

Capítulo 92

Curvas na vertical e horizontal e superelevação em curvas

Curvas na vertical e horizontal e superelevação em curvas

Capítulo 92- Curvas na vertical e horizontal e superelevação em curvas

92.1 Introdução

- As justificativas para a adoção de uma borda livre (*freeboard*) são:
- **Curvas** em canais e rios que produzem uma superelevação,
- **Ventos**,
- **Ressaltos hidráulicos** e
- **Instabilidade** do veio líquido.

92.2 *Freeboard*

French, 2007 recomenda como estimativa preliminar do *freeboard* a seguinte equação:

$$F = (C.y)^{0,5}$$

Sendo:

F= altura do *freeboard* (m)

y= altura do nível de água (m)

C= coeficiente que varia de 1,5 para 0,57m³/s para 2,5 para 85m³/s. Os valores de C são obtidos por interpolação

Exemplo 92.1

Calcular o *freeboard* para um canal com vazão de 43m³/s e altura y=1,20m.

Fazendo uma interpolação entre C=1,5 a C=2,5 teremos C=2.

$$F = (C.y)^{0,5}$$

$$F = (2 \times 1,20)^{0,5}$$

$$F = 1,55\text{m}$$

92.3 Superelevação em curvas horizontais

Subramanya, 2009 mostra equação para escoamento subcrítico:

$$E = (V^2 \cdot B) / (g.r)$$

Exemplo 92.2

Calcular a superelevação de um canal com V=1,8m/s largura B=80m e raio de curvatura de 500m.

$$E = (V^2 \cdot B) / (g.r)$$

$$E = (1,8^2 \times 80) / (9,81 \times 500) = 0,053\text{m}$$

Quando o escoamento em um canal ou rio for subcrítico a superelevação E pode ser calculada conforme Subramanya, 2009 pelas seguintes equações.

Canal retangular

$$E = (3 \cdot V^2 \cdot B) / (4 \cdot g \cdot r)$$

Sendo:

E= altura máxima que a água atinge acima do nível do escoamento y_0 (m)

V= velocidade média na seção (m/s)

B= largura da seção (m)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ = aceleração da gravidade

r= raio da curva medido do centro do canal (m)

Exemplo 92.3

Calcular a superelevação de um canal retangular com $V=1,8 \text{ m/s}$ largura $B=80 \text{ m}$ e raio de curvatura de 500 m .

$$E = (3 \cdot V^2 \cdot B) / (4 \cdot g \cdot r)$$

$$E = (3 \times 1,8^2 \times 80) / (4 \times 9,81 \times 500) = 0,04 \text{ m}$$

Canal trapezoidal

$$E = V^2 (B + 2 \cdot z \cdot y_0) / (2 (g \cdot r - 2 \cdot z \cdot V^2))$$

Sendo:

y_0 = altura do nível de água (m)

z = declividade do talude.

Exemplo 92.4

Calcular a superelevação de um canal trapezoidal com talude 1 (V): 2 (H) ($z=2$); $V=1,8 \text{ m/s}$ largura $B=80 \text{ m}$ e raio de curvatura de 500 m .

$$E = V^2 (B + 2 \cdot z \cdot y_0) / (2 (g \cdot r - 2 \cdot z \cdot V^2))$$

$$E = 1,8^2 (80 + 2 \times 2 \times 1,2) / (2 (9,81 \times 500 - 2 \times 2 \times 1,8^2)) = 0,03 \text{ m}$$

92.4 Raio de curvatura para curvas horizontais

Segundo French, 2007 não há uma regra para estimar o mínimo raio de curvatura.

Na Índia o mínimo raio de curvatura é 91 m para canais com vazões de $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ e raio de 1500 m para vazões maiores que $85 \text{ m}^3/\text{s}$.

Khatsuria, 2005 recomenda o raio mínimo de curvatura aceitável para canal com seção retangular os estudos de Wes, 1970.

$$R_{\min} = 4 V^2 B / g \cdot y$$

Exemplo 92.5

Calcular a superelevação de um canal, $V=1,8\text{m/s}$ largura $B=80\text{m}$ e $y=1,20\text{m}$.
Calcular o raio mínimo de curvatura de 500m .

$$R_{\min} = 4 V^2 B / g.y$$
$$R_{\min} = 4 \times 1,8^2 \times 80 / (9,81 \times 1,20) = 88,00\text{m}$$

Máxima superelevação

$$E_{\max} = 0,09. B$$

Exemplo 92.6

Calcular a máxima superelevação em um canal com 80m de largura.

$$E_{\max} = 0,09. B$$
$$E_{\max} = 0,09 \times 80 = 7,2\text{m}$$

Khatsuria, 2005 recomenda que o mínimo comprimento de transição de cada lado da curva seja dado pela equação:

$$L_t = 20 \times E$$

Sendo:

L_t = comprimento de transição em metros de cada lado da curva

E = superelevação na curva (m)

Exemplo 92.7

Calcular o comprimento mínimo de transição para superelevação de $0,50\text{m}$.

$$L_t = 20 E$$
$$L_t = 20 \times 0,50 = 10,00\text{m}$$

Khatsuria, 2005 conforme Figura (92.1) informa ainda que se pode usar dois raios de curvatura (R_t e R_c) da seguinte maneira:

$$= 2. t + c$$

Sendo: t

$$t = \tan^{-1} [b / \tan \alpha_1 / (R_t + b/2)]$$

Sendo:

$R_t = 2.R_c$

R_c = raio da curva central (m)

F_1 = número de Froude do escoamento no começo da curva

$$\alpha_1 = \sin^{-1} (1/F_1)$$

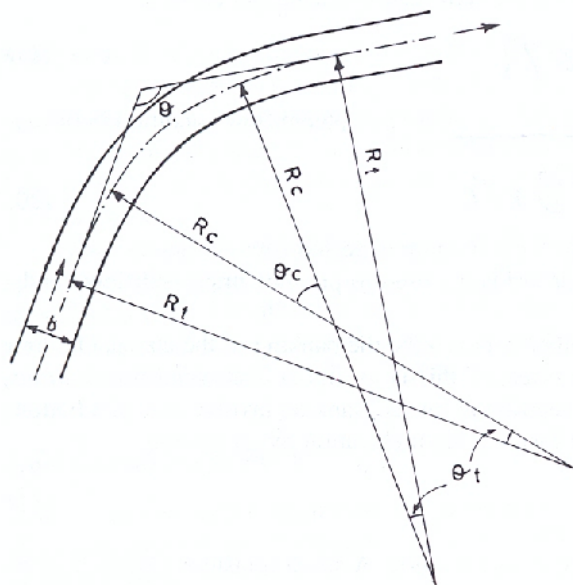


Figura 92.1- Curva composta de dois raios
Fonte: Khatsuria, 2005

92.5 Superelevação conforme French para curvas horizontais

Uma equação que fornece uma estimativa boa da superelevação de um canal em curva conforme French, 2007 é:

$$E = (V^2 / g) [20R / 3.B - 16R^3 / B^3 + (4R^2 / B^2 - 1)^2 \ln((2R+B) / (2R-B))]$$

Exemplo 92.4

Calcular a superelevação de um canal, $V=1,8\text{m/s}$. largura $B=80\text{m}$ e raio de curvatura de 500m .

$$E = (V^2 / g) [20R / 3.B - 16R^3 / B^3 + (4R^2 / B^2 - 1)^2 \ln((2R+B) / (2R-B))]$$
$$E = (1,8^2 / 9,81) [20 \times 500 / 3 \times 80 - 16 \times 500^3 / 80^3 + (4 \times 500^2 / 80^2 - 1)^2 \ln((2 \times 500 + 80) / (2 \times 500 - 80))] = 0,028\text{m}$$

92.6 Curvas verticais concavas

O raio de curvatura é circular e deve ser maior que $10 y_1$, sendo que y_1 é a altura do nível de água a montante.

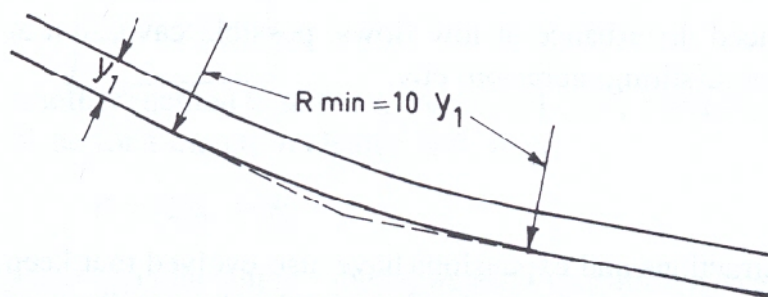


Figura 92.2- Curva vertical côncava
Fonte: Khatsuria, 2005

92.7 Curva vertical convexa

Conforme Khatsuria, 2005 a curva vertical convexa deve ser suave para manter pressões positivas e que evite separação do escoamento no fundo do canal. A curvatura pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$y = x \cdot \tan \theta + \frac{x^2}{K[4(y_1 + hv) \cos^2 \theta]}$$

Sendo:

= ângulo do piso do trecho que vem de montante com o trecho de jusante

K= coeficiente igual ou maior que 1,5

hv= pressão devido a velocidade no inicio da curvatura (m/s)

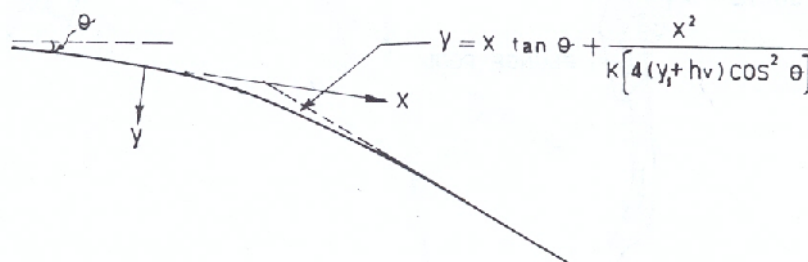


Figura 92.3- Curva vertical convexa
Fonte: Khatsuria, 2005

92.8 Bibliografia e livros recomendados

- FRENCH, RICHARD H. *Open channel hydraulics*. Water Resources Publications, 2007, USA, 638 páginas.
- KHATSURIA, R.M. *Hydraulics of Spillways and energy dissipators*. New Yorkm 2005, 649 páginas.
- SUBRAMANYA, K. *Flow in open channels*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 3a ed, 2009, 548 páginas.