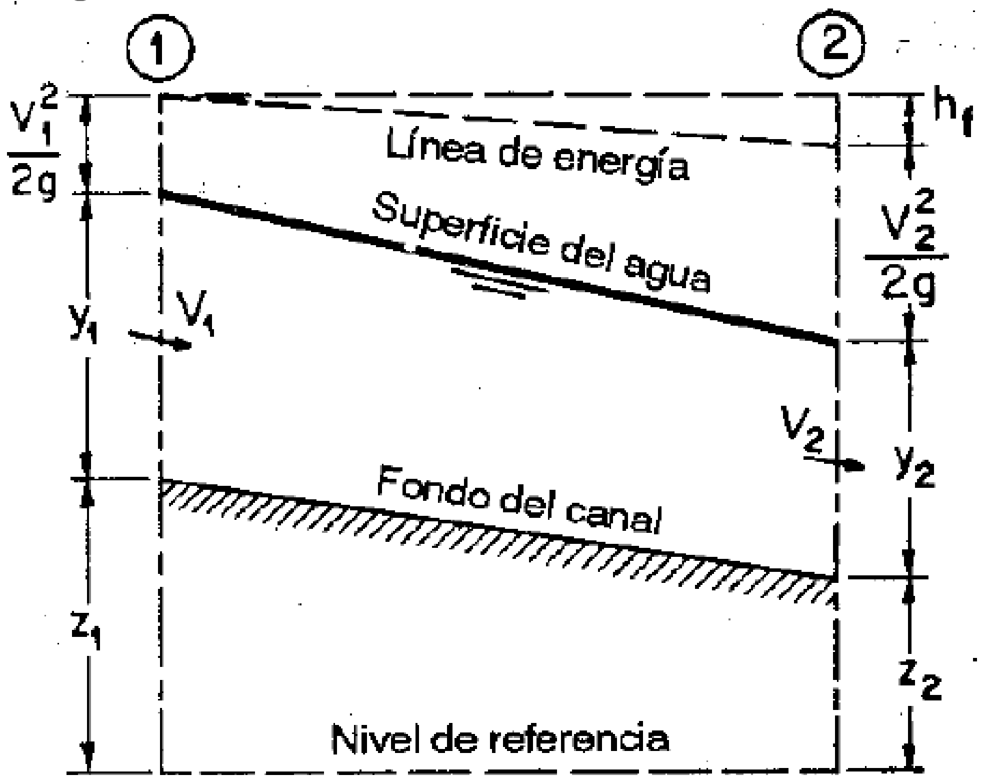
CANALES

Flujo en Superficie Libre

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

1. CANALES

- Un canal es una conducción con una superficie libre, expuesta a la presión atmosférica.
- Debido a que la presión manométrica es cero, la superficie libre coincide con la línea de gradiente hidráulica.



2. GEOMETRÍA DE UN CANAL (1)

- **Profundidad de flujo (y)**; distancia vertical desde el punto más bajo de una sección hasta la superficie libre.

- **Profundidad de flujo de la sección (d)**; distancia perpendicular al fondo, desde el punto más bajo de una sección hasta la superficie libre. Para pendientes pequeñas se puede asumir que **y=d.**

- **Nivel**, es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia hasta la superficie libre.

- **Ancho superficial (T)**, es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

- **Área mojada (A)**, es el área de la sección transversal de flujo perpendicular a la dirección de flujo.

2. GEOMETRÍA DE UN CANAL (2)

- **Perímetro mojado (P)**, es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo.

- **Radio hidráulico (R)**, relación entre el área mojada y el perímetro mojado.

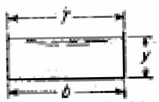
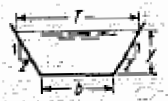
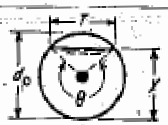
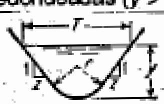
$$R = \frac{A}{P}$$

- **Profundidad hidráulica (D)**, relación entre el área mojada y el ancho superficial.

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

2. GEOMETRÍA DE UN CANAL (3)

Tabla 2-1. Elementos geométricos de secciones de canal

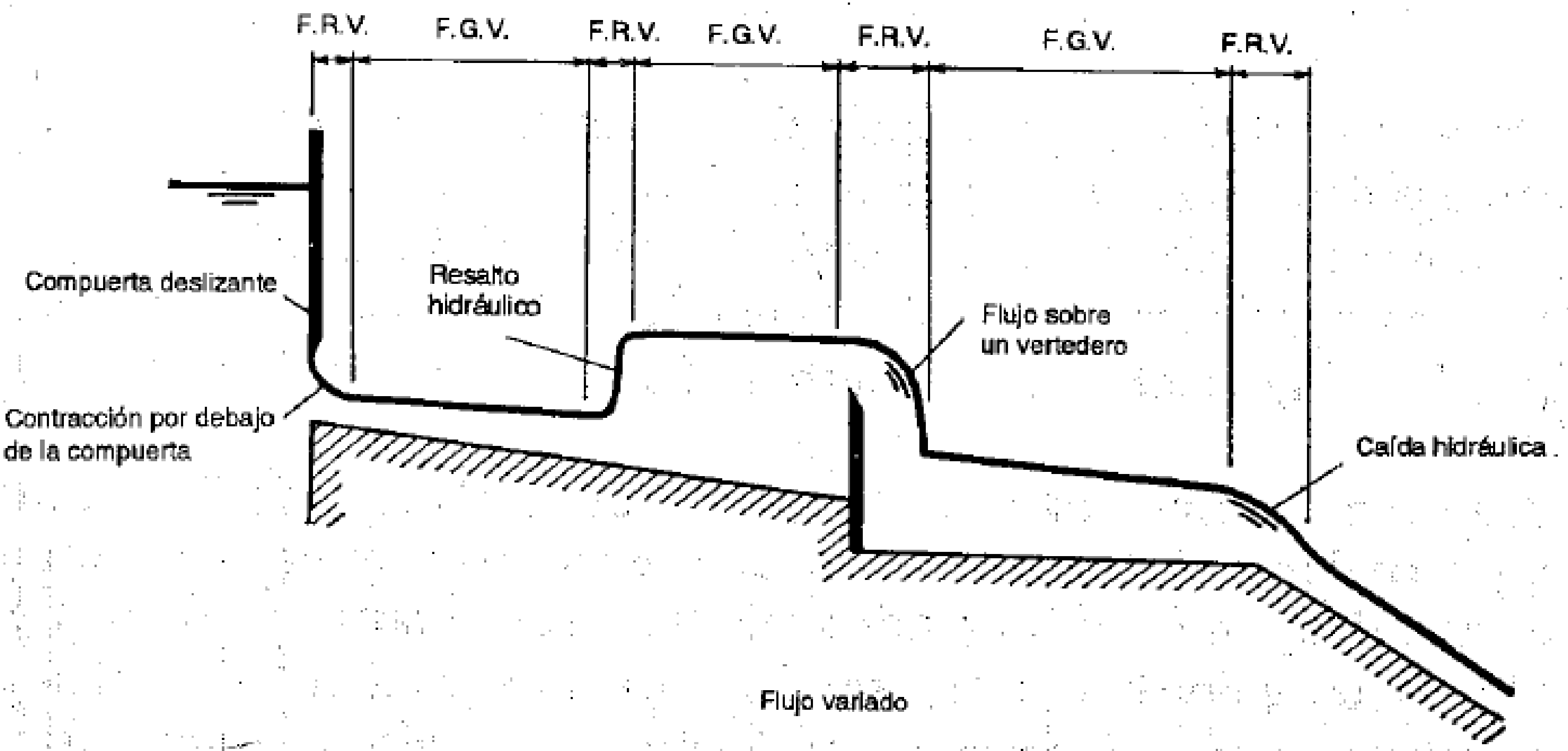
Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y	$by^{1.5}$
 Trapecio	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{[(b+zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2zy}}$
 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	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\,\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen}\,\theta}{\theta}\right)d_0$	$(\text{sen}\,\frac{1}{2}\theta)d_0$ or $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen}\,\theta}{\text{sen}\,\frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta - \text{sen}\,\theta)^{1.5}}{(\text{sen}\,\frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$ *	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$ *	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}\,Ty^{1.5}$
 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	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1+z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

3. TIPOS DE FLUJO EN CANALES (1)

A. Flujo permanente
   1. Flujo uniforme
   2. Flujo variado
      a. Flujo gradualmente variado
      b. Flujo rápidamente variado

B. Flujo no permanente
   1. Flujo uniforme no permanente (raro)
   2. Flujo no permanente (es decir, flujo variado no permanente)
      a. Flujo gradualmente variado no permanente
      b. Flujo rápidamente variado no permanente.

3. TIPOS DE FLUJO EN CANALES (2)



4. VISCOSIDAD Y GRAVEDAD (1)

Efecto de la viscosidad

- Se mide utilizando el número de Reynolds

$$\mathbf{R}^* = \frac{VL}{\nu}$$

donde L es una longitud característica (en el caso de canales es el radio hidráulico), V es la velocidad y ν es la viscosidad cinemática.

- Se dice que el flujo es laminar si R es menor a 500. El flujo es transicional si R<2000 y es turbulento si es mayor a 2000.

4. VISCOSIDAD Y GRAVEDAD (2)

Efecto de la gravedad

- Es evaluada con el número de Froude:

$$\mathbf{F} = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

  donde L es una longitud característica.

- En el caso de canales, L es la *profundidad hidráulica* D, que se define como el área de la sección transversal dividida por la superficie libre. Si el canal es rectangular, la profundidad hidráulica será igual al tirante.

- Si **F**=1, se dice que el flujo es crítico, y:

$$V = \sqrt{gD}$$

4. VISCOSIDAD Y GRAVEDAD (3)

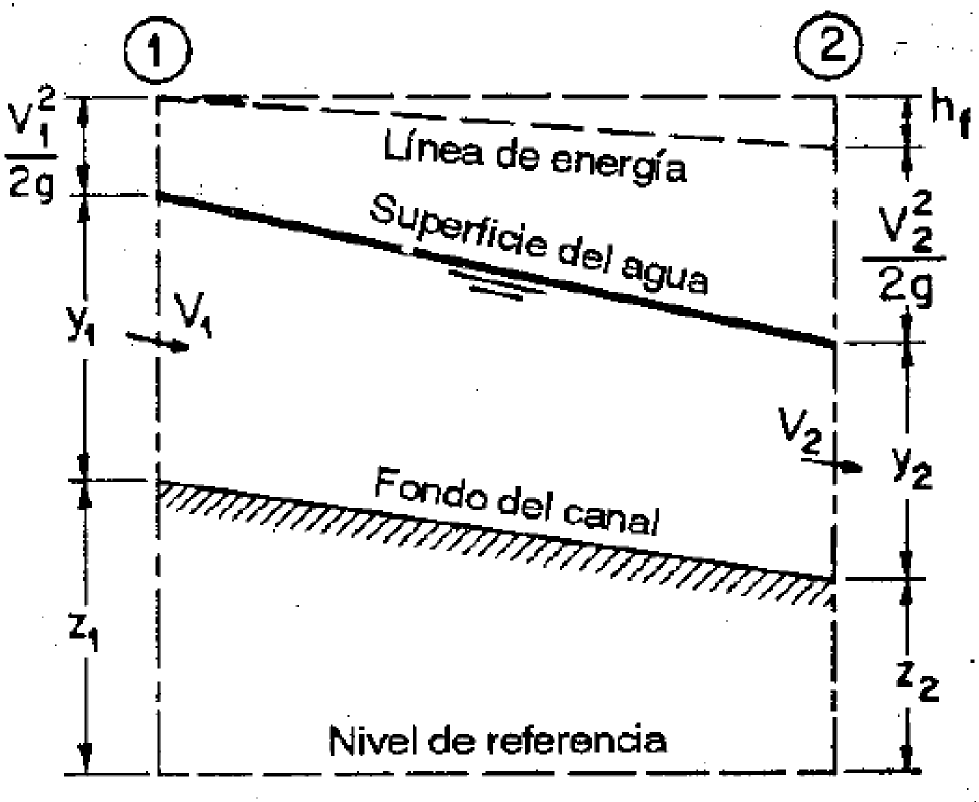
- Si **F**<1, se dice que el flujo es subcrítico, y $V < \sqrt{gD}$. Esto implica que el flujo tendrá velocidades bajas.

- Si **F**>1, se dice que el flujo es supercrítico, y $V > \sqrt{gD}$. Es decir, el flujo tendrá velocidades altas.

EJEMPLO

- Demuestre que el caudal teórico en canales abiertos es:

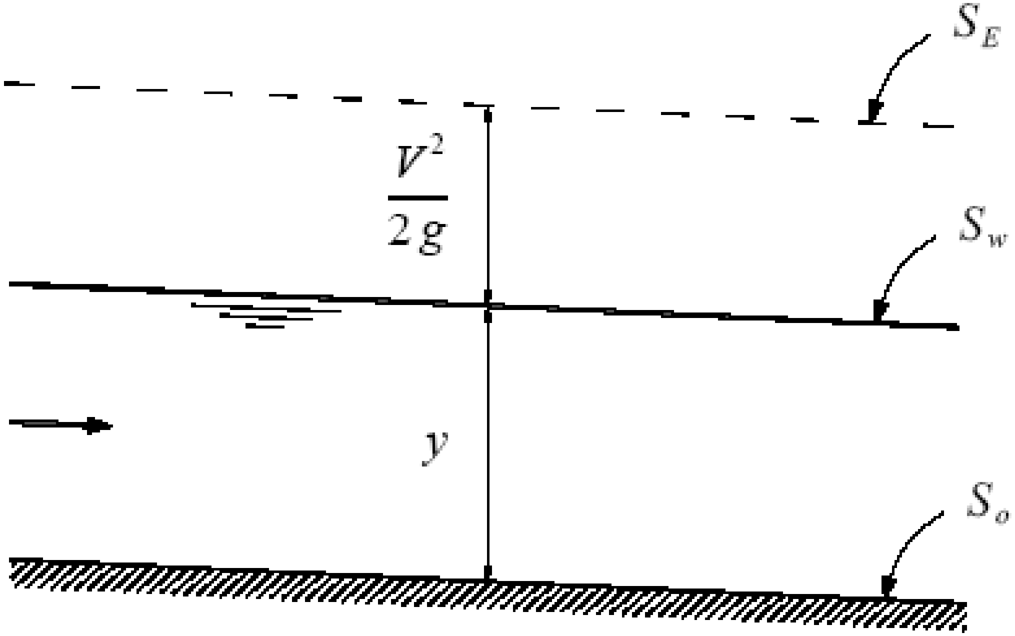
$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(\Delta y - h_f)}{1 - (A_2/A_1)^2}}$$



5. MOVIMIENTO UNIFORME

- Si las pendientes son pequeñas, la profundidad “y”, el área “A”, la velocidad media “V” y el gasto “Q” serán constantes en todas las secciones; y la línea de energía, la superficie libre y el fondo serán líneas paralelas, de modo que sus pendientes serán iguales.

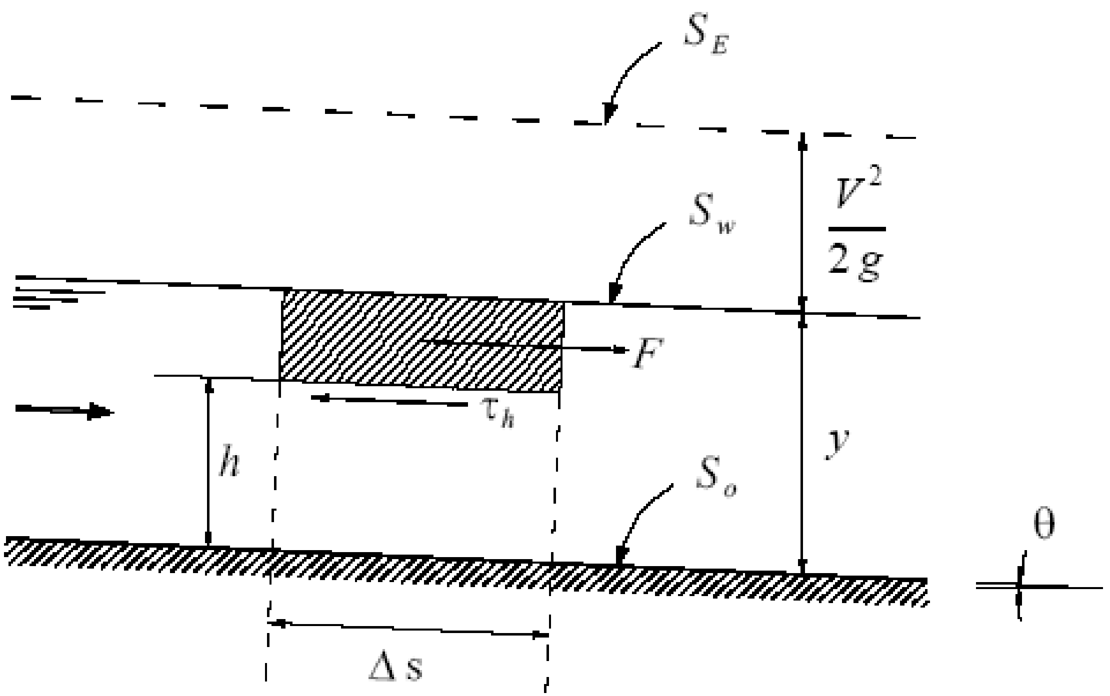
$$S_E=S_W=S_0=S \qquad (1)$$



6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (1)

a) CANAL MUY ANCHO

Las tres pendientes son iguales (S). F es la componente del peso en la dirección del escurrimiento, h es la distancia variable entre el fondo y la parte inferior de la porción achurada, cuya longitud es Δs.



6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (2)

- El volumen por unidad de ancho del elemento fluido achurado:

$$\text{Volumen} = (y-h)\Delta s$$

- Su peso

$$\mathbf{Peso} = \boldsymbol{\rho g (y-h)\ \Delta s}$$

- La componente del peso en la dirección del escurrimiento es

$$\text{Peso}_x = \rho g(y-h)\ \Delta s\ \text{sen}\theta$$

- Para θ muy pequeño (cosθ =1), senθ=S; luego:

$$\rho g(y-h)\ \Delta s\ S$$

6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (3)

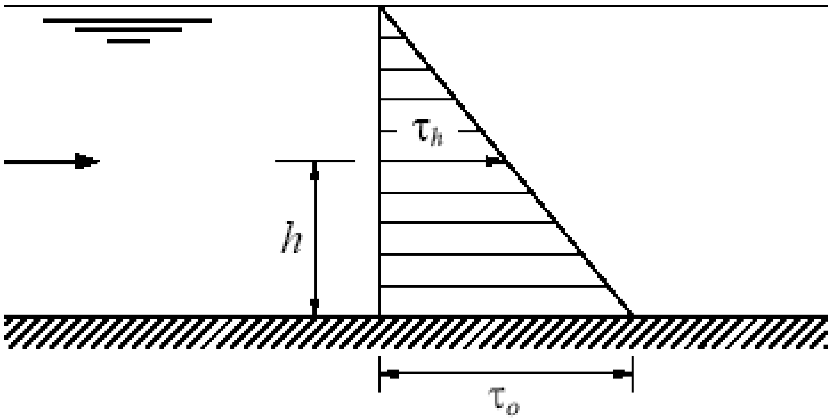
- La componente del peso en la dirección del escurrimiento debe ser equilibrada por el corte total, que es producto del esfuerzo unitario de corte τ_h por el área en que actúa.

$$\tau_h \,.\Delta s = \rho g(y-h)\, \Delta s\, S$$

- De donde:

$$\tau_h = \rho g(y-h)\, S \quad (2)$$

- La distribución del esfuerzo de corte es lineal.



6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (4)

- El esfuerzo de corte sobre el fondo (h= 0):

$$\tau_o = \gamma \; y \; S \quad (3)$$

- Como en un canal muy ancho el tirante es igual al radio hidráulico

$$\tau_o = \gamma \; R \; S \quad (3)$$

- “El esfuerzo de corte sobre el fondo es igual al producto del peso especifico del fluido, por el radio hidráulico y por la pendiente”.

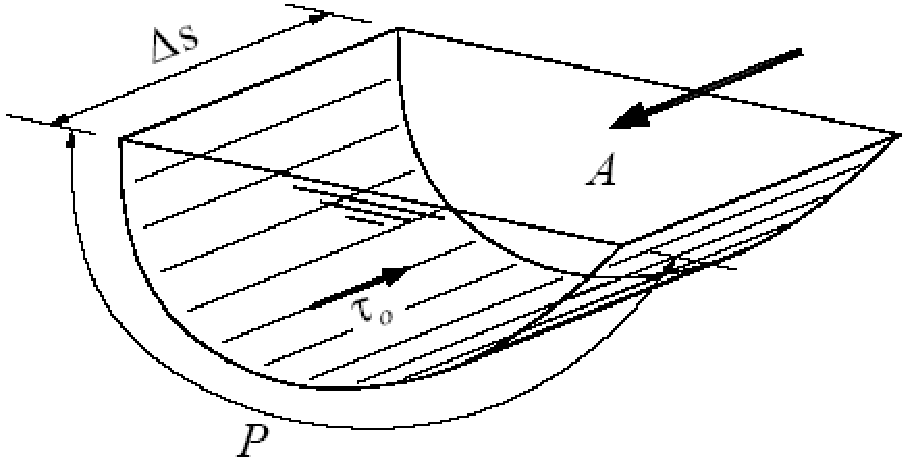
6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (5)

b) CANAL DE CUALQUIER GEOMETRÍA

- Sea dos secciones de un canal, ubicadas a una distancia Δs. La componente del peso de la masa fluida, en la dirección del escurrimiento es

$$\rho g A S \Delta s$$

donde ρ es la densidad del fluido, g es la aceleración de la gravedad, A la sección tra



6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (6)

- Esta fuerza debe ser equilibrada por el corte total (en este caso el esfuerzo de corte sobre el fondo no es constante), que tiene por expresión

$$\left[\int^{P} \tau_0 \, dP\right] \Delta s$$

donde P es el perímetro mojado, τo es el esfuerzo de corte sobre el fondo.

- Esta expresión puede ap por

$$P\overline{\tau_0}\,\Delta s$$

- Igualando el peso y el esf rte total se obtiene

$$\overline{\tau_0} = \rho\, g \frac{A}{P} S$$

6. ESFUERZO CORTANTE EN UN CANAL (7)

- De donde se obtiene nuevamente que

$$\overline{\tau_0} = \gamma RS$$

- Esto significa que el esfuerzo medio de corte sobre el fondo de un canal es igual al producto del peso especifico del fluido, por el radio hidráulico y por la inclinación de la línea de energía.

7. DISTRIBUCIÓN VELOCIDADES

<table>
<tr><th>Contorno Hidráulicamente Rugoso</th><th>Contorno Hidráulicamente Liso</th></tr>
<tr><td>Condición
$k \geq 6\delta$ de aquí $\frac{v_* k}{\nu} \geq 70$
Donde:
k: tamaño medio de irregularidades.
δ: espesor de la subcapa laminar.
v_*: velocidad de corte
ν : viscosidad cinemática
siendo: $\delta = 11.6 \nu / v_*$ y $v_* = (g.R_H.S)^{1/2}$</td><td>Condición
$k \leq 0.4\delta$ de aquí $\frac{v_* k}{\nu} \leq 5$
Donde:
k: tamaño medio de irregularidades.
δ: espesor de la subcapa laminar.
v_*: velocidad de corte
ν : viscosidad cinemática
siendo: $\delta = 11.6 \nu / v_*$ y $v_* = (g.R_H.S)^{1/2}$</td></tr>
<tr><td>Distribución de Velocidades
$V_h = \frac{v_*}{\chi} \ln\left(\frac{30h}{k}\right)$</td><td>Distribución de Velocidades
$v_h = \frac{v_*}{\chi} \ln \frac{104\,h}{\delta}$</td></tr>
<tr><td>Velocidad Media
$V = \frac{v_*}{\chi} Ln \frac{11R}{k}$</td><td>Velocidad Media
$V = \frac{v_*}{\chi} Ln \frac{38.3R}{\delta}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Para Flujos Hidráulicamente Lisos y turbulentos:
Velocidad Media
$V = 18 \log\left(\frac{6R}{k/2 + \delta/7}\right)\sqrt{RS}$
o bien:
$V = C\sqrt{RS}$ donde $C = 18 \log\left(\frac{6R}{k/2 + \delta/7}\right)$ También llamada ecuación de Chezy</td></tr>
</table>

EJEMPLO 1

Demostrar que el promedio de las velocidades a 0,2 y 0,8 del tirante en un canal muy ancho con flujo turbulento es igual a la velocidad a 0,6 del tirante (midiendo el tirante a partir de la superficie).

EJEMPLO 2

Un canal de concreto ($k = 4x10^{-4}$ m) se usa para transportar agua. El ancho en el fondo es de 4 m y el ancho superficial es de 12 m. El tirante es de 3 m. La pendiente del fondo es 0,2 m por 100.

Considerando que la viscosidad cinemática del agua es $1,4x10^{-6}$ m^2/s, a) decir si las paredes son lisas o rugosas, b) calcular el gasto, c) calcular el esfuerzo de corte medio sobre el fondo.

EJEMPLO 3

En un río muy ancho, cuyo fondo se supone constituido por partículas de diámetro uniforme k, el tirante es de 2 m. El gasto por unidad de ancho es de 4 $m^3/s/m$. Se ha medido la velocidad superficial encontrándose que su valor es de 2,50 m/s. Calcular la rugosidad absoluta k y la velocidad de corte.