

Capítulo 106

Dissipador de energia CSU (*Colorado State University*)

Capítulo 106- 4

106.1 Introdução

O CSU é um dissipador com blocos de concreto dispostos de tal maneira a ser ter o início de ressalto hidráulico. Recomenda-se que a declividade do dissipador seja menor que 10%, mas caso seja maior é possível também fazer o cálculo usando uma equação especial.

Cada elemento de concreto tem altura “h” e dever estar entre 0,31 de y_A até 0,91 de y_A .

O espaço relativo L/h dos elementos de concreto varia de 6 a 12.

O CSU é muito bom para ser instalado na saída de um bueiro.

Dica: é fácil de executar o CSU e obtemos a velocidade de saída para podermos comparar com a velocidade do córrego a jusante.

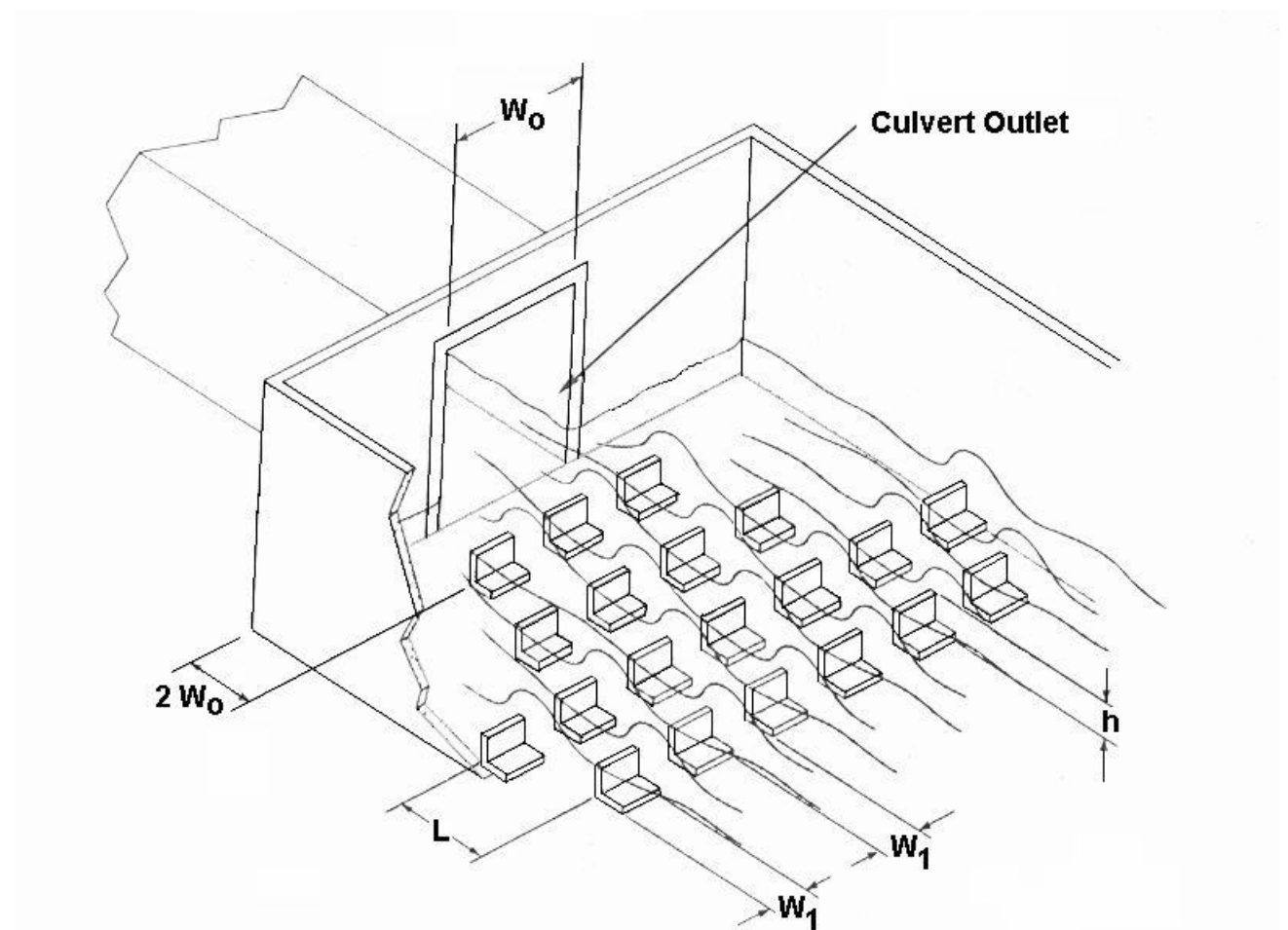


Figura 106.1- Vista de um dissipador de energia CSU (Colorado State University). Fonte: FHWA.

Variáveis na Figura (106.1)

- W_0 = largura do bueiro na saída
- W_1 = largura de cada elemento
- h = altura do elemento de concreto

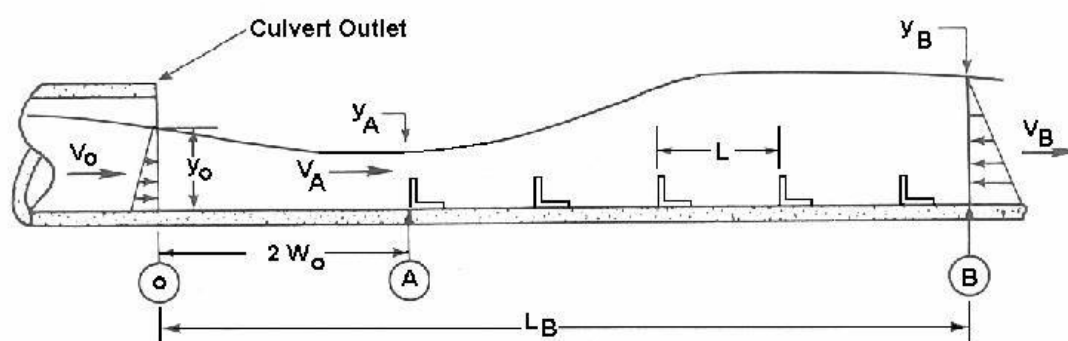


Figura 106.2- Vista lateral do dissipador CSU

Variáveis da Figura (106.2).

- V_0 = velocidade na saída do bueiro
- V_A – velocidade no fim da transição do bueiro (m/s)
- V_B – velocidade na saída do dissipador CSU (m/s)
- y_0 – altura do nível de água na saída do bueiro (m)
- y_A – altura do nível de água no fim da transição do bueiro para o dissipador CSU (m)
-
- y_B – altura da água na saída do dissipador CSU (m)
- W_0 – largura do bueiro na saída (m)
- L_B – comprimento total da transição e mais o dissipador CSU (m)
- L – espaço entre os elementos de concreto entre as fileiras (m)

Observe que na Figura (106.2) o valor $2W_0$ é a transição que começa no fim do bueiro e vai até a primeira fileira de dentes.

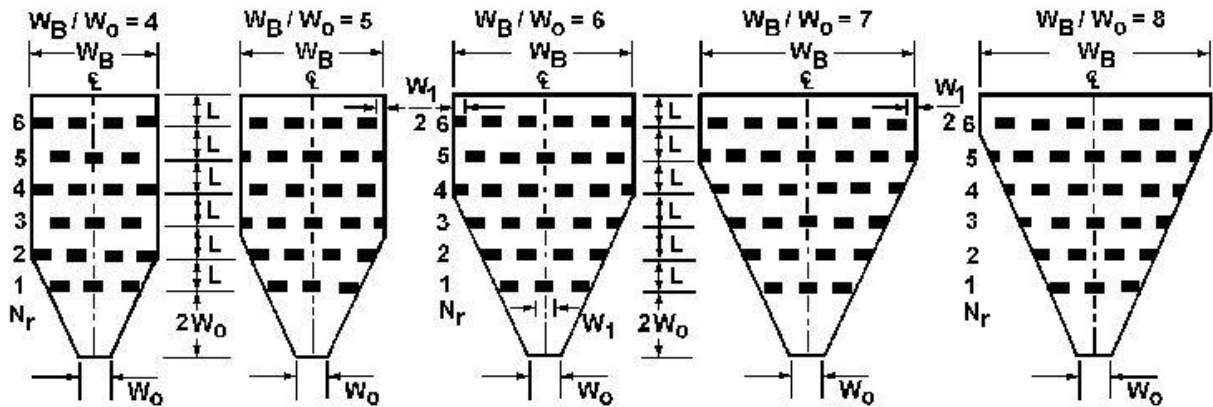


Figura 106.3- Configurações testadas

Variáveis da Figura (106.3)

- W_B – largura da bacia do dissipador CSU (m)
- W_0 – largura do bueiro na saída (m)
- L – espaço entre as fileiras dos elementos de concreto (m)
- N_r – número de fileiras

Tabela 106.1- Valores das rugosidades dos elementos. Fonte: FHWA

W _B /W ₀		2 to 4			5			6			7		8	
W ₁ /W ₀		0.57			0.63			0.6			0.58		.62	
Fileiras (Nr)		4	5	6	4	5	6	4	5	6	5	6	6	
Elementos (N)		14	17	21	15	19	23	17	22	27	24	30	30	
Retangular	h/ya	L/h		Basin Drag Coefficient, C _B										
	.91	6	0.32	0.28	0.24	0.32	0.28	0.24	0.31	0.27	0.23	0.26	0.22	0.22
	.71	6	0.44	0.40	0.37	0.42	0.38	0.35	0.40	0.36	0.33	0.34	0.31	0.29
	0.48	12	0.60	0.55	0.51	0.56	0.51	0.47	0.53	0.48	0.43	0.46	0.39	0.35
	0.37	12	0.68	0.66	0.65	0.65	0.62	0.60	0.62	0.58	0.55	0.54	0.50	0.45
Circular	0.91	6	0.21	0.20	0.48	0.21	0.19	0.17	0.21	0.19	0.17	0.18	0.16	 #
	0.71	6	0.29	0.27	0.40	0.27	0.25	0.23	0.25	0.23	0.22	0.22	0.20	 #
	0.31	6	0.38	0.36	0.34	0.36	0.34	0.32	0.34	0.32	0.30	0.30	0.28	 #
	0.48	12	0.45	0.42	0.25	0.40	0.38	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	 #
	0.37	12	0.52	0.50	0.18	0.48	0.46	0.44	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	 #

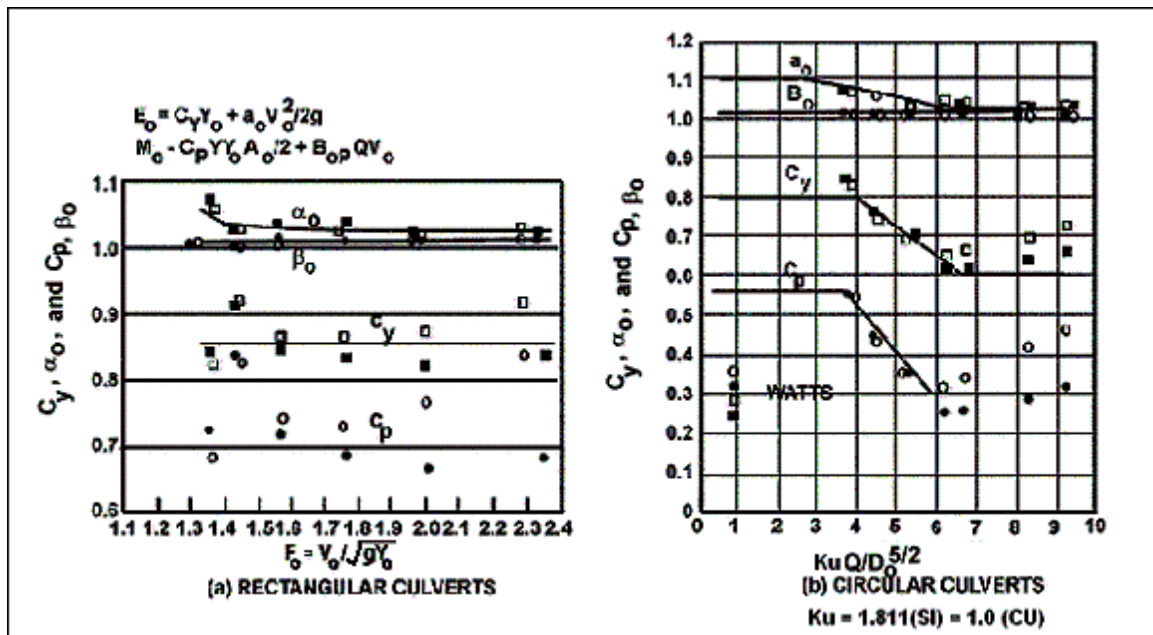


Figura 106.4- Energia e momento dos coeficientes conforme FHWA

Para declividade menor ou igual a 10%

Cálculo de $C_B A_F N$ que está na Equação (106.1)

$$\rho V_o Q + C_p \gamma (y_o^2 W_o/2) = C_B A_F N \rho V_A^2/2 + \rho V_B Q + \gamma Q^2/(2V_B^2 W_B) \quad (\text{Equação 106.1})$$

Sendo:

y_o = altura da água na saída do vertedor (m)

V_o = velocidade da água na saída do vertedor (m/s)

W_o = largura do bueiro na saída (m)

V_A = velocidade na largura duas vezes a largura do bueiro a jusante (m/s)

V_B = velocidade de saída a jusante na última fileira de elementos de concreto (m/s)

N = número total de elementos de concreto na bacia

A_F = área frontal de cada um dos elementos (m²)

C_B = coeficiente *basin drag* extraído da Tabela (106.1)

C_p = coeficiente de correção do momento na saída do bueiro conforme Figura (106.7)

γ = peso da água 9810 N/m³

ρ = densidade da água 1000 kg/m³

Para declividade maior que 10%

Cálculo de $C_B A_F N$ que está na Equação (106.2)

$$\rho V_o Q + C_p \gamma (y_o^2 W_o/2) + w \cdot \text{sen } \theta = C_B A_F N \rho V_A^2/2 + \rho V_B Q + \gamma Q^2/(2V_B^2 W_B) \quad (\text{Equação 106.2})$$

Sendo:

θ = atan da declividade do canal S_o

w =peso da água na bacia

Peso= volume x γ

Volume= $(y_o W_o + y_A W_A)W_o + (0,75 \cdot L \cdot Q/V_B) [(N-1) - W_B/W_o - 3](1 - W_A/W_B)/2]$

L = espaço entre duas linhas de elementos de concreto.

y_o = altura da água na saída do vertedor (m)

V_o = velocidade da água na saída do vertedor (m/s)

W_o = largura do bueiro na saída (m)

V_A = velocidade na largura duas vezes a largura do bueiro a jusante (m/s)

V_B = velocidade de saída a jusante na última fileira de elementos de concreto (m/s)

N = número total de elementos de concreto na bacia

A_F = área frontal de cada um dos elementos (m²)

C_B = coeficiente *basin drag* extraído da Tabela (106.1)

C_p = coeficiente de correção do momento na saída do bueiro conforme Figura (106.7)

γ = peso da água 9810 N/m³

ρ = densidade da água 1000 kg/m³

Quando a declividade é menor que 10% a velocidade V_A é tirada das Figuras (4.3) e (4.4).

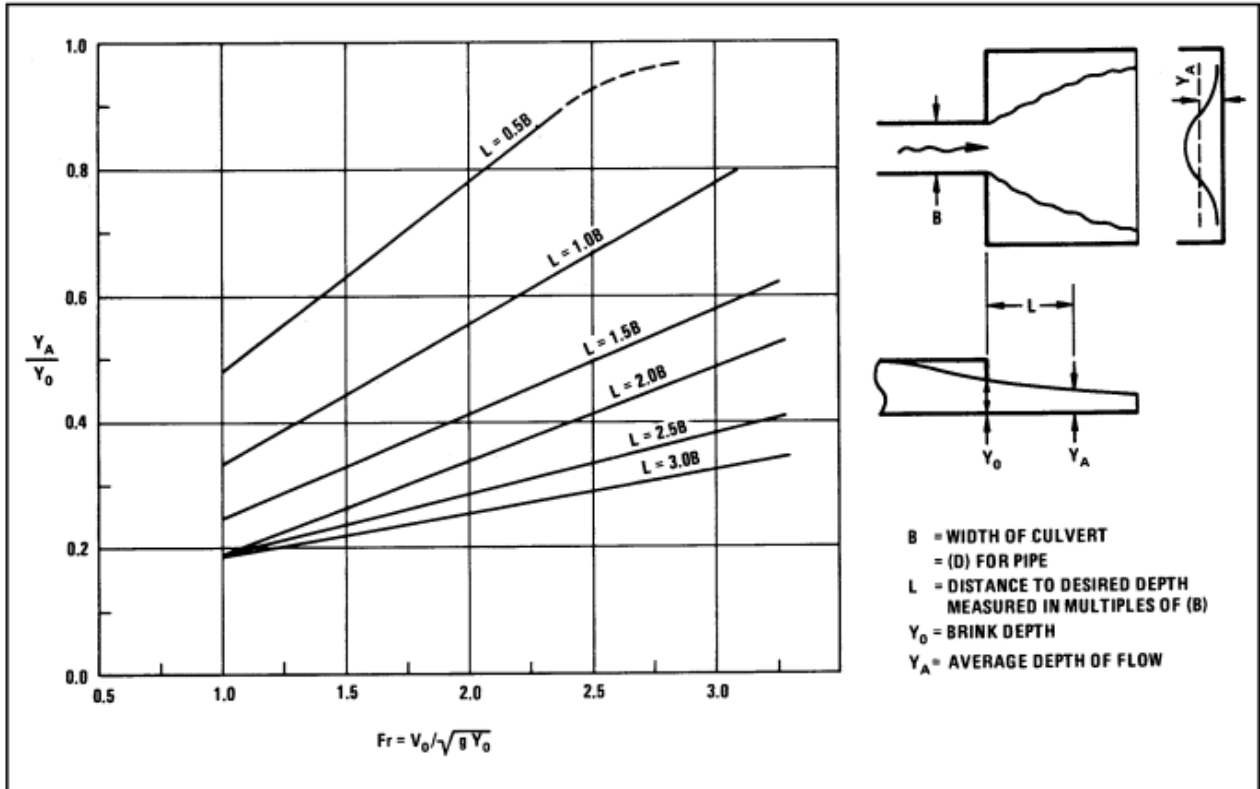


Figure 4.3. Average Depth for Abrupt Expansion Below Rectangular Culvert Outlet

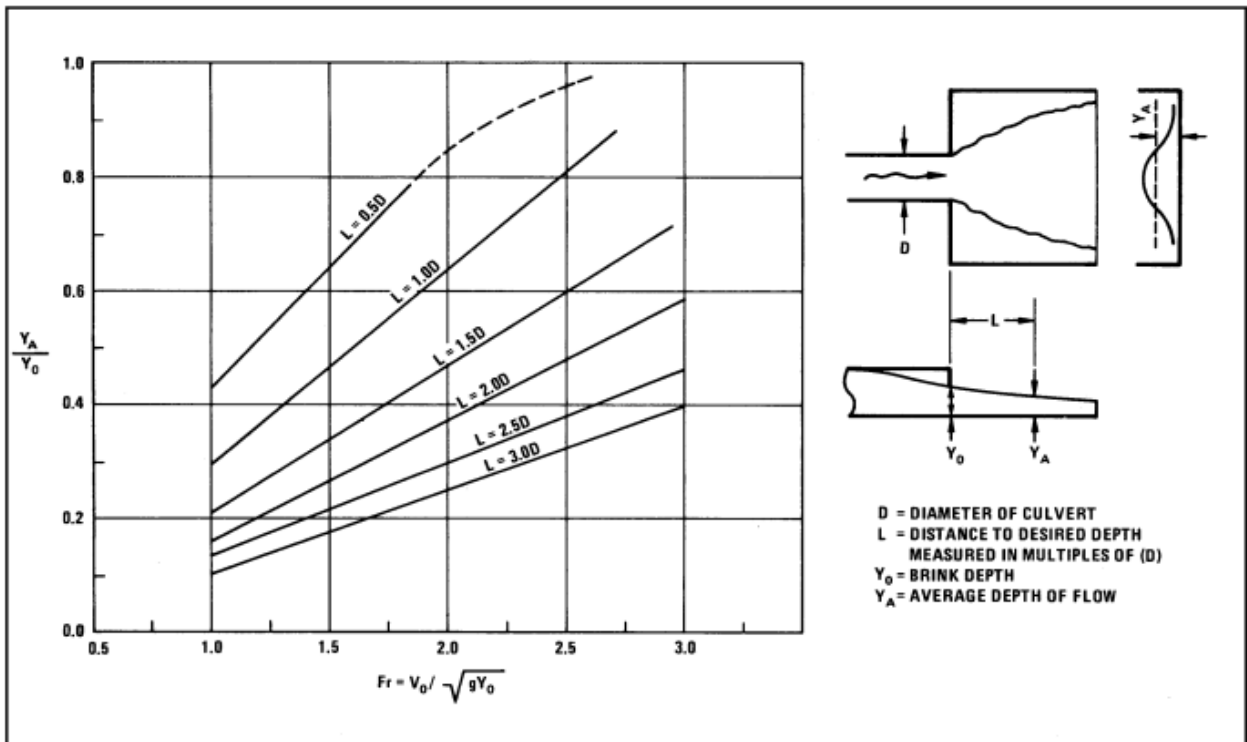


Figure 4.4. Average Depth for Abrupt Expansion Below Circular Culvert Outlet

Quando a declividade é maior que 10% os valores de V_A e y_A são obtidas pela Equação (106.3).

$$2W_oS_o + y_A = 0,25 [Q / (W_A y_A)]^2 / 2g = y_o + 0,25 (V_o^2/2g) \quad (\text{Equação 106.3})$$

Divergência “eu” da Equação (106.4) mede a diferença dos testes com o modelo escolhido. É função do espaço entre os elementos L e da largura W_o do bueiro.

$$eu = 4/7 + (10/7) L/W_o \quad (\text{Equação 106.4})$$

Exemplo 106.1 Modelo baseado no FHWA

Projetar um dissipador de energia modelo CSU para fazer a transição entre o final de um bueiro até o canal natural existente. A velocidade de saída total deve ser aproximada da velocidade do córrego existente.

São dados:

Bueiro em aduela de 2,438m x 2,438m

$L = 71,6\text{m}$

$S = 0,02\text{m/m}$

$Q = 39,64\text{m}^3/\text{s}$

$n = 0,013$

$y_c = 2,987\text{m}$

$y_n = 1,829\text{m}$

Canal natural a jusante

$W = 12,5\text{m}$ de largura

$TW = 1,00\text{m}$

Solução:

Velocidade $V_o = V_n = 8,87\text{m/s}$

Número de Froude

$$F = V_o / (g \cdot y_o)^{0,5} = 8,87 / (9,81 \times 1,829)^{0,5} = 2,1$$

Por tentativas vamos usar a Tabela (106.1) para escolher relação W_B/W_o

Canal existente

Largura = 12,5m

Largura do bueiro = 2,428m

Relação largura do canal/ largura do bueiro = $12,5 / 2,428 = 5,1$

Tentamos a relação $W_B/W_o = 5$ e $W_1/W_o = 0,63$ conforme Tabela (106.1)

$N_r = 4$

Número de elementos = 15

$h/y_A = 0,71$

$L/h = 6$

Cálculo de V_A

$$V_A/V_o = 1,65 - 0,3 F = 1,65 - 0,3 \times 2,1 = 1,02$$

Como $V_o = 8,897\text{m/s}$

$$V_A = 8,897 \times 1,02 = 9,047\text{m/s}$$

Para $4 < W_B/W_o < 8$

Vendo Figura (4.3) com $F=2,1$ e $L=2.B$ (B é a distância até o primeiro bloco) achamos $y_A/y_o = 0,33$
 $y_A = 1,829 \times 0,33 = 0,604m$

Achamos a **relação h/y_A por tentativas** usando a Tabela (106.1) achamos 0,71

Altura $h = (h/y_A) / y_A = 0,71 \times 0,604 = 0,429m$

Da Tabela (106.1) achamos 6

Espaço entre as linhas dos elementos = $L = (L/h) h = 6 \times 0,429 = 2,574m$

Largura da bacia $W_B = (W_B/W_o) W_o = 5 \times 2,438 = 12,190m$

Largura do elemento $W_1 = (W_1/W_o) W_o = 0,63 \times 2,438 = 1,536m$ Uso 1,524m

Divergente $ue = 4/7 + 10 L / (7W_o) = 4/7 + 10 (2,574 / (7(2,428))) = 2,07$ Adoto 2

Basin drag $C_B = 0,42$

Area de Rugosidade frontal do elemento $A_F = W_1 h = 1,524 (0,429) = 0,65m$

C_p da Figura (106.4) no gráfico de bueiro retangular achamos $C_p = 0,7$

Comprimento total da bacia $L_B = 2W_o + L .Nr = 2 (2,438) + 4 (2,574) = 18,172m$

Confirmamos como **aprovada a tentativa**, pois, $W_B = 12,190m$ que é aproximadamente a largura do córrego a jusante que tem 12,5m.

Cálculo de $C_B A_F N$ que está na Equação (106.1)

$$\rho V_o Q + C_p \gamma (y_o^2 W_o / 2) = C_B A_F N \rho V_A^2 / 2 + \rho V_B Q + \gamma Q^2 / (2 V_B^2 W_B) \quad (\text{Equação 106.1})$$

Sendo:

y_o = altura da água na saída do vertedor (m)

V_o = velocidade da água na saída do vertedor (m/s)

W_o = largura do bueiro na saída (m)

V_A = velocidade na largura duas vezes a largura do bueiro a jusante (m/s)

V_B = velocidade de saída a jusante na última fileira de elementos de concreto (m/s)

N = número total de elementos de concreto na bacia

A_F = área frontal de cada um dos elementos (m²)

C_B = coeficiente *basin drag* extraído da Tabela (106.1)

C_p = coeficiente de correção do momento na saída do bueiro conforme Figura (106.7)

γ = peso da água 9810 N/m³

ρ = densidade da água 1000 kg/m³

Cálculos

y_n a jusante = 1,01m

$V_B = Q / (W_B . y_n) = 39,64 / [12,190(1,001)] = 39,64 / 12,178 = 3,255m/s$

Cálculo do termo com V_o e y_o

$$\rho V_o Q + C_p \gamma (y_o^2 W_o / 2)$$

$$1000 (8.870)(39,64) + 0,7 \times 9810 (1,829^2 \times 2,438) / 2 = 379609$$

Cálculo do termo com V_B

$$\rho V_B Q + \gamma Q^2 / (2 V_B^2 W_B)$$

$$1000(3,255)(39,64) + 9810 (39,64)^2 / (2(3,255)^2 (12,190)) = 189820$$

Cálculo do termo com $C_B A_F N$

$$C_B A_F N \rho V_A^2 / 2$$

$$C_B A_F N (1000) (9,047)^2 / 2 = 40924 C_B A_F N$$

Cálculo final

$$(379609 - 189820) = 40924 C_B A_F N$$

$$C_B A_F N = 4,63$$

Truque

Temos, portanto o valor calculado pela Equação (106.1) que é 4,63. Devemos comparar com os valores $C_B A_F N$ já calculado individualmente que deve ser maior que 4,63 ou então teremos que fazer nova configuração.

$$C_B = 0,42$$

$$A_F = 0,65 \text{ m}^2$$

$$N = 15$$

$$C_B A_F N = 0,42 \times 0,65 \times 15 = 4,1$$

Como $4,1 < 4,63$ temos que recalcular tudo novamente

Segunda tentativa

Achamos a relação h/y_A por tentativas usando a Tabela (106.1) achamos 0,71

No va opção: $W_B/W_o = 5$ $N_r = 5$ $N = 19$ $C_B = 0,38$ $h/y_A = 0,71$ $L/h = 6$

Altura $h = (h/y_A) / y_A = 0,71 \times 0,604 = 0,429 \text{ m}$

Da Tabela (106.1) achamos 6

Espaço entre as linhas dos elementos = $L = (L/h) h = 6 \times 0,429 = 2,574 \text{ m}$

Largura da bacia $W_B = (W_B/W_o) W_o = 5 \times 2,438 = 12,190 \text{ m}$

Largura do elemento $W_1 = (W_1/W_o) W_o = 0,63 \times 2,438 = 1,536 \text{ m}$ Uso 1,524m

Divergente $u_e = 4/7 + 10 L / (7 W_o) = 4/7 + 10 (2,574) / (7 (2,428)) = 2,07$ Adoto 2

Basin drag $C_B = 0,38$

Ara de Rugosidade frontal do elemento $A_F = W_1 h = 1,524 (0,429) = 0,65 \text{ m}^2$

C_p da Figura (106.4) no gráfico de bueiro retangular achamos $C_p = 0,7$

Comprimento total da bacia $L_B = 2 W_o + L \cdot N_r = 2 (2,438) + 5 (2,574) = 17,746 \text{ m}$

Cálculo de $C_B A_F N$ que está na Equação (106.1)

$$\rho V_o Q + C_p \gamma (y_o^2 W_o / 2) = C_B A_F N \rho V_A^2 / 2 + \rho V_B Q + \gamma Q^2 / (2 V_B^2 W_B) \quad (\text{Equação 106.1})$$

Sendo:

y_o = altura da água na saída do vertedor (m)

V_o = velocidade da água na saída do vertedor (m/s)

W_o = largura do bueiro na saída (m)

V_A = velocidade na largura duas vezes a largura do bueiro a jusante (m/s)

V_B = velocidade de saída a jusante na última fileira de elementos de concreto (m/s)

N = número total de elementos de concreto na bacia

A_F = área frontal de cada elemento (m^2)

C_B = coeficiente *basin drag* extraído da Tabela (106.1)

C_p = coeficiente de correção do momento na saída do bueiro conforme Figura (106.7)

γ = peso da água 9810 N/m^3

ρ = densidade da água 1000 kg/m^3

Cálculos

$$y_n \text{ a jusante} = 1,01\text{m}$$

$$V_B = Q / (W_B \cdot y_n) = 39,64 / [12,190(1,001)] = 39,64 / 12,178 = 3,255\text{m/s}$$

Cálculo do termo com V_o e y_o

$$\rho V_o Q + C_p \gamma (y_o^2 W_o / 2)$$

$$1000 (8.870)(39,64) + 0,7 \times 9810 (1,829^2 \times 2,438) / 2 = 379609$$

Cálculo do termo com V_B

$$\rho V_B Q + \gamma Q^2 / (2 V_B^2 W_B)$$

$$1000(3,255)(39,64) + 9810 (39,64)^2 / (2(3,255)^2 (12,190)) = 189820$$

Cálculo do termo com $C_B A_F N$

$$C_B A_F N \rho V_A^2 / 2$$

$$C_B A_F N (1000) (9,047)^2 / 2 = 40924 C_B A_F N$$

Cálculo final

$$(379609 - 189820) = 40924 C_B A_F N$$

$$C_B A_F N = 4,63 \text{ (não mudou nada)}$$

$$C_B = 0,38$$

$$A_F = 0,654\text{m}^2$$

$$N = 19$$

$$C_B A_F N = 0,38 \times 0,654 \times 19 = 4,72$$

Como $4,72 > 4,63$ a opção escolhida está aceita.

Observação:

A velocidade de saída no dissipador é $V_B = 3,255\text{m/s}$, que entretanto é um pouco maior que a velocidade no córrego a jusante que é $3,17\text{m/s} = 39,64 / (1,00 \times 12,50)$.

Podemos considerar satisfatório ou recalculer tudo novamente.

Uma grande vantagem do dissipador CSU é que podemos calcular a vazão V_B na saída e também é de fácil execução.



Figura 1- Dissipador de impacto. Fema, 2010

-FEMA- Technical Manual: outlet works energy dissipators. Junho 2010, 555 páginas