

# HIDRÁULICA

CALSE 2:

*Introducción al estudio del flujo  
libre*

Julián David Rojo Hdz.

I.C. Msc. Recursos Hidráulicos

# CONTENIDO

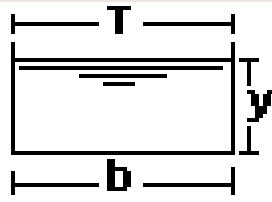
---

- 2.1 Tipos de secciones para el flujo en canales
- 2.2 Propiedades de la sección de un canal
  - 2.2.1 Propiedades geométricas de la sección transversal
  - 2.2.2 Propiedades hidráulicas de la sección transversal
- 2.3 Sobre la distribución de la velocidad de un canal
- 2.4 Técnicas para medir la velocidad en un canal.

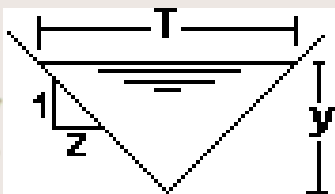
# INTRODUCCIÓN

- El estudio de las propiedades hidráulicas de la sección transversal posee singular importancia puesto que dicha sección define muchas de las características hidráulicas del flujo.

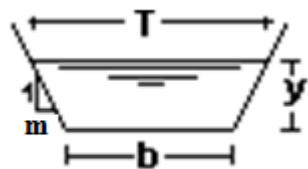
# 2.1 Tipos de secciones transversales



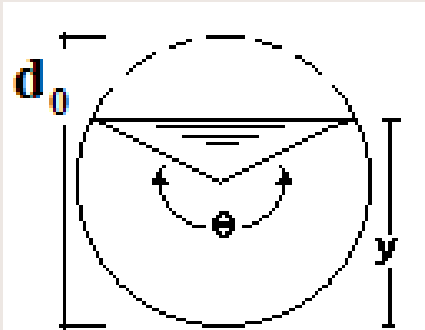
Rectangular



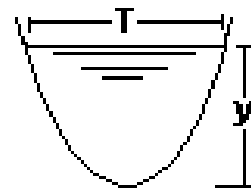
Triangular



Trapezoidal



Circular

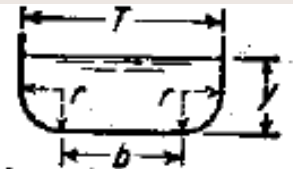


Parabólica

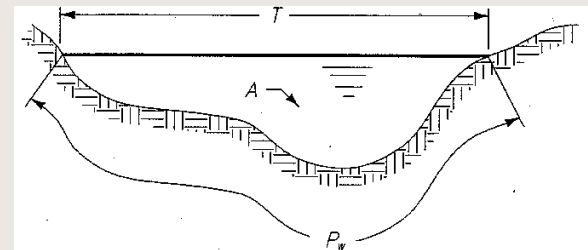
$$y = kx^2$$



Triángulo con fondo redondeado



Rectángulo con esquinas redondeadas ( $y > r$ )



## **2.2 PROPIEDADES DE LA SECCIÓN DE UN CANAL**

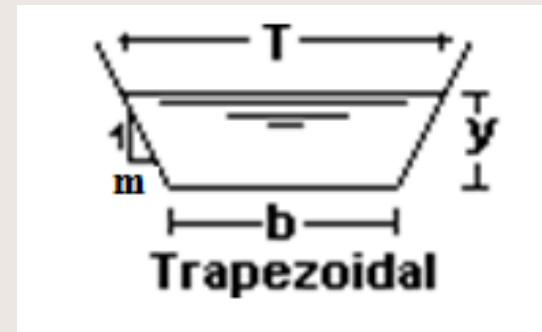
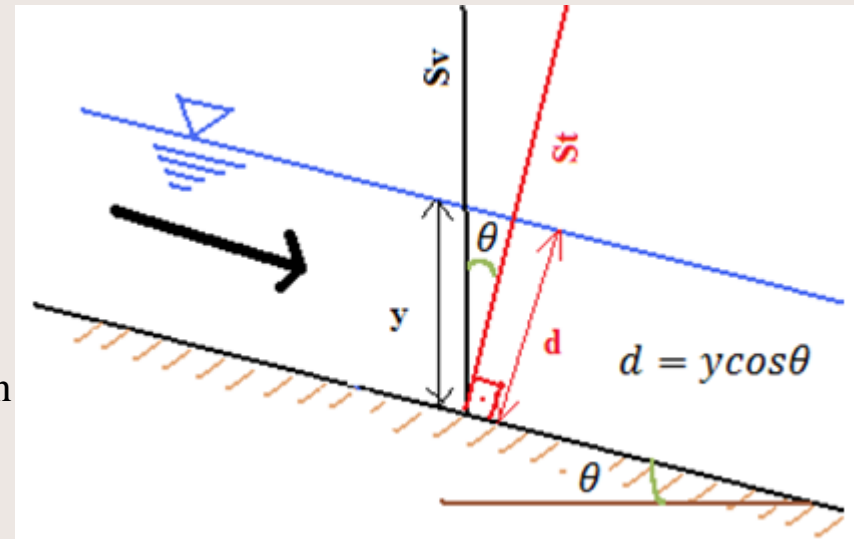
# PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

- Geométricas: dependen de la forma de la sección y de la profundidad de la lámina de agua.
- Hidráulicas: se relacionan con la velocidad, la energía cinética y el momentum del flujo.

## **2.2.1 Propiedades Geométricas de la sección transversal**

# CONSIDERACIONES GENERALES

- **Sección Vertical (Sv):** tomada verticalmente a la sección del flujo.
- **Sección transversal (St):** Tomada perpendicularmente a la sección del flujo
- **Profundidad de circulación (y):** Distancia entre la superficie libre del agua y el punto mas bajo de la sección vertical.
- **Tirante (d):** Es la distancia entre la superficie y fondo del canal en un plano perpendicular a la dirección del flujo.
- **Ancho de fondo (b):** Ancho del canal en la parte mas profunda
- **Talud (m):** distancia horizontal correspondiente a una unidad vertical de altura.





# Propiedades Geométricas de la sección transversal

- **Área Mojada (A):** Área de la sección transversal del flujo por debajo de la superficie libre.
- **Perímetro Mojado (P):** longitud de la traza de las paredes de conducción mas el ancho de fondo.
- **Ancho superficial:** es el ancho del canal en la zona de la superficie libre.
- **Radio hidráulico:** es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado.

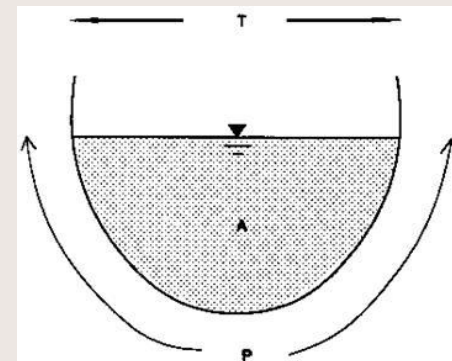
$$R_h = \frac{A}{P}$$

- **Profundidad hidráulica (D):** Relación entre el área mojada y el ancho superficial






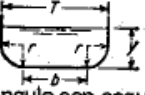
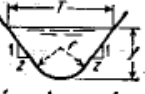
$$D = \frac{A}{T}$$

- **Factor de sección (Z):** producto entre el área mojada y la raíz de la profundidad hidráulica.

$$Z = A\sqrt{D}$$



# Propiedades Geométricas de la sección transversal

Sección	Área $A$	Perímetro mojado $P$	Radio hidráulico $R$	Ancho superficial $T$	Profundidad hidráulica $D$	Factor de sección $Z$
 Rectángulo	$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b$	$y$	$by^{1.5}$
 Trapecio	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	$zy^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen } \theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)d_0$	$\frac{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{y(d_0 - y)}}$ or $\frac{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{y(d_0 - y)}}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \text{sen } \theta)^{1.5}}{32(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parábola	$\frac{3}{8}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{3}{8}y$	$\frac{3}{8}\sqrt{6}Ty^{1.5}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ( $y > r$ )	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

\* Aproximación satisfactoria para el intervalo  $0 < x \leq 1$ , donde  $x = 4y/T$ . Cuando  $x > 1$ , utilice la expresión exacta  $P = (T/2) [\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$ .

# Análisis complementarios

$$d = y \cos \theta$$

Para canales con pendiente pequeña ( $\theta \approx 0^\circ$ )

$$y = d$$

Valido para  $0^\circ \leq \theta \leq 7^\circ$

En la clasificación de los flujos


$$\mathcal{F} = \frac{\text{fuerzas de inercia}}{\text{fuerzas de gravedad}} = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

$D$  = Profundidad Hidráulica

En la clasificación de los flujos

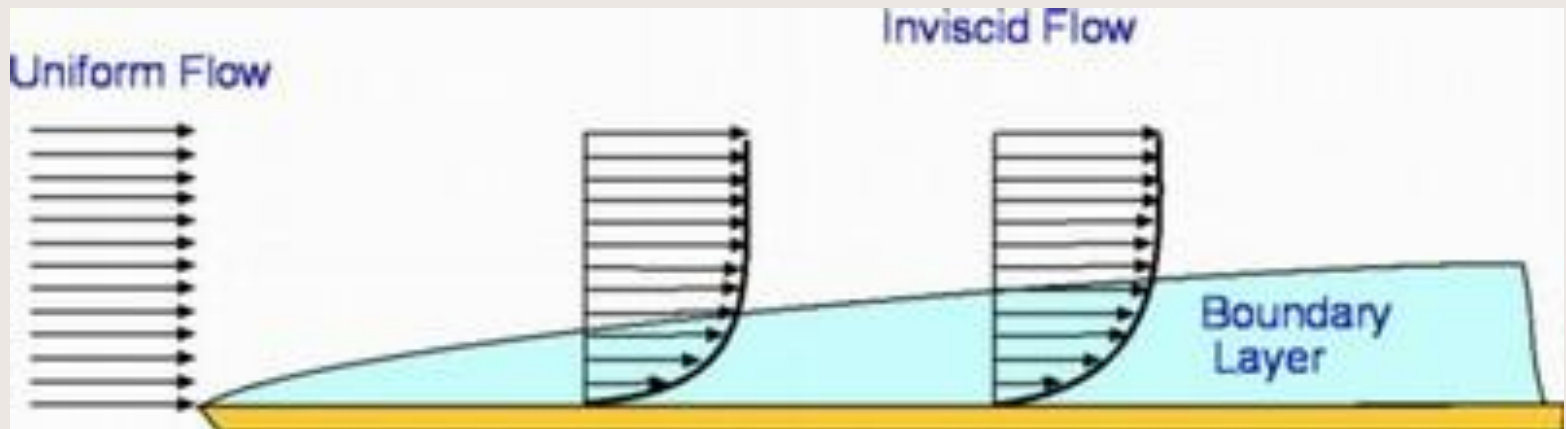
$$\mathcal{R}_e = \frac{\text{fuerzas de inercia}}{\text{fuerzas viscosas}} = \frac{vR_h}{\nu}$$

$R_h$  = Radio Hidráulico

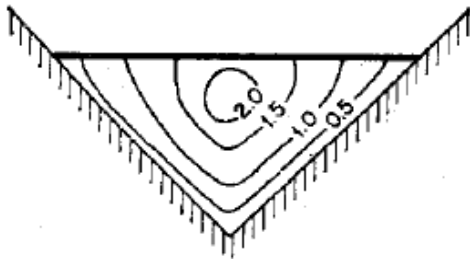
The background of the slide is a spiral-bound notebook with a light-colored, textured cover and a silver metal spiral binding on the left side. The text is centered on the page.

## **2.2.2 Propiedades Hidráulicas de la sección transversal**

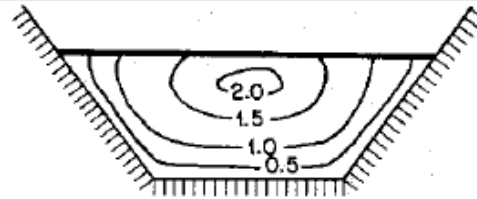
# Análisis del perfil de velocidades



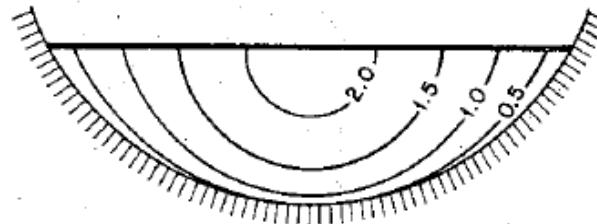
# ISOTACAS



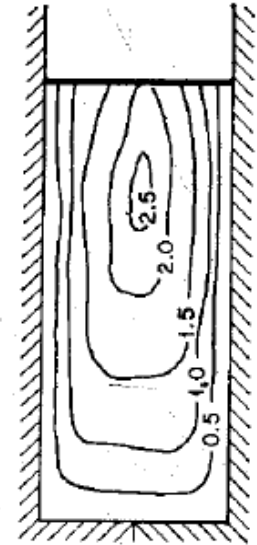
Canal triangular



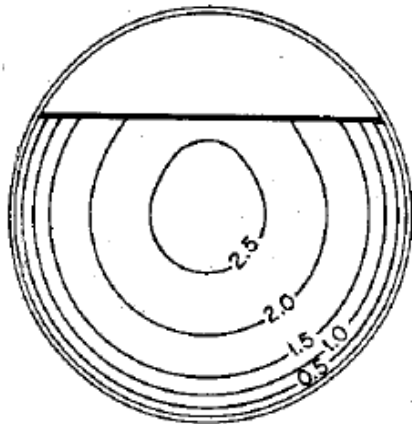
Canal trapezoidal



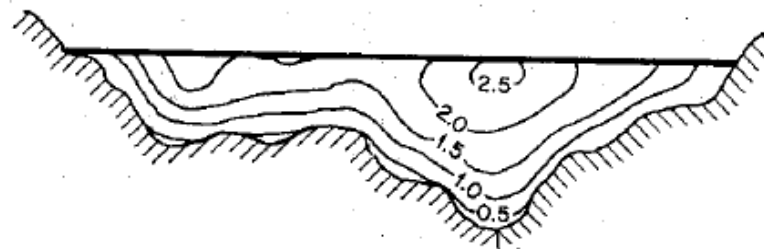
Cuneta poco profunda



Sección rectangular  
angosta

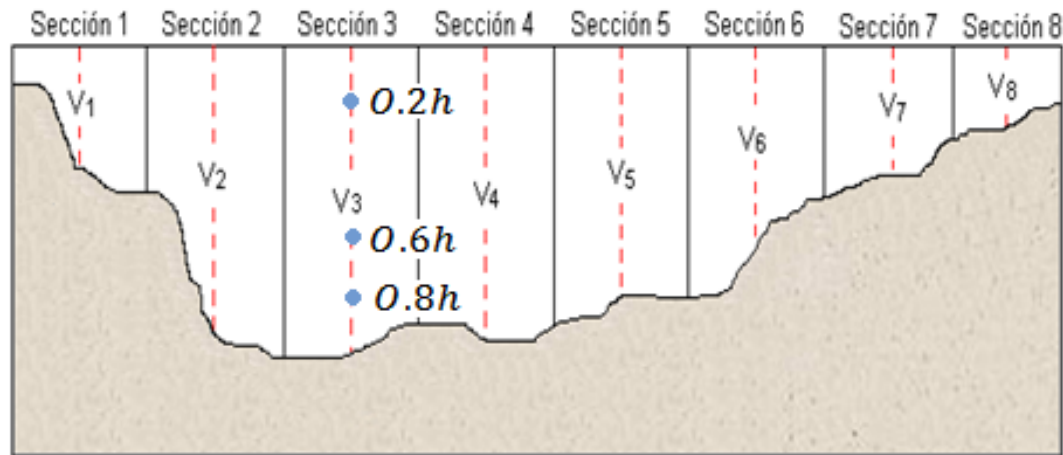


Tubería



Canal natural irregular

# Estimación de la velocidad en un Canal natural



$$V = V_{0.6h}$$

$$V = \frac{V_{0.2h} + V_{0.8h}}{2}$$

$$Q = \sum Q_i = \sum A_i V_i$$

$$V = \frac{V_{0.2h} + 2V_{0.6h} + V_{0.8h}}{4}$$

# ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA EN UN CANAL

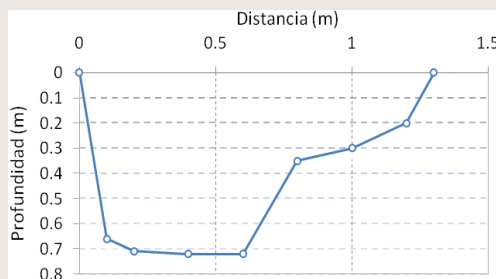


Tabla 2 Datos Aforo líquido

Vertical	Ancho Bi (m)	Prof. H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	V <sub>0.2</sub> (m/s)	V <sub>0.4</sub> (m/s)	V <sub>0.8</sub> (m/s)	Velocidad (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1	0.2	0.66	0.13	0.40	0.38	0.66	0.46	0.060
2	0.2	0.71	0.14	0.53	0.56	0.61	0.57	0.080
3	0.2	0.72	0.14	0.44	0.51	0.55	0.50	0.072
4	0.2	0.72	0.14	0.33	0.36	0.41	0.37	0.053
5	0.3	0.35	0.11		0.35		0.35	0.037
							Total	0.302



# Coeficiente de Boussineq

## CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La ecuación de cantidad de movimiento considerando al agua como un fluido incompresible en un flujo estacionario, a través de un tubo de flujo con "tapas" A1 y A2, es:

$$\frac{d}{dt} \int_D \rho \vec{v} = \int_D \rho \vec{F} + \int_{\partial D} \vec{f} dA = \vec{F}_{Total}$$

Analizando el primer término, resulta que la derivada total de la cantidad de movimiento se puede calcular como:

$$\frac{d}{dt} \int_D \rho \vec{v} = \frac{\partial}{\partial t} \int_D \rho \vec{v} + \int_{\partial D} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA = \int_{A1} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA + \int_{A2} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA$$

Considerando que el flujo es unidimensional y proyectando según la dirección del canal, el flujo de cantidad de movimiento en cada tapa se puede escribir como

$$\vec{e}_1 \cdot \int_A \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA = \int_A \rho v^2 dA = \int_A \rho v^2 dA * \frac{\int_A \rho v_m^2 dA}{\int_A \rho v_m^2 dA} = \frac{\int_A \rho v^2 dA}{\int_A \rho v_m^2 dA} * \int_A \rho v_m^2 dA = \frac{\int_A \rho v^2 dA}{\rho A v_m^2} * \rho A v_m^2$$

Definiendo  $\beta$  = coeficiente de Boussinesq como

$$\beta = \frac{\int_A \rho v^2 dA}{\rho A v_m^2}$$

# Coeficiente de Coriolis (1)

## CALCULO DE LA CARGA DE LA VELOCIDAD – COEFICIENTE DE CORIOLIS.

A efectos prácticos, interesa expresar la carga de velocidad en función de la velocidad media con un coeficiente de corrección alpha, el cual se denomina coeficiente de Coriolis (análogamente al coeficiente de Boussinesq definido anteriormente).

La energía cinética transferida por una determinada sección en un intervalo de tiempo determinado es

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho \delta A v) v^2 = \frac{1}{2} \rho \delta A v^3$$

y por lo tanto, la energía cinética transferida por toda el área de la sección transversal es  $\frac{1}{2} \rho \int v^3 dA$

Si  $v_m$  es la velocidad media del flujo en la sección, entonces el peso del líquido que pasa por la sección en un intervalo de tiempo dado es  $\gamma v_m \int dA = \gamma v_m A$

Por lo tanto, la carga de velocidad (energía cinética específica al peso del fluido) resulta

# Coeficiente de Coriolis (2)

$$\frac{\frac{1}{2} \rho \int v^3 dA}{\gamma v_m \int dA}$$

Definiendo coeficiente de Coriolis ( $\alpha$ ) como el coeficiente de corrección del término cinético resulta

$$\alpha \frac{1}{2g} v_m^2 = \frac{\frac{1}{2} \rho \int v^3 dA}{\gamma v_m \int dA} \frac{v_m^2}{v_m^2},$$

de donde surge el coeficiente de Coriolis:

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{v_m^3 \int dA}$$

Obsérvese que se podría obtener el valor de este coeficiente directamente de la carga total en la sección deducida en el apartado anterior.

# Valores de los coeficientes

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{V^3 A} \approx \frac{\sum v^3 \Delta A}{V^3 A}$$

$$\beta = \frac{\int v^2 dA}{V^2 A} \approx \frac{\sum v^2 \Delta A}{V^2 A}$$

Coefficientes de distribución de velocidad. Chow V. T., 1982.

Canales	Valores de $\alpha$			Valores de $\beta$		
	Mínimo	Promedi o	Máximo	Mínimo	Promedi o	Máximo
• Canales regulares, canaletas y vertederos.	1.10	1.15	1.20	1.03	1.05	1.07
• Corrientes naturales y torrentes.	1.15	1.30	1.50	1.05	1.10	1.17
• Ríos bajo capas de hielo.	1.20	1.50	2.00	1.07	1.17	1.33
• Ríos en valles, crecidos.	1.50	1.75	2.00	1.17	1.25	1.33