

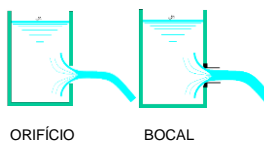


ORIFÍCIOS, BOCAIS TUBOS CURTOS E VERTEDORES

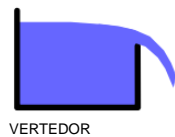
- Estruturas hidráulicas de controle e descarga

ORIFÍCIOS, BOCAIS E VERTEDORES

Aberturas de perímetro fechado e forma geométrica definida, construídas abaixo da superfície livre da água, em paredes de reservatórios, pequenos tanques, canais ou canalizações para medir e/ou controlar vazão.

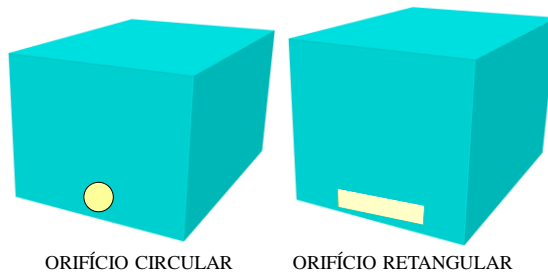


Quando a abertura chega até a superfície livre



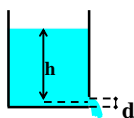
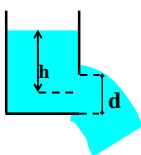
ORIFÍCIOS: FORMA

retangular; circular; triangular, etc.



ORIFÍCIOS: TAMANHO

Classificação quanto às dimensões:

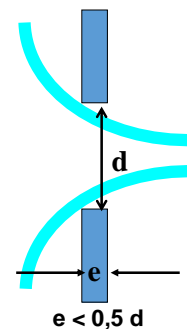
Pequenos:Quando sua dimensão vertical d for muito menor que a carga hidráulica h sobre ele.quando: $d \leq h/3$.**Grandes:**quando $d > h/3$ 

ORIFÍCIOS: NATUREZA DAS PAREDES

Classificação quanto à natureza das paredes:

Parede delgada ($e < 0,5 d$)

A veia líquida toca apenas a face interna da parede do reservatório.

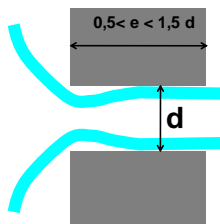


ORIFÍCIOS: NATUREZA DAS PAREDES

Parede espessa ($0,5 < e < 1,5 d$):

O jato toca quase toda a parede do reservatório.

Esse caso será visto no estudo dos bocais.



VELOCIDADE TEÓRICA DA ÁGUA ATRAVÉS DE UM ORIFÍCIO

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_{atm}}{\gamma} + h = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_{atm}}{\gamma}$$

$$h = \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{ou} \quad V_2 = \sqrt{2gh}$$

(Velocidade teórica: Eq. Torricelli)

como $Q = V_2 \cdot A_2$:

$$Q = A \sqrt{2gh}$$

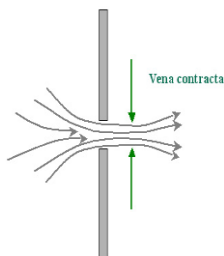
A = área do orifício
 h = carga sobre o orifício

SEÇÃO CONTRAÍDA

As partículas fluidas, vindas de todas as direções, desenvolvem trajetórias curvilíneas em direção ao orifício.

Ao atravessarem a seção do orifício continuam a se mover em trajetórias curvilíneas.

As partículas não mudam bruscamente de direção, obrigando o jato a contrair-se além do orifício.

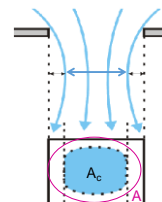


SEÇÃO CONTRAÍDA

Pode-se calcular o coeficiente de contração (C_c), que expressa a redução na área do jato como:

$$C_c = A_c / A \quad \text{Valor prático característico: } C_c = 0,62$$

- A_c = área da seção contraída
- A = área do orifício.



VELOCIDADE REAL

Na prática a velocidade real (V_r) na seção contraída é menor que a velocidade teórica (V_t) devido a:

- Atrito externo;
- Viscosidade.

Chama-se de C_v (coeficiente de velocidade) a relação entre V_r e V_t .

$$C_v = \frac{V_r}{V_t} \quad \Rightarrow \quad V_r = C_v \cdot V_t$$

C_v é determinado experimentalmente em função do diâmetro do orifício (d), da carga hidráulica (h) e da forma do orifício.

Na prática, pode-se adotar $C_v = 0,985$.

VELOCIDADE E VAZÃO REAL

Definindo-se o coeficiente de descarga (C_d) como:

$$C_d = C_v \cdot C_c$$

Na prática pode-se adotar $C_d = 0,61$

Portanto,

a velocidade real do jato na seção 2 (saída): $V_r = C_v \sqrt{2gh}$

a vazão real através do orifício:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

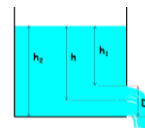
Carga h (m)	Diâmetro do orifício, cm				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,20	0,653	0,632	0,609	0,607	0,607
0,40	0,651	0,625	0,610	0,607	0,607
0,60	0,648	0,625	0,610	0,607	0,607
0,80	0,645	0,623	0,610	0,607	0,608
1,00	0,642	0,622	0,610	0,607	0,608
1,50	0,638	0,622	0,610	0,607	0,608
2,00	0,636	0,622	0,610	0,607	0,608
3,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,608
5,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,608
10,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,609

Tabela 1.1-Orifícios circulares em paredes delgadas- Valores de Cd Manual de Hidráulica - Azevedo Netto.

VAZÃO EM ORIFÍCIOS GRANDES

Sendo **D** a dimensão vertical do orifício, diz-se que um orifício é grande quando: **h < 3D**

se **h₁** é muito diferente de **h₂**, o uso da altura média de água **h** sobre o centro do orifício de dimensão vertical **D** para o cálculo da vazão, não é recomendado.



a velocidade da água no centro de um orifício grande é diferente da velocidade média do fluxo através deste orifício.



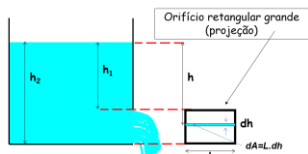
Exemplo:
Descarga controlada de reservatórios de contenção de cheias

PISCINÃO BANANAL ZONA NORTE DE SP

VAZÃO EM ORIFÍCIOS GRANDES

Como calcular a vazão de um orifício retangular grande?

É possível dividir-se a área do orifício em um grande número de faixas horizontais de altura infinitesimal e integrar-se as vazões elementares:



Como:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \rightarrow dQ = C_d \cdot L \cdot dh \sqrt{2gh}$$

que, integrada entre os limites **h₁** e **h₂**, produz a vazão total do orifício.

VAZÃO ATRAVÉS DE ORIFÍCIOS RETANGULARES GRANDES

$$Q = C_d L \sqrt{2g} \int_{h_1}^{h_2} \sqrt{h} dh$$

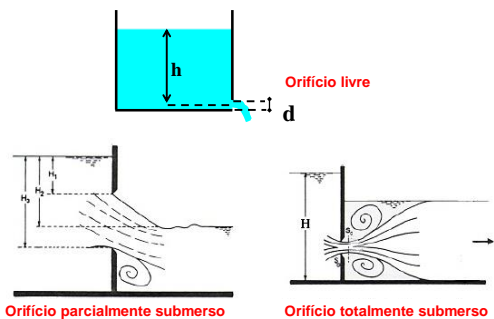
$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

mas, no caso dos orifícios retangulares, $A=L(h_2-h_1)$

então:
$$Q = \frac{2}{3} C_d A \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{3/2} - h_1^{3/2}}{h_2 - h_1} \right)$$
 EQ. (12.20)

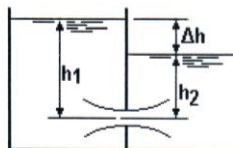
EQUAÇÃO DA VAZÃO PARA ORIFÍCIOS RETANGULARES GRANDES

TIPO DE ESCOAMENTO: LIVRE OU SUBMERSO



ORIFÍCIO AFOGADO

O jato escoa para uma massa líquida e não para a pressão atmosférica.



$$Q = C_d A \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

EQ. (12.25)

Coefficientes de descarga - coef. de descarga de orifícios livres

Perda de carga em orifícios

A perda de carga em orifícios é igual a diferença entre a carga cinética devido a velocidade teórica e a carga cinética devido a velocidade real do jato.

$$\Delta H = \frac{V_t^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \text{ como } C_v = \frac{V}{V_t} \text{ tem-se } \Delta H = \frac{V_t^2}{C_v^2 2g} - \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta H = \left(\frac{1}{C_v^2} - 1\right) \frac{V^2}{2g} \text{ EQ. (12.12)}$$

Orifícios de Parede Delgada

Configuração longitudinal da veia líquida:

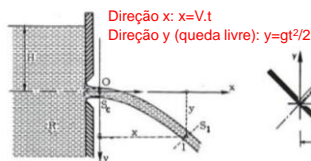


Figura 16: Jato a partir de um orifício vertical

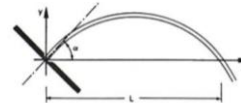


Figura 17: Alcance de um jato

$$v = x \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

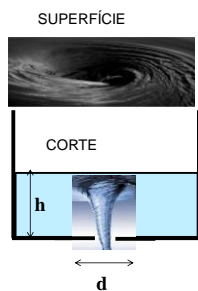
$$\therefore C_v = \frac{v}{V_t} = \frac{x \sqrt{\frac{g}{2y}}}{\sqrt{2gH}} = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{1}{Hy}}$$

$$L = \frac{V^2 \cdot \text{sen}(2\alpha)}{g}$$

QUANTO À POSIÇÃO DA PAREDE

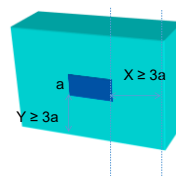
- Vertical
- Inclinada,
- Horizontal.

OBS: Quando a parede é horizontal e $h < 3d$ surge o vórtice, que afeta o coeficiente de descarga.



ORIFÍCIOS - CLASSIFICAÇÃO: CONTRAÇÃO DA VEIA LÍQUIDA

PROVOCADA PELO FUNDO E/OU PAREDES LATERAIS



CONTRAÇÃO COMPLETA
(EM TODAS AS ARESTAS DO ORIFÍCIO)



CONTRAÇÃO INCOMPLETA
(SÓ NA PARTE DE CIMA DO ORIFÍCIO)

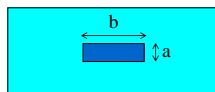
CORREÇÃO DO COEFICIENTE C_d PARA CONTRAÇÃO INCOMPLETA

Para orifícios retangulares, C_d assume o valor de C'_d , como mostrado abaixo:

$$C'_d = C_d \cdot (1 + 0,15 \cdot k)$$

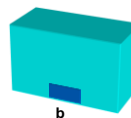
EQ. (12.27)

$$k = \frac{\text{perímetro da parte em que há supressão da contração}}{\text{perímetro total do orifício}}$$

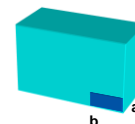


$$\text{Perímetro total} = 2 \cdot (a+b)$$

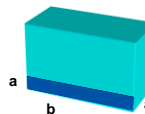
CORREÇÃO DO COEFICIENTE C_d PARA CONTRAÇÃO INCOMPLETA



$$k = \frac{b}{2(a+b)}$$



$$k = \frac{a+b}{2(a+b)}$$



$$k = \frac{2a+b}{2(a+b)}$$

CORREÇÃO DO COEFICIENTE C_d PARA CONTRAÇÃO INCOMPLETA

Para **orifícios circulares**, tem-se:

$$C'_d = C_d \cdot (1 + 0,13 \cdot k) \quad \text{EQ. (12.28)}$$

- Para orifícios junto a **uma parede lateral ou ao fundo**, $k = 0,25$;
- Para orifícios junto ao **fundo e a uma parede lateral**, $k = 0,50$;
- Para orifícios junto ao **fundo e a duas paredes laterais**, $k = 0,75$.

ESCOAMENTO SOB CARGA VARIÁVEL

Problema típico: esvaziamento de um reservatório por meio de um **orifício de pequena dimensão**, durante o qual altura h diminui:

Como determinar o tempo para enchimento/esvaziamento total ou parcial do reservatório?

Com a redução de h , a vazão Q também irá decrescer

ESCOAMENTO SOB CARGA VARIÁVEL

Hipótese: C_d constante

Num instante t a vazão que passa pelo orifício será: $Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$

No intervalo de tempo dt , o volume infinitesimal escoado será então:

$$dvol = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \cdot dt \quad (*)$$

Obs: Lembrar que $vol = Q \cdot t$

ESCOAMENTO SOB CARGA VARIÁVEL

Nesse mesmo intervalo de tempo, o nível de água no reservatório variará de uma altura dh , o que corresponde ao volume:

$$dvol = A_r \cdot dh \quad (**)$$

A_r = área do reservatório (m^2)=cte;

t = tempo necessário para o esvaziamento (s).

ESCOAMENTO SOB CARGA VARIÁVEL

Igualando as duas expressões para o volume (*) e (**), pode-se isolar o valor de dt :

$$A_r dh = C_d A \sqrt{2gh} dt$$

$$dt = \frac{A_r dh}{C_d A \sqrt{2gh}}$$

Integrando-se a expressão entre dois níveis, h_1 e h_2 , obtém-se o valor de t :

$$t = \frac{A_r}{C_d A \sqrt{2g}} \int_{h_2}^{h_1} h^{-1/2} dh$$

$$t = \frac{2A_r}{C_d A \sqrt{2g}} (h_1^{1/2} - h_2^{1/2}) \quad \text{EQ. (12.33)}$$

A = área do orifício (m^2)
 A_r = área do reservatório (m^2)

ESCOAMENTO SOB CARGA VARIÁVEL

Quando o esvaziamento é completo,

$$h_1 = h \quad \text{e} \quad h_2 = 0$$

$$t = \frac{2A_r}{C_d A \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{h}$$

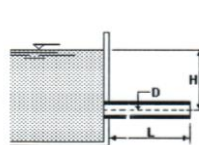
Expressão é aproximada, já que para $h < 3$ vezes a dimensão vertical do orifício d , ele não poderia mais ser considerado pequeno.

ESCOAMENTO SOB CARGA VARIÁVEL

- Caso A_r = variável com h (reservatório não prismático):

$$t = \frac{1}{C_d A \sqrt{2g}} \int_{h_2}^{h_1} A_r(h) h^{-1/2} dh \quad \text{EQ. (12.32)}$$

Bocais



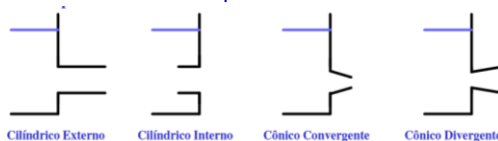
• Se $1,5 \leq L/D \leq 5$: bocais

• Se $5 \leq L/D \leq 100$: tubos muito curtos

• Se $100 \leq L/D \leq 1000$: tubos curtos

• Se $L/D \geq 1000$: tubulações longas

Tipos



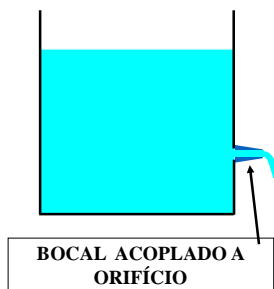
Cilíndrico Externo

Cilíndrico Interno

Cônico Convergente

Cônico Divergente

BOCAIS



MINI-CANHAO = CANHAO de 1" 1/2" x 2 1/2".
Vazão de 1,2 a 45,3 m³/h.
Diâmetro molhado de 40m a 0,5m.



Bocais de aspersores são projetados com coeficientes de descarga $C_d \cong 1,0$ (mínima redução de vazão)



Bombeiro (alcance)

Bocais – leis e tipos

Bocais: O escoamento através destes dispositivos tem o mesmo fundamento teórico do escoamento através dos orifícios.

C_d = coeficiente de descarga para bocais

(assuma valores diferentes conforme o tipo de bocal)

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

Bocais cilíndricos: vazão maior que nos orifícios de mesmo D

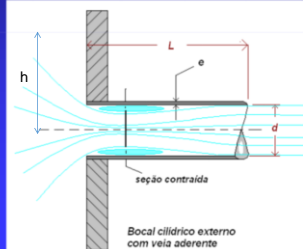
Bocal Padrão: $L = 2,5 d$

Bocal cilíndrico externo

A peça é adaptada ficando externamente à parede do reservatório.

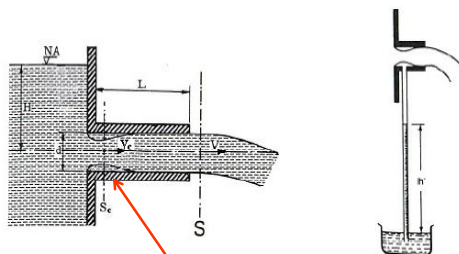
Há formação de seção contraída que fica no interior do bocal

A_c = área da seção contraída



Bocal cilíndrico externo com veia aderente

POR QUE O BOCAL FAVORECE O ESCOAMENTO?



Zona de formação de vácuo: o escoamento se dá contra pressão menor que a atmosférica, contribuindo para o aumento da vazão.

Bocal cilíndrico Externo

Obs:

- C_d médio = 0,82
- C_d varia ligeiramente com L/d

Coefficiente de descarga para bocal cilíndrico externo

L/d	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0
C_d	0,60	0,75	0,78	0,79	0,80	0,82	0,79

Bocal Cilíndrico Interno:

A peça adaptada às paredes do reservatório fica para o lado de dentro do reservatório, formando uma saliência.

- Nesse caso a vazão é menor que num orifício de mesmo diâmetro.
- Propicia um jato líquido bastante regular
- Se $L = 2,5 d \rightarrow$ bocal de borda ($C_c = 0,52, C_v = 0,98, C_d = 0,51$)
- Se $L < 2,5 d \rightarrow C_d$ aumenta

Bocal cilíndrico interno

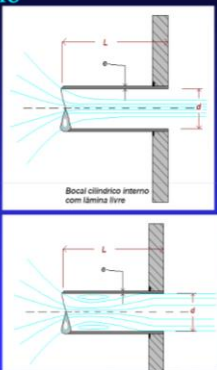
Pode ou não haver efeitos da contração do jato.

A veia fluida pode ser livre, contraída ou aderente.

Lâmina livre não enche completamente o tubo, permitindo uma região externa, dentro do bocal, onde ocorre pressão atmosférica.

Lâminas contraída ou aderente promove o enchimento completo do bocal.

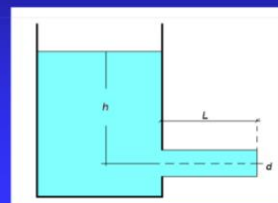
Se $L < 2D$: coef de descarga tende C_d de orifícios de parede espessa
 Se $L > 2,5D$: produz descarga análoga aos bocais cilíndricos externos



Tubo Curto com Descarga Livre

- Estrutura destinada ao escoamento de água com pequena carga e comprimento entre 5d e 1000d.
- Tubo muito curto: $5d < L < 100d$
- Tubo curto: $100d < L < 1000d$
- Tubo longo: $L > 1000d$

- Utiliza-se a lei dos escoamentos em orifícios com C_d adaptado.
- Fórmulas para tubulações longas se aplicam para $L > 1000d$



Tubos curtos com descarga livre

Coefficiente de descarga para tubos curtos

- Valores de C_d para tubos de ferro fundido de 0,30m de diâmetro, segundo o Manual de Hidráulica do Azevedo Neto

Valores do coeficiente de descarga, C_d												
L/D	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150
C_d	0,77	0,75	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55	0,48

Tubos curtos com descarga livre

Valores de C_d para condutos circulares de concreto, com entrada arredondada, segundo Manual de Hidráulica do Armando Lencastre.

$D(m)$	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,50	1,80
3	0,77	0,86	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
6	0,66	0,79	0,84	0,87	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93
9	0,59	0,73	0,80	0,83	0,86	0,87	0,89	0,89	0,90	0,91
12	0,54	0,68	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90
15	0,49	0,65	0,73	0,77	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89
18	0,46	0,61	0,70	0,75	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88
21	0,44	0,59	0,67	0,73	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87
24	0,41	0,56	0,65	0,71	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86
27	0,39	0,54	0,63	0,69	0,73	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85
30	0,38	0,52	0,61	0,67	0,71	0,74	0,77	0,79	0,82	0,84
33	0,36	0,50	0,59	0,65	0,70	0,73	0,76	0,78	0,81	0,83
36	0,35	0,49	0,58	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,80	0,82
39	0,34	0,47	0,56	0,62	0,67	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82
42	0,33	0,46	0,55	0,61	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81

Tubos curtos com descarga livre

Valores de Cd para condutos circulares de concreto, com entrada em aresta viva, segundo Manual de Hidráulica do Armando Lencastre. Pg 372 Livro HB

D(m)	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,50	1,80
3	0,74	0,80	0,81	0,80	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75
6	0,64	0,74	0,77	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,73
9	0,58	0,69	0,73	0,75	0,76	0,76	0,76	0,75	0,74	0,74
12	0,53	0,65	0,70	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73
15	0,49	0,62	0,68	0,71	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72
18	0,46	0,59	0,65	0,69	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
21	0,43	0,57	0,63	0,67	0,69	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71
24	0,41	0,54	0,61	0,65	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71
27	0,39	0,52	0,60	0,64	0,66	0,68	0,69	0,70	0,70	0,70
30	0,37	0,51	0,58	0,62	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70
33	0,36	0,49	0,56	0,61	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69	0,69
36	0,35	0,48	0,55	0,60	0,63	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69
39	0,33	0,46	0,54	0,59	0,62	0,64	0,65	0,66	0,68	0,68
42	0,32	0,45	0,53	0,58	0,61	0,63	0,65	0,66	0,67	0,68

Recomendação: Exemplo 12.3

Determinação aproximada da vazão

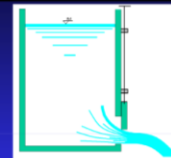
- Utilizar a lei geral dos orifícios: $Q = C_d \cdot A \cdot \text{raiz}(2gh)$
- Orifícios de parede delgada: $L/d < 0,5 \rightarrow C_d = 0,61$
- Para bocais: $1,5 < L/D < 5 \rightarrow C_d = 0,82$
 - ◆ Nesse caso ver questão da entrada
- Para tubos muito curtos, segundo Eytelwein e para tubos de ferro fundido, tem-se:

L/D	C _d
10	0,77
20	0,73
30	0,70
40	0,66
60	0,60

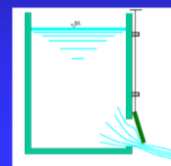
Definições: Comporta e Adufa

■ **COMPORTA**

◊ É uma peça adaptada aos orifícios, com um dos lados sujeito a um escoamento livre e com abertura variável.

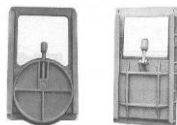
■ **ADUFA**

◊ São orifícios com contração incompleta, abertos em reservatórios, barragens ou canais, cuja abertura ou fechamento podem ser graduados através de superfície móvel.



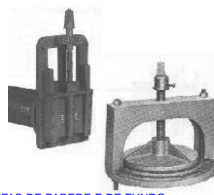
Adufas x comportas

- As comportas são portas que prendem águas de um dique, de um açude ou de uma represa. Quadradas ou circulares, só podem ser acionadas com pedestais de suspensão, nos quais a **haste se desloca verticalmente com a tampa durante a manobra.**



COMPORTAS CIRCULAR E QUADRADA

- As adufas são aparelhos com chapa **móvel em torno de um eixo ou com movimento de correr**, que se instalam nos condutos que regulam a **vazão de fundo** e cuja abertura ou fechamento podem ser graduados. Durante sua manobra, apenas a tampa sofre deslocamento vertical.



ADUFAS DE PAREDE E DE FUNDO

5.11 ADUFA

É um dispositivo usado para a descarga de águas de instalações hidráulicas sob pressão atmosférica, reservatórios, circulares, pequenas barragens, etc., ver figura 5.35. Difere da comporta pelo fato de descarregar a água através de uma tubulação em lugar de uma abertura direta na parede de um canal.

São projetadas para trabalhar com pressão hidráulica exercendo uma força sobre a tampa contra o corpo da adufa.

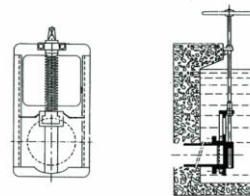
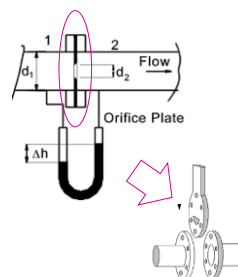


Figura 5.35 - Corte esquemático de adufa de parede (Fonte: Barbara)

Obrigada!

USO DE ORIFÍCIO NA MEDIÇÃO DE VAZÃO



Tipos de placas de orifício

- quanto à área de passagem

Concêntricas elíptica segmental



Com a restrição da placa o fluxo é obrigado a mudar de velocidade, e, provocar um diferencial de pressão

USO DE ORIFÍCIO NA MEDIÇÃO DE VAZÃO – Cont.

$$v_2 = C_o \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)}}$$

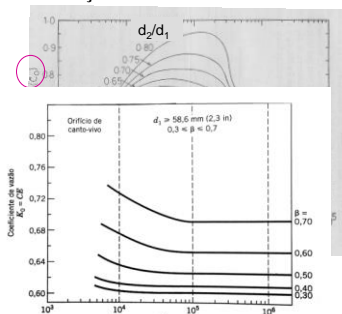
$$Q = v_2 \cdot A_2 = v_1 \cdot A_1$$

Para efeito de comparação, será calculado coeficiente de descarga através da equação e fornecida pela norma NBR ISO 5167-1, apresentada

$$C_{emp} = 0.5959 + 0.0312 \cdot \beta^{2.1} -$$

$$-0.184 \cdot \beta^8 + 0.0029 \cdot \beta^{2.5} \cdot \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0.75} +$$

$$+0.09 \cdot L1 \cdot \beta^4 \cdot (1 - \beta^4)^{-1} - 0.0337 \cdot L2 \cdot \beta^3$$



Exemplo: Para $Re = 1000$ e razão diâmetro do orifício e diâmetro do tubo de 0,60, $C_o = 0,77$.

Principais características das placas de orifício

- ✓ Precisão de até 1%
- ✓ Acrescenta relativa ΔP ao circuito
- ✓ Não recomendável para $Re < 2500$.
- ✓ Range de vazão: entre o máximo e o mínimo valor – fator de 5 para um determinado orifício – para garantia de linearidade

Dados importantes nas placas de orifício:

Razão $d/D = 0,20$ a $0,75$ (razão beta)

Tipos de placas de orifício - quanto à área de passagem

Concêntricas elíptica segmental

