

Capítulo 77 Transição em canais

Nitro PDF Trial
www.nitropdf.com

Capítulo 77- Transição em canais

77.1 Introdução

O escoamento em transição são mudanças na seção transversal de um canal aberto numa distância curta, conforme Mays e Figuras (77.1) a (77.3).

Em um canal a transição é o alargamento ou contração da seção ou a existência de uma saliência na base do canal.

A transição se dá na mudança de seção ou saliência na base do canal.

É importante no estudo de escoamento em transição sabermos se o regime de escoamento a montante é subcrítico ou se é supercrítico sendo os cálculos diferentes devendo-se tomar os devidos cuidados para não errar.

No caso de regime de escoamento subcrítico conforme Subramanya, 2009 é importante a análise da **energia específica e da altura crítica**.

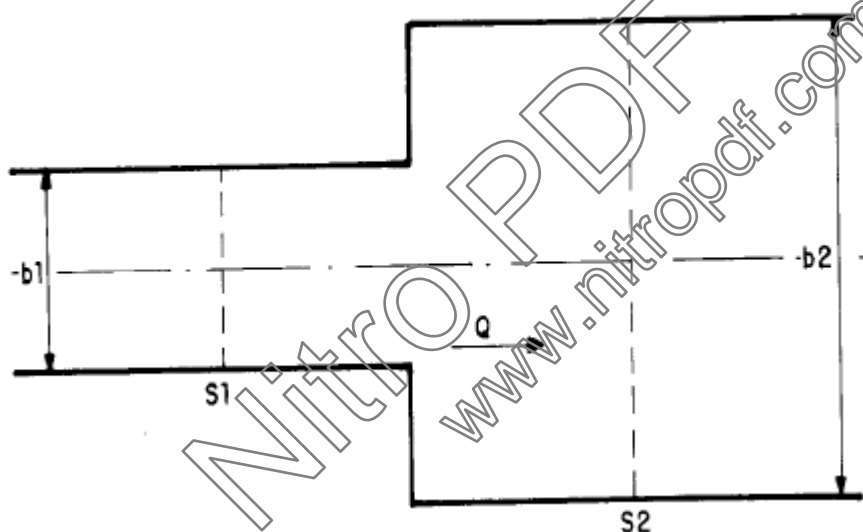


Figura 77.1- Contração abrupta do canal

Fonte: PMSP

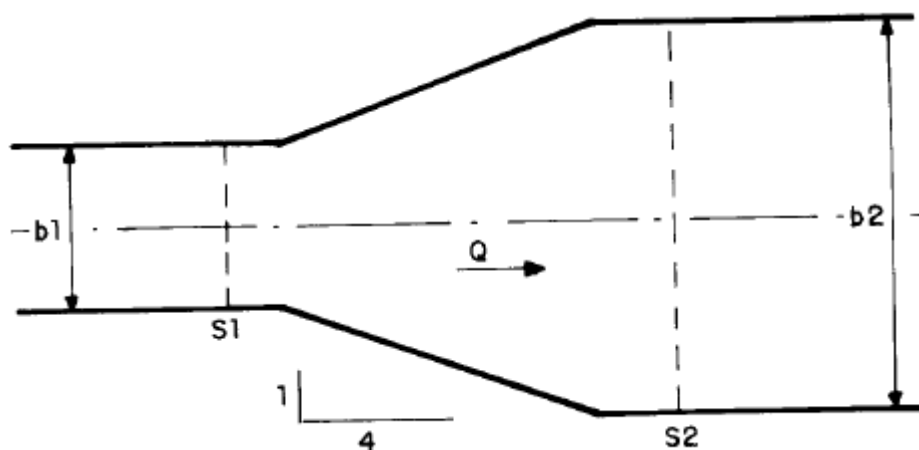


Figura 77.2- Alargamento gradual do canal
Fonte: PMSP

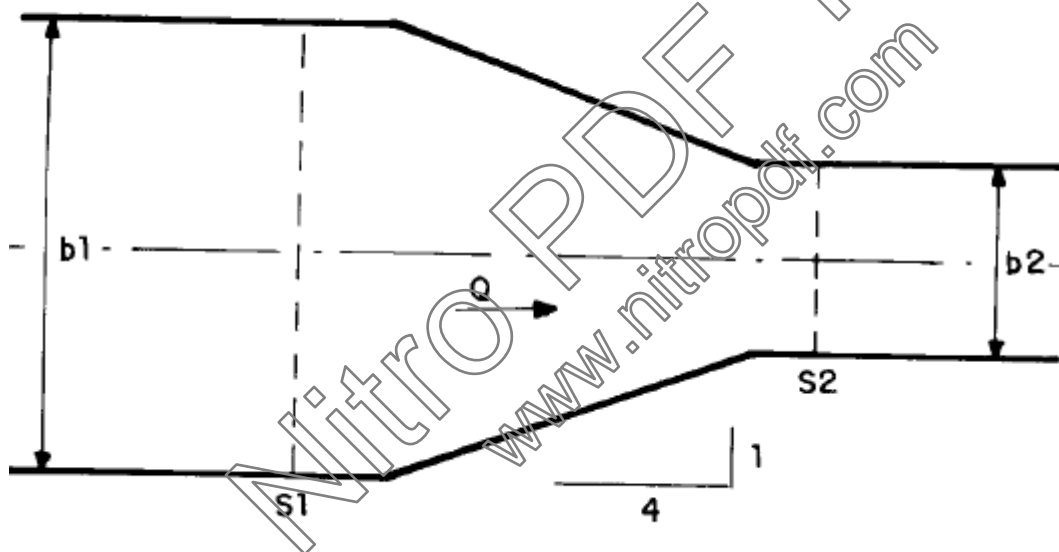


Figura 77.3- Contração gradual do canal
Fonte: PMSP

77.2 Transição em canais com escoamento subcrítico com expansão da seção.

O escoamento subcrítico é quando o número de Froude for menor que 1.

A expansão pode ser súbita ou gradual.

Expansão súbita

Para expansão do canal súbita com escoamento subcrítico a perda de carga é calculada pela equação de Henderson, 1966 citado por Chaudhry, 1993.

$$E_1 - E_2 = V_1^2 / 2g [(1 - B_1/B_2)^2 + 2 F_1^2 (B_2 - B_1) B_1^3 / B_2^4]$$

Sendo:

E_1 = energia específica no ponto 1 a montante da expansão súbita (m)

E_2 = energia específica no ponto 2, isto é, na expansão (m)

V_1 = velocidade da água na seção 1 (m/s)

F_1 = número de Froude na seção 1 (adimensional)

B_1 = largura do canal a montante (m)

B_2 = largura do canal a jusante, isto é, na expansão (m)

Expansão gradual

Para expansão gradual usa-se a fórmula

$$H_f = (V_1 - V_2)^2 / 2g$$

No caso particular de expansão gradual em que temos a relação 1:4 a perda de carga H_f será:

$$H_f = 0,3 (V_1 - V_2)^2 / 2g$$

77.3 Transição em canais com escoamento subcrítico com contração da seção.

O escoamento subcrítico é quando o número de Froude for menor que 1.

Contração súbita

$$H_f = 0,23 \times V_2^2 / 2g$$

Contração gradual

$$H_f = 0,11 \times V_2^2 / 2g$$

Sendo:

H_f = perda de carga na contração (m)

V_2 = velocidade da água na área de contração (m/s)

77.4 Transição em canais com escoamento supercrítico com contração da seção.

A PMSP não faz distinção do tipo de escoamento se é subcrítico ou supercrítico.

Para escoamento supercrítico em canais e com contração da seção gradual, Subramanya, 2009 usa o gráfico da Figura (77.5) que entrando com B_3/B_1 e o número de Froude F_1 achamos o ângulo θ .

Com o ângulo θ achamos o comprimento ideal da contração L_e .

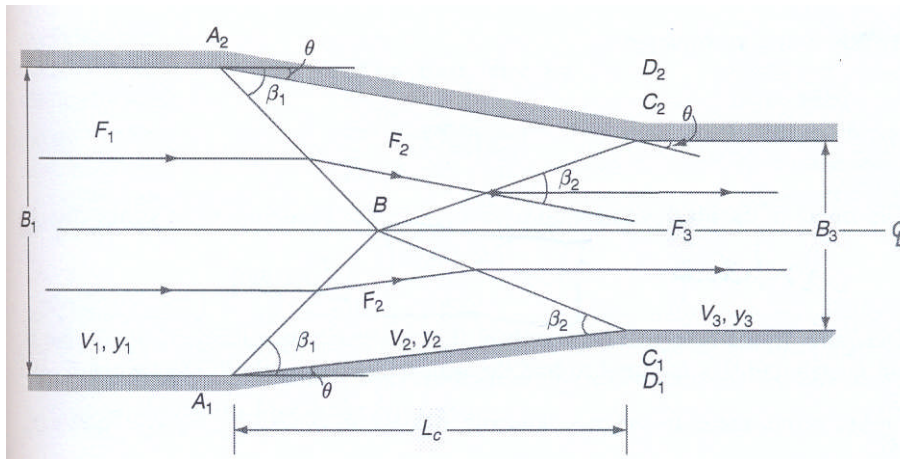


Figura 77.4- Esquema de redução com ângulo θ e β_1
Fonte: Subramanya, 2009

$$L_c = (B_1 - B_3) / (2 \times \tan \theta)$$

Sendo:

L_c = comprimento ideal da contração (m)

B_1 = largura do canal à montante (m)

B_3 = largura do canal no final da contração (m) conforme Figura (77.4)

θ = ângulo obtido na Figura (77.5) entrando com B_3/B_1

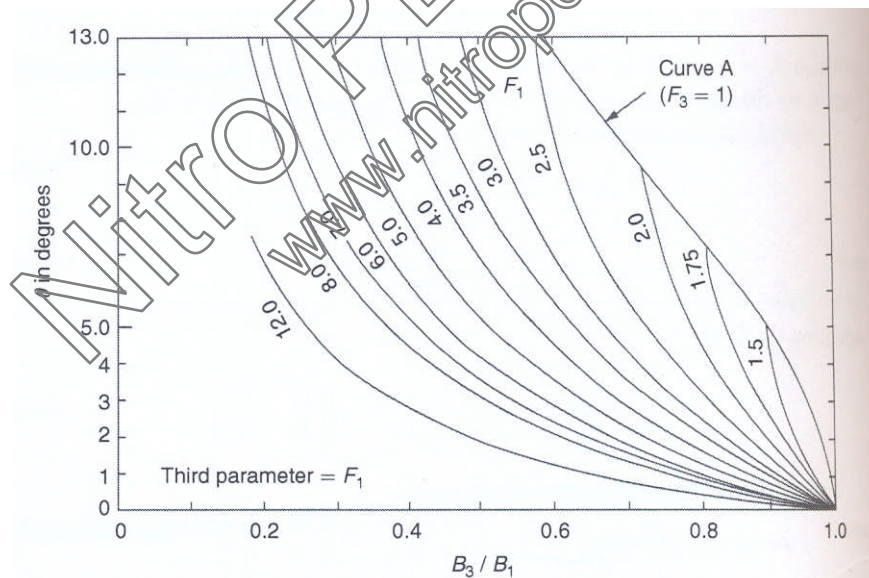


Figura 77.5- Valor do ângulo θ em função de B_3/B_1
Fonte: Subramanya, 2009

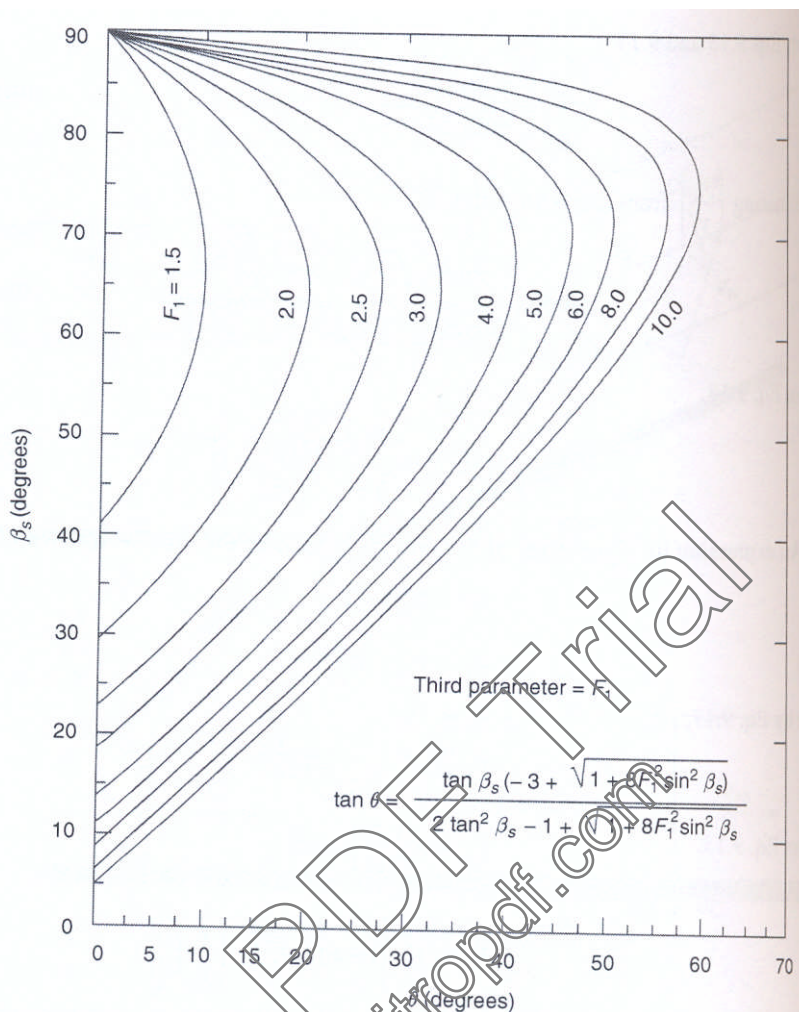


Figura 77.6- Valores de β em função de θ e do número de Froude F_1
 Fonte: Subramanya, 2009

Exemplo 77.1- Contração em regime supercrítico. Fonte: Subramanya, 2009

Canal retangular tem número de Froude $F_1=6,0$ largura $B_1= 5,00\text{m}$ com altura do nível de água $y_1= 0,75\text{m}$. Queremos reduzir a largura para $B_3=2,5\text{m}$.

Da Figura (77.5) entrando com $B_3/B_1= 2,5/5=0,5$ e com $F_1=6,0$ achamos:
 $\theta= 4,25^\circ$

Entrando na Figura (77.6) com os valores de $\theta=4,25^\circ$ e número de Froude $F_1=6,0$ achamos o valor $\beta_1=13,0^\circ$.

$$y_2/y_1 = \tan \beta_1 / (\tan(\beta_1 - \theta))$$

$$y_2/y_1 = \tan 13^\circ / (\tan(13 - 4,25)) = 1,50$$

Como $y_1= 0,75\text{m}$

$$y_2 = y_1 \times 1,50 = 0,75 \times 1,50 = 1,12\text{m}$$

$$F_2^2 = (y_1/y_2) [F_1^2 - (1/2) (y_1/y_2)] (y_2/y_1 - 1) (y_2/y_1 + 1)^2]$$

$$F_2^2 = (1/1,50) [6^2 - (1/2) (1/1,50)] (1,50 - 1) (1,50 + 1)^2] = 23,305$$

$$F_2=4,83$$

$$\beta_s = (1,4679 - 0,2082F_1 + 0,0184F_1^2)\theta + (60,638 F_1^{-1,044})$$

$$\beta_2 = (1,4679 - 0,2082 \times 4,83 + 0,0184 \times 4,83^2)4,25 + (60,638 \times 4,83^{-1,044}) = 15,5^\circ$$

Poderíamos obter $\beta_2 = 15,5^\circ$ usando a Figura (77.6) entrando com θ e número de Froude $F=4,83$.

$$y_3/y_2 = \tan \beta_2 / (\tan(\beta_2 - \theta))$$

$$y_3/y_2 = \tan(15,5) / \tan(15,5 - 4,25) = 1,394$$

$$y_3/y_1 = (y_3/y_2)(y_2/y_1) = 1,394 \times 1,50 = 2,09$$

$$y_3 = 2,09 \times 0,75 = 1,568\text{m}$$

$$F_3^2 = (y_2/y_3)[F_2^2 - (1/2)(y_2/y_1)(y_3/y_2 - 1)(y_3/y_2 + 1)^2]$$

$$F_3^2 = (1/1,394)[4,83^2 - (1/2)(1,50)(1,394 - 1)(1,394 + 1)^2] = 16,15$$

$$F_3 = 4,02$$

$$L_e = (B_1 - B_3) / (2 \times \tan \theta)$$

$$L_e = (5,0 - 2,50) / (2 \times \tan 4,25) = 15,883\text{m}$$

Checando:

$$B_1/B_3 = (y_3/y_1)^{3/2} (F_3/F_1)$$

$$5,0/2,50 = (2,09)^{3/2} (F_3/6,0)$$

$$F_3 = 3,97 \text{ que é praticamente igual a } F_3 = 4,02$$

77.5 Transição em canais com escoamento supercrítico com ampliação da seção.

Subramanya, 2009 usa para pré-dimensionamento o método empírico de Rouse.

$$B/B_1 = (1/4) [X/(B_1 \cdot F_1)]^{(3/2)} + 1 \quad \text{(Equação 77.1)}$$

Sendo:

B= largura na distância X (m)

B₁= Largura da seção do canal à montante (m)

X= distância horizontal a partir da ampliação (m)

F₁= número de Froude na seção antes da ampliação (adimensional)

Para o uso da Equação (77.1) é necessário usar a Tabela (77.1) de coordenadas reversas da expansão em regime supercrítico.

Tabela 77.1-Coordenadas da curva reversa de expansão em regime de escoamento supercrítico. Fonte: Subramanya, 2009

values of D/D_1

$\frac{x}{B_1 F_1}$	$\frac{B_2}{B_1} = 1.5$	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1.00	1.200					
1.38	1.300	1.400				
1.50	1.350	1.425				
1.75	1.400	1.550	1.550			
2.00	1.450	1.600	1.700			
2.25	1.475	1.650	1.750	1.750		
2.50	1.485	1.775	1.900	1.900	1.925	
2.70	1.500	1.820	2.000	2.100	2.100	2.100
3.00		1.900	2.100	2.200	2.250	2.250
3.50		1.950	2.250	2.400	2.450	2.500
4.00		2.000	2.350	2.550	2.675	2.775
4.50			2.425	2.685	2.825	2.950
5.00			2.500	2.800	3.000	3.150
5.50				2.850	3.150	3.300
6.00				2.925	3.240	3.450
6.50				2.950	3.320	3.550
7.00				3.000	3.400	3.700
7.50					3.425	3.775
8.00					3.475	3.850
8.50					3.485	3.875
9.00					3.500	3.900
9.50						3.930
10.00						3.950
10.50						4.000

Exemplo 77.2- Ampliação do canal com regime supercrítico. Fonte: Subramanya, 2009

Dados largura da seção retangular do canal $B_1 = 2,5\text{m}$, com número de Froude $F_1 = 2,5$ onde faremos uma expansão com largura $B_2 = 5,00\text{m}$. Obter o perfil da expansão usando as curvas reversas de Rouse.

Usaremos a equação:

$$B/B_1 = (1/4) [X / (B_1 \cdot F_1)]^{(3/2)} + 1$$

$$B/2,5 = (1/4) [X / (2,5 \cdot 2,5)]^{(3/2)} + 1$$

$$B = X^{(3/2)} / 25 + 2,5$$

$$B_2/B_1 = 5,00/2,50 = 2,00$$

Entrando na Tabela (77.1) com $B_2/B_1=2,00$ e começamos com $X/B_1 \cdot F_1 = 1,38$.
Então o valor de X será:

$$X = 1,38 \times B_1 \cdot F_1 = 1,38 \times 2,5 \times 2,5 = 8,63\text{m}$$

Continuando ainda na Tabela (77.1) de Rouse tomamos o último valor que é

$$X/B_1 \cdot F_1 = 4,0$$

Como $L=X$ temos:

$$L = 4,0 \times B_1 \cdot F_1 = 4,0 \times 2,5 \times 2,5 = 25,00\text{m}$$

Portanto, obtemos valores de X variando de 8,63m até 25,00m usando a Tabela (77.1) de Rouse.

77.5 Bibliografia e livros consultados

- CETESB. *Drenagem Urbana- Manual de Projeto*. 3ª ed. São Paulo, 1986, 452 páginas.
- CHAUDHRY, M. HANIF. *Open-Channel Flow*. Prentice Hall, New Jersey, 1993, 483 páginas.
- FHWA (Federal Highway Administration). *Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels*. 3a ed. julho, 2006. U.S. Department of Transportation.
- KHATSURIA R. R. *Hydraulics of spilways and energy dissipators*. New York, 2005, Marcel Dekker, 649 páginas, ISBN 0-8247-5789-0.
- PMSP. *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. Fundação Centro Tecnológico de Hidraulica de São Paulo.
- SUBRAMANYA, K. *Flow in open channels*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2009, 3a ed. 548 páginas.

Nitro PDF Trial
www.nitropdf.com