 - \Delta Z = Ee_2 + H_{1-2}$$



4.6.2.4.6. Caso D.- La aplicación se hace de aguas abajo a aguas arriba en contra del flujo y la pendiente del fondo es adversa.

$$\Delta Z = (+); \quad Sf = (+); \quad Sm = (-)$$

$$\text{Ecuación: } Ee_1 + \Delta Z = Ee_2 - H_{1-2}$$



4.6.2.5. Tabla auxiliar para el cálculo:

Tabla auxiliar del cálculo Método Paso a Paso																					
d_1	A_1	P_1	R_1	V_1	$\frac{V_1^2}{2g}$	Ee_1	ΔZ	$Ee_1 \pm \Delta Z$	d_2	A_2	P_2	R_2	V_2	$\frac{V_2^2}{2g}$	Ee_2	Vm	Rm	Sm	ΔX	H_{1-2}	$Ee_2 \pm H_{1-2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Funcionamiento de la Tabla.- Con el tirante conocido d_1 y los demás datos (Q , n , b , t , Sf , ΔX) se calculan los términos indicados hasta la columna 9; a partir de la columna 10 y con un tirante supuesto d_2 , así como con los demás datos del problema y con las columnas 5 y 6, se calculan las columnas restantes hasta la 22; una vez hecho esto se comparan los valores numéricos de las columnas 9 y 22; si se encuentra que son desiguales se supone otro d_2 y se repite el procedimiento a partir de la columna 10; con esto último se explica la forma de la Tabla.

El número de iteraciones con los d_2 supuestos dependerá de la exactitud deseada. Una vez que, para cierto valor de d_2 supuesto, se encuentre que el valor obtenido en la columna 22 es aproximadamente igual al calculado en 9 se ha determinado el valor correspondiente al d_2 para el d_1 conocido y el ΔX dado. Si se está trabajando para más de un tramo se prolongará la Tabla como sea necesario, pasando el valor del d_2 obtenido para el primer ΔX el nuevo d_1 .

4.6.3. Materiales y equipo:

Canal de pendiente variable y cinta métrica

4.6.4. Procedimientos y descripción:

Instrucciones para realizar la práctica y llevar a cabo la toma de datos:

4.6.4.1. Exposición de la teoría en el aula de instrucción.

4.6.4.2. Se preestablece un gasto adecuado y una pendiente del fondo adecuados, para que se forme una curva de remanso elegida previamente, acorde con la colocación del accesorio respectivo. Estas variables se cambian según convengan anotando dichos valores, también los accesorios que se requieran se cambian. Se calcularán previamente el tirante normal, el tirante crítico y la pendiente crítica independientemente de la curva de remanso elegida.

4.6.4.3. Con ayuda del instructor, estando el canal de pendiente variable funcionando para el gasto preestablecido y la pendiente del fondo adecuada, se procede para que se forme la curva de remanso elegida, una vez logrado esto, se miden los tirantes en tres secciones diferentes al mismo tiempo cuidando que sean diferentes, se miden las

distancias respecto del cabezal derecho, las distancias entre secciones, se hacen las observaciones del flujo dibujando el perfil y de acuerdo con el flujómetro se toma nota del gasto que fluye en dicho momento.

4.6.4.4. Se dibujarán los aparatos que se utilicen, el esquema de sus montajes, la sección de canal en estudio y se describirán las observaciones.

4.6.5. Formato para la toma de datos prácticos:

Emplear el Formato PC4-6.1

4.6.6. Metodología a seguir para el procesamiento de la información recabada:

Esta práctica es del tipo cualitativo, cuantitativo, requiere de cálculos y se procede de la siguiente manera:

4.6.6.1. Tipo de curva de remanso.- Previo a la realización de la práctica se decidió el tipo de curva de remanso que se estudiaría, se preestableció el gasto, la pendiente del fondo y acorde con todo esto se colocaron los accesorios para obtener dicha curva de remanso y para llevar a cabo los cálculos se deben calcular el tirante normal, el tirante crítico y la pendiente crítica.

4.6.6.2. Cálculo del tirante normal.- Cuando se conocen el gasto Q , la pendiente del fondo del canal S_f y el coeficiente de rugosidad n , se agrupan los términos conocidos de la ecuación de Chezy-Manning, para obtener el Módulo de la sección M y la determinación del tirante normal d_n , se hace por tanteos y por facilidad se elabora una tabla auxiliar de cálculo que permite llevar a cabo de forma ordenada las suposiciones; después de varios intentos se interpola y finalmente se hacen los ajustes pertinentes.

4.6.6.2.1. Determinación del Módulo de la sección $[M]$.- De la ecuación de Chezy-Manning para pendientes del fondo pequeñas se tiene:

$$Q = \frac{A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_f}}{n} \rightarrow \frac{Q n}{\sqrt{S_f}} = A R^{2/3};$$

ya que: $A = f(d)$; $R = f(d)$; conocidos: Q ; n ; S_f ; se tiene:

$$\frac{Q n}{\sqrt{S_f}} = A R^{2/3} \rightarrow A R^{2/3} = f(d) = \frac{Q n}{\sqrt{S_f}} = M = \text{Módulo de la Sección}$$

en donde:

n = Coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning del canal;

Q = Gasto que registra el flujómetro; S_f = Pendiente del fondo;

Para canales rectangulares:

$A = b \, dn$ = Área hidráulica; $P = b + 2 \, dn$ = Perímetro mojado;

$R = A / P$ = Radio hidráulico; b = Ancho de plantilla; dn = Tirante normal;

4.6.6.2.2. Determinación del Tirante normal [dn]. por tanteos- El tirante normal se obtiene por tanteos y para organizar los cálculos se emplea la siguiente tabla auxiliar del cálculo:

Tabla auxiliar del cálculo del tirante normal					
Nº. de Suposición	d	A	P	R	$A R^{2/3} = M$
0	d_0	A_0	P_0	R_0	M_0
1	d_1	A_1	P_1	R_1	M_1
2	d_2	A_2	P_2	R_2	M_2
3	d_3	A_3	P_3	R_3	M_3
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Se requiere hacer varias suposiciones para llegar por tanteos hasta la respuesta; sin embargo, una forma de reducir el trabajo y obtener el valor buscado con cierta precisión, es tomando tres valores cercanos a la solución y mediante la fórmula de interpolación lineal tener la respuesta.

Para la aplicación correcta de la interpolación lineal, se requiere que a la suposición más cercana le corresponda el subíndice 3; la del subíndice 2, será la suposición cercana que sea mayor que la respuesta y la del subíndice 1, será la suposición cercana que sea menor que el valor buscado. Para este caso la fórmula de interpolación lineal es la siguiente:

$$\frac{dn - dn_3}{M - M_3} = \frac{dn_2 - dn_1}{M_2 - M_1} \rightarrow dn = \frac{(dn_2 - dn_1)(M - M_3)}{(M_2 - M_1)} + dn_3;$$

en donde: $dn \cong dn_3$; $dn_2 > dn > dn_1$

4.6.6.3. Cálculo del tirante crítico y la pendiente crítica.- Para calcular el tirante crítico y la pendiente crítica, se recurre a las expresiones respectivas, empleando el gasto preestablecido que registra el flujómetro.

$$dc = \left(\frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{1/3} \quad \{ \text{Tirante crítico en canales rectangulares} \}$$

$$Sc = \frac{g n^2 Ac}{Bc Rc^{4/3}} \quad \{ \text{Pendiente crítica en canales} \}$$

en donde:

g = Aceleración de la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$ o $g = 32.2 \text{ p/s}^2$)

n = Coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning del canal;

Q = Gasto que registra el flujómetro; b = Ancho de plantilla;

$Ac = b dc$ = Area hidráulica de la sección en régimen crítico;

$Bc = b$ = Ancho de la superficie libre en régimen crítico;

$Pc = b + 2 dc$ = Perímetro mojado de la sección en régimen crítico;

$Rc = Ac / Pc$ = Radio hidráulico de la sección en régimen crítico;

dc = Tirante crítico promedio; Sc = Pendiente crítica;

4.6.6.4. Ecuación del Método Paso a Paso a usar.- La ecuación que se empleará depende del tipo de curva de remanso en estudio y según sea el caso de acuerdo con la teoría se tiene:

4.6.6.4.1. Caso A.- Las curvas de remanso: M_3, C_3, S_2, S_3, H_3 , se calculan aplicando la ecuación de Bernoulli de aguas arriba a aguas abajo en el sentido del flujo, donde el nivel de la plantilla desciende en el sentido de la aplicación. Para estas curvas de remanso la ecuación del Método Paso a Paso a usar es:

$$Ee_1 + \Delta Z = Ee_2 + H_{1.2} \quad \{ \text{Ecuación para las curvas de remanso: } M_3, C_3, S_2, S_3, H_3 \}$$

4.6.6.4.2. Caso B.- Las curvas de remanso: M_1, M_2, S_1, H_2, C_1 , se calculan aplicando la ecuación de Bernoulli de aguas abajo a aguas arriba en contra del sentido del flujo, donde el nivel de la plantilla asciende en el sentido de la aplicación. Para estas curvas de remanso la ecuación del Método Paso a Paso a usar es:

$$Ee_1 - \Delta Z = Ee_2 - H_{1.2} \quad \{ \text{Ecuación para las curvas de remanso: } M_1, M_2, S_1, H_2, C_1 \}$$

4.6.6.4.3. Caso C.- La curva de remanso: A_3 , se calcula aplicando la ecuación de Bernoulli de aguas arriba a aguas abajo en el sentido del flujo, donde el nivel de la plantilla asciende en el sentido de la aplicación. Para esta curva de remanso la ecuación del Método Paso a Paso a usar es:

$$Ee_1 - \Delta Z = Ee_2 + H_{1.2} \quad \{ \text{Ecuación para la curva de remanso: } A_3 \}$$

4.6.6.4.4. Caso D.- La curva de remanso: A_2 , se calcula aplicando la ecuación de Bernoulli de aguas abajo a aguas arriba en contra del sentido del flujo, donde el nivel de la plantilla desciende en el sentido de la aplicación. Para esta curva de remanso la ecuación del Método Paso a Paso a usar es:

$$Ee_1 + \Delta Z = Ee_2 - H_{1-2} \quad \{ \text{Ecuación para la curva de remanso: } A_2$$

en donde:

$$Ee_1 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \text{Energía específica en la sección 1;}$$

$$Ee_2 = d_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \text{Energía específica en la sección 2;}$$

$\Delta Z = \Delta X Sf =$ Desnivel entre 1 y 2; $H_{1-2} = Sm \Delta X =$ Energía perdida entre 1 y 2;

$\Delta X =$ Distancia que separa los tirantes d_1 y d_2 ;

$d_1 =$ Tirante en 1; $d_2 =$ Tirante en 2; $Sf =$ Pendiente del fondo;

$$Sm = \frac{Vm^2 n^2}{Rm^{4/3}}; \quad Vm = \frac{V_1 + V_2}{2}; \quad Rm = \frac{R_1 + R_2}{2};$$

$R_1 =$ Radio hidráulico en 1; $R_2 =$ Radio hidráulico en 2;

$Rm =$ Radio hidráulico promedio; $Sm =$ Pendiente de energía promedio;

$V_1 =$ Velocidad media en 1; $V_2 =$ Velocidad media en 2; $Vm =$ Velocidad promedio;

$n =$ Coeficiente de rugosidad de la ecuación de Manning del canal;

4.6.6.5. Determinación de los tirantes de la curva de remanso.- Empleando la ecuación respectiva, se obtienen los tirantes del perfil del escurrimiento, tomando como punto de partida un tirante conocido, se supone una distancia y por tanteos se obtiene el tirante que debe localizarse a dicha distancia. Para organizar los cálculos se emplea la tabla auxiliar del cálculo que se describe en la teoría.

4.6.6.6. Verificación de la validez del Método Paso a Paso.- Los tirantes obtenidos mediante el Método Paso a Paso, se comparan con los medidos directamente en el escurrimiento, de esta comparación se verifica la validez del método aplicado.

4.6.6.7. Representación gráfica.- Para tener el conocimiento completo del comportamiento del fluido en las mediciones; de lo observado, con los datos obtenidos se procede a realizar un informe gráfico, a escala adecuada dibujando las secciones

elegidas y el perfil del flujo en corte longitudinal. Los dibujos deben estar acotados señalando, plantilla, tirante, bordo libre, pendiente del fondo, gasto, etc., acompañados de leyendas explicativas que ilustren el tema con su respectiva escala gráfica.

4.6.7. Formato para la presentación de resultados:

Los resultados se presentarán de acuerdo con el Formato PC4-6.2. Los dibujos se harán a tinta ya sea a mano o mejor aún en computadora con Autocad u otro programa impresos en chorro de tinta o láser, hoja de papel bond blanco tamaño carta.

Formato PC4-6.1			Hoja 1 de 1		
Datos; <i>Práctica PC4-6: Aplicación del Método Paso a Paso</i>					
Nombre del alumno:					
Grupo:		Brigada:		Fecha:	
Nombre del instructor:					
<i>Información correspondiente al flujo de la Curva de Remanso</i>					
Nombre de la curva de remanso en estudio:					
Gasto: $Q =$		ips		Plantilla: $b =$	
Tirante normal: $d_n =$		cm		Pendiente del fondo: $S_f =$	
Tirante crítico: $d_c =$		cm		Pendiente crítica: $S_c =$	
Tirante (1): $d_1 =$		cm		Tirante (2): $d_2 =$	
				cm	
Tirante (3): $d_3 =$				cm	
Distancia desde el cabezal derecho hasta la 1ª sección:					
cm					
Distancia de separación entre la sección 1ª y la 2ª:					
cm					
Distancia de separación entre la sección 2ª y la 3ª:					
cm					
<i>Perfil observado en la medición de la Curva de Remanso</i>					
Observaciones:					
Firma del alumno:			Firma del instructor:		
Observaciones del instructor:					
Calificación con número:			Calificación con letra:		

Formato PC4-6.2		Hoja 1 de 4
Resultados; <i>Práctica PC4-6: Aplicación del Método Paso a Paso</i>		
Nombre del alumno:		
Grupo:	Brigada:	Fecha:
Nombre del instructor:		Horario:
<i>Dibujos correspondientes a las secciones del flujo de la Curva de Remanso</i>		
Sección (1)	Sección (2)	Sección (3)
<i>Representación gráfica del perfil en corte longitudinal de la Curva de Remanso</i>		
<i>Cálculos</i>		

Resultados; *Práctica PC4-6: Aplicación del Método Paso a Paso**Cálculos*

Resultados; *Práctica PC4-6: Aplicación del Método Paso a Paso*

Cálculos



