Aula 7. Energia específica aplicada ao problema da redução de largura.

Hidráulica II

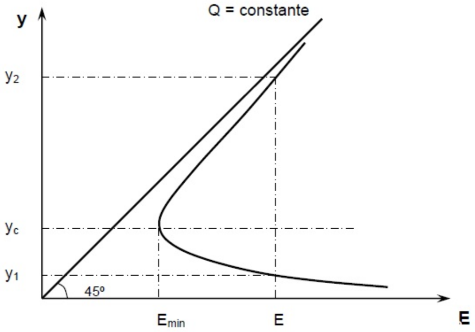
Maria M. Gamboa

1º Semestre de 2019. 23/04/2019

...da aula anterior. Energia específica, E

Para canal qualquer: $E = y + \dfrac{V^2}{2g} = y + \dfrac{Q^2}{2gA^2}$

Para um canal retangular: $E = y + \dfrac{q^2}{2gy^2}$



...da aula anterior

Analisando o conceito de energia específica

- Diferente Q gera diferente curva, mesmas assintotas.

...da aula anterior

Analisando o conceito de energia específica

- Diferente Q gera diferente curva, mesmas assintotas.
- Mesma seção, igual E, pode escoar a vazão Q de duas formas: Subcrítico (y_1) ou supercrítico (y_2). $y_1 > y_2$
  y_1 e y_2 : alturas alternadas.

Analisando o conceito de energia específica

- Diferente Q gera diferente curva, mesmas assintotas.
- Mesma seção, igual E, pode escoar a vazão Q de duas formas: Subcrítico (y_1) ou supercrítico (y_2). $y_1 > y_2$
  y_1 e y_2 : alturas alternadas.
- Existe E_{min} para escoar Q. Ou Q_{max} que pode escoar com E.
  $\rightarrow$ escoamento crítico
  $Fr = 1 \quad ; E_{min} = E_c \quad ; y_1 = y_2 = y_c \quad ; V_c$

...da aula anterior

Analisando o conceito de energia específica

- Diferente Q gera diferente curva, mesmas assintotas.
- Mesma seção, igual E, pode escoar a vazão Q de duas formas: Subcrítico (y_1) ou supercrítico (y_2). $y_1 > y_2$
  y_1 e y_2 : alturas alternadas.
- Existe E_{min} para escoar Q. Ou Q_{max} que pode escoar com E.
  $\rightarrow$ escoamento crítico
  $Fr = 1 \quad ; E_{min} = E_c \quad ; y_1 = y_2 = y_c \quad ; V_c$
- Em canal retangular:
  $y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad ; E_c = \frac{3}{2} y_c \quad ; V_c = \sqrt{g y_c}$

Analisando o conceito de energia específica

- Diferente Q gera diferente curva, mesmas assintotas.
- Mesma seção, igual E, pode escoar a vazão Q de duas formas: Subcrítico (y_1) ou supercrítico (y_2). $y_1 > y_2$
  y_1 e y_2 : alturas alternadas.
- Existe E_{min} para escoar Q. Ou Q_{max} que pode escoar com E.
  $\rightarrow$ escoamento crítico
  $Fr = 1 \quad ; E_{min} = E_c \quad ; y_1 = y_2 = y_c \quad ; V_c$
- Em canal retangular:
  $y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad ; E_c = \frac{3}{2}y_c \quad ; V_c = \sqrt{gy_c}$
- Escoamento uniforme (e permanente):
  Escoamento com a altura alternada que corresponde ao regime...

Escoamento crítico

Escoamento com E, q, pode ser transportada em regimes diferentes. O escoamento uniforme, porém, é um para cada canal (com E, q, seção, n,, I)

Escoamento crítico

Escoamento com E, q, pode ser transportada em regimes diferentes. O escoamento uniforme, porém, é um para cada canal (com E, q, seção, n,, I)

Escoamento uniforme em regime crítico. Canal retangular largo:

Escoamento crítico

Escoamento com E, q, pode ser transportada em regimes diferentes. O escoamento uniforme, porém, é um para cada canal (com E, q, seção, n,, I)

Escoamento uniforme em regime crítico. Canal retangular largo:

$$\text{Equação de Manning: } qb = \frac{(by_c)}{n} y_c^{2/3} I_c^{1/2}$$

$$I_c = \frac{(n\,q)^2}{y_c^{10/3}} = \frac{gn^2}{y_c^{1/3}}$$

Escoamento crítico

Escoamento com E, q, pode ser transportada em regimes diferentes. O escoamento uniforme, porém, é um para cada canal (com E, q, seção, n,, I)
Escoamento uniforme em regime crítico. Canal retangular largo:

$$\text{Equação de Manning: } qb = \frac{(by_c)}{n} y_c^{2/3} I_c^{1/2}$$
$$I_c = \frac{(n\,q)^2}{y_c^{10/3}} = \frac{gn^2}{y_c^{1/3}}$$

- $I_0 = I_c$: Declividade crítica (C), escoamento uniforme crítico.
- $I_0 < I_c$: Fraca declividade (M), escoamento subcrítico.
- $I_0 > I_c$: Forte declividade (S), escoamento uniforme supercrítico.
- (Depois consideraremos seções de controle)

Exemplo

Seja um canal longo retangular com largura igual a $1.0m$ e coeficiente de rugosidade de Manning de 0.010. Nele há, numa determinada seção, uma mudança de declividade de fundo.
As profundidades normais do escoamento a montante e jusante dessa seção de mudança são $0.40m$ e $0.20m$, respectivamente. A declividade a montante da mudança é $I_0 = 0.005m/m$.
Determine o tipo de escoamento uniforme nos dois trechos.

Transições

Conceito de energia específica é útil para estudar o comportamento do escoamento em transições.
Baseado no balanço de energia (total):

Transições

Conceito de energia específica é útil para estudar o comportamento do escoamento em transições.
Baseado no balanço de energia (total):

$$H_1 = H_2 + I_f L_{1-2}$$
$$E_1 + Z_1 = E_2 + Z_2 + I_f L_{1-2}$$
$$E_1 = E_2 - (Z_1 - Z_2) + I_f L_{1-2}$$

Se uniforme (e fundo reto): $E_1 = E_2$

Se fundo plano e 'sem' perdas (curto): $E_1 = E_2$

Transições

Conceito de energia específica é útil para estudar o comportamento do escoamento em transições.
Baseado no balanço de energia (total):

$$
\begin{aligned}
H_1 &= H_2 + I_f L_{1-2} \\
E_1 + Z_1 &= E_2 + Z_2 + I_f L_{1-2} \\
E_1 &= E_2 - (Z_1 - Z_2) + I_f L_{1-2}
\end{aligned}
$$

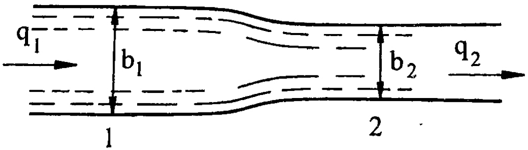
Se uniforme (e fundo reto): $E_1 = E_2$

Se fundo plano e 'sem' perdas (curto): $E_1 = E_2$

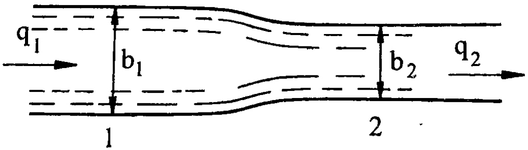
Algumas transições comuns:

- Redução na largura do canal (Calha Parshall)
- Elevação no nível de fundo (Vertedor parede espessa)

Redução na largura do canal



Redução na largura do canal

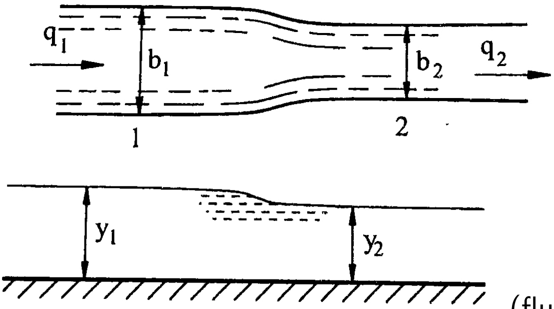


$$Q = cte \quad \rightarrow \quad b_2 < b_1 \quad \rightarrow \quad q_2 > q_1$$

Supondo sem perdas locais e $z_2 \simeq z_1 \quad \rightarrow \quad E_1 = E_2$

$$y_2 \, ? \, y_1$$

Redução na largura do canal



(fluvial)

$$Q = cte \quad \rightarrow \quad b_2 < b_1 \quad \rightarrow \quad q_2 > q_1$$

Supondo sem perdas locais e $z_2 \simeq z_1 \quad \rightarrow \quad E_1 = E_2$

$$y_2 \, ? \, y_1$$

Redução na largura do canal

- Redução 'pequena', $E_1 = E_2$ inalterada. $E_2 > E_{min.q2}$

Redução na largura do canal

- Redução 'pequena', $E_1 = E_2$ inalterada. $E_2 > E_{min.q2}$
    - Se 1 é fluvial:
    $$y_1 > y_2 > y_{c2}$$
    - Se 1 é torrencial:
    $$y_1 < y_2 < y_{c2}$$

Redução na largura do canal

- Redução 'pequena', $E_1 = E_2$ inalterada. $E_2 > E_{min.q2}$
  - Se 1 é fluvial:

    $$y_1 > y_2 > y_{c2}$$

  - Se 1 é torrencial:

    $$y_1 < y_2 < y_{c2}$$

- Redução maior, limite $E_1 = E_2$. $E_2 = E_{min.q2} = E_{c2}$
  - Se 1 é fluvial:

    $$y_1 > y_2 = y_{c2}$$

Redução na largura do canal

- Redução 'pequena', $E_1 = E_2$ inalterada. $E_2 > E_{min.q2}$
  - Se 1 é fluvial:
    $$y_1 > y_2 > y_{c2}$$
  - Se 1 é torrencial:
    $$y_1 < y_2 < y_{c2}$$
- Redução maior, limite $E_1 = E_2$. $E_2 = E_{min.q2} = E_{c2}$
  - Se 1 é fluvial:
    $$y_1 > y_2 = y_{c2}$$
  - Se 1 é torrencial:
    $$y_1 < y_2 = y_{c2}$$
- Redução maior, $E_1 < E_{c2} \rightarrow$ insuficiente. $E_1^* = E^* = E_{c2}$

Redução na largura do canal

- Redução 'pequena', $E_1 = E_2$ inalterada. $E_2 > E_{min.q2}$
  - Se 1 é fluvial:
    $$y_1 > y_2 > y_{c2}$$
  - Se 1 é torrencial:
    $$y_1 < y_2 < y_{c2}$$
- Redução maior, limite $E_1 = E_2$. $E_2 = E_{min.q2} = E_{c2}$
  - Se 1 é fluvial:
    $$y_1 > y_2 = y_{c2}$$
  - Se 1 é torrencial:
    $$y_1 < y_2 = y_{c2}$$
- Redução maior, $E_1 < E_{c2} \rightarrow$ insuficiente. $E_1^* = E^* = E_{c2}$
  - Se 1 é fluvial:
    Remanso. $y_1^* > y_1$ e $y_2^* = y_c$

Redução na largura do canal

- Redução 'pequena', $E_1 = E_2$ inalterada. $E_2 > E_{min.q2}$
  - Se 1 é fluvial:

    $$y_1 > y_2 > y_{c2}$$
  - Se 1 é torrencial:

    $$y_1 < y_2 < y_{c2}$$
- Redução maior, limite $E_1 = E_2$. $E_2 = E_{min.q2} = E_{c2}$
  - Se 1 é fluvial:

    $$y_1 > y_2 = y_{c2}$$
  - Se 1 é torrencial:

    $$y_1 < y_2 = y_{c2}$$
- Redução maior, $E_1 < E_{c2} \rightarrow$ insuficiente. $E_1^* = E^* = E_{c2}$
  - Se 1 é fluvial:

    Remanso. $y_1^* > y_1$ e $y_2^* = y_c$
  - Se 1 é torrencial:

    Ressalto hidráulico. Perda de energia.

Exercício

Água está escoando com uma velocidade média de $1.0m/s$ e altura d'água de $1.0m$ em um canal retangular de $2.0m$ de largura. Determine a nova altura d'água produzida por:

a) uma contração suave para uma largura de $1.7m$

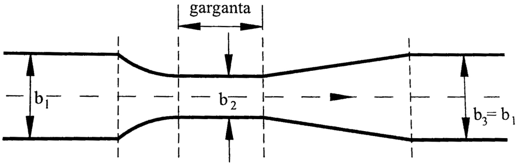
b) uma expansão suave para uma largura de $2.3m$

c) Calcule a maior contração admissível na largura, para não alterar as condições do escoamento a montante.

Calha medidora de vazão

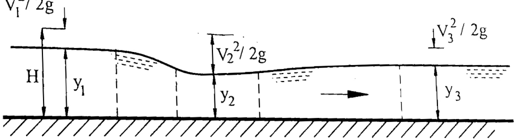
Efeito na altura devido à redução de largura depende de $Q \rightarrow$ medidores de vazão.

- Se redução não faz mudar energia e entrada é fluvial
  Calha Venturi. Comum para irrigação.
- Se redução da largura pasa do crítico $\rightarrow$ seção de controle por crítico, $y_c \rightarrow$ medidores de regime crítico
  Calha Parshall. Em estações de tratamento.



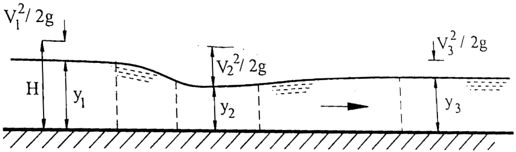
Calha Venturi (medidora de vazão)

Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)



Calha Venturi (medidora de vazão)

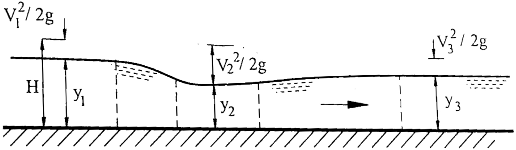
Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)



$$y_1 + \frac{Q^2}{2g(b_1 y_1)^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2g(b_2 y_2)^2}$$

Calha Venturi (medidora de vazão)

Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)



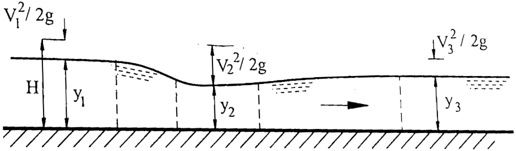
$$y_1 + \frac{Q^2}{2g(b_1 y_1)^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2g(b_2 y_2)^2}$$

$$\rightarrow \quad Q = y_2 b_2 \sqrt{\frac{2g(y_1 - y_2)}{(1 - (y_2 b_2 / y_1 b_1)^2)}}$$

agregando C_d: $$Q = C_d y_2 b_2 \sqrt{\frac{2g(y_1 - y_2)}{(1 - (y_2 b_2 / y_1 b_1)^2)}}$$

Calha Venturi (medidora de vazão)

Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)

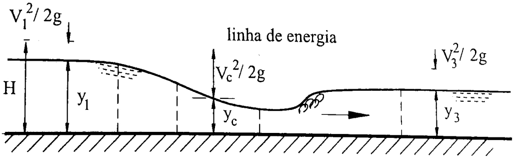


agregando C_d: $$Q = C_d y_2 b_2 \sqrt{\frac{2g(y_1 - y_2)}{(1 - (y_2 b_2 / y_1 b_1)^2)}}$$

C_d: Coeficiente de vazão, por perda de carga e não uniformidade da velocidade. Aproximadamente 0.97

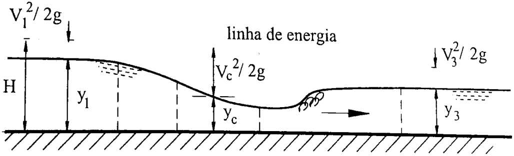
Calha Parshall (calha de onda estacionaria medidora de vazão)

Contração até largura menor à limite $\rightarrow$ mudança de E $\rightarrow y_2 = y_c$
Precisa de somente uma medida, y_1



Calha Parshall (calha de onda estacionaria medidora de vazão)

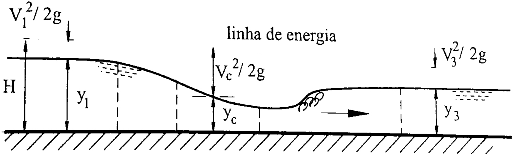
Contração até largura menor à limite $\rightarrow$ mudança de E $\rightarrow y_2 = y_c$
Precisa de somente uma medida, y_1



$$y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = E_{c2} = \frac{3}{2}y_{c2} = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

Calha Parshall (calha de onda estacionaria medidora de vazão)

Contração até largura menor à limite → mudança de $E \rightarrow y_2 = y_c$
Precisa de somente uma medida, y_1



$$y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = E_{c2} = \frac{3}{2}y_{c2} = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$\text{se : } \frac{q_1^2}{2gy_1^2} << y_1 \quad \rightarrow q_2 = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\sqrt{g}y_1^{3/2}$$

$$Q = 1.704\, b_2\, y_1^{3/2}$$

Exercicio

Exercicio