



8º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE
TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO
E

2º SIMPÓSIO LATINO AMERICANO
SOBRE TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO

ABCM

Gramado, RS, Brasil
25 a 28 de setembro de 1994

CTVP

O COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA DE CANALIZAÇÕES CILÍNDRICAS
DE SECÇÃO COMPOSTA.

A681c

Hans George Arens 129712

Departamento de Hidráulica e Saneamento

Escola de Engenharia de São Carlos

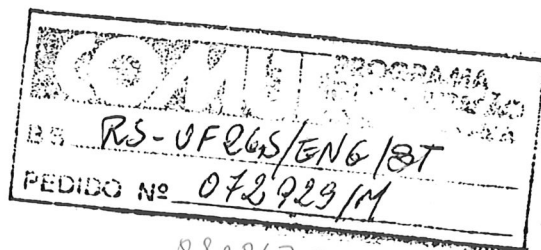
USP

SUMÁRIO

O coeficiente de perda de carga f_c de um escoamento forçado em um duto circular de secção composta é determinado através de um modelo físico simplificado. Os resultados teóricos comparados com os resultados experimentais obtidos através de ensaios de duas secções geométricas formadas por um ou dois dutos circulares, inseridos concêntricamente numa canalização principal.

SUMMARY

The friction coefficient of a forced flow in a circular pipe with composite section is determined by a simplified physical model. The theoretical curves of the model are compared with experimental data obtained from two geometrical sections which were formed by concentric insertion of one or two pipes in a greater circular duct.



882867
08.06.95

3.03.01.00-9
3.03.01.02-4

1. Introdução

Válvulas, diafragmas, estranguladores e uma série de outros acessórios similares são frequentemente usados para provocar quedas de pressão em escoamentos em dutos forçados. A perda de carga Δh provocada pelo acessório é considerada como uma perda localizada no ponto de inserção e geralmente é expressa por

$$\Delta h = k \frac{v^2}{2g} \quad (1.1)$$

onde k é um parâmetro particular do acessório considerado e v a velocidade média do escoamento.

Muitas vezes, as velocidades que ocorrem nas secções contraídas desses acessórios são bem maiores do que v . Nesses casos, em algumas condições, podem surgir regiões de cavitação.

Para atenuar esse risco, pode-se acentuar a ação das tensões tangenciais, utilizando-se colméias diretoras muito finas que atuam como uma perda de carga localizada sem entretanto, causar um aumento mais significativo da velocidade. Pode-se também, recorrer a secções cilíndricas compostas, inserindo-se num trecho da própria canalização principal, uma série de canalizações secundárias (de menor diâmetro e de pequena espessura), aumentando-se dessa forma a perda de carga distribuída. Nesse trecho, o coeficiente de perda de carga, f_c , será maior do que o valor f da canalização principal em sua condição normal livre.

A figura 1.1 exemplifica uma dessas secções compostas, na sua geometria mais simples e simétrica, formada por 2 dutos circulares de espessura desprezível, inseridos de forma concêntrica na canalização principal.

No trecho composto, f_c é maior do que f e se as dimensões forem bem escolhidas, as velocidades no núcleo central e nas regiões anulares não se afastarão significativamente do valor assumido pela velocidade média da canalização principal.

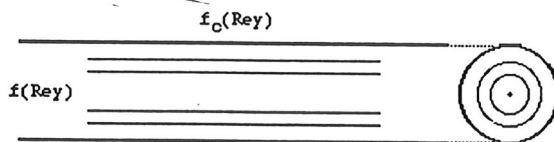


Fig.1.1 Uma secção composta obtida com a inserção de
2 dutos concêntricos

SYSNO 882867
PROD 0000468

O presente artigo mostra o confronto entre os dados experimentais, obtidos em testes realizados em escoamentos turbulentos através de duas secções compostas, com os valores teóricos calculados por um modelo analítico simplificado.

2. O Modelo Analítico

A figura 2.1 mostra um escoamento turbulento através da secção composta mais simples que é a secção formada por um único duto secundário inserido de forma axisimétrica na canalização principal.

Se a região central e a anular forem indexadas respectivamente com os índices 1 e 2, a perda Dh no trecho composto pode ser expressa por

$$\Delta h = f_1 \frac{v_1^2}{2g} \frac{L}{4Rh_1} \quad (2.1)$$

$$\Delta h = f_2 \frac{v_2^2}{2g} \frac{L}{4Rh_2} \quad (2.2)$$

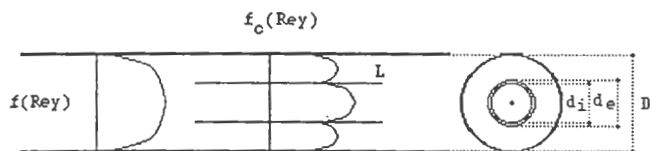


Fig.2.3 Escoamento turbulento através de uma secção composta formada por 1 duto concêntricos

que em conjunto com as expressões de Blasius

$$f_1 = \frac{0,3164}{Rey_1^{0,25}} \quad (2.3)$$

$$f_2 = \frac{0,3164}{Rey_2^{0,25}} \quad (2.4)$$

$$Rey_1 = \frac{v 4Rh_1}{\nu} \quad (2.5)$$

$$Rey_2 = \frac{v 4Rh_2}{\nu} \quad (2.6)$$

e com a equação da continuidade

$$vA = v_1 A_1 + v_2 A_2 \quad (2.7)$$

permite determinar as velocidades

$$\frac{v_1}{v} = \frac{1}{\frac{A_1}{A} + \frac{A_2}{A} \left(\frac{Rh_1}{Rh_2} \right)^{\frac{5}{4}}} \quad (2.8)$$

e

$$\frac{v_2}{v} = \frac{1}{\frac{A_2}{A} + \frac{A_1}{A} \left(\frac{Rh_1}{Rh_2} \right)^{\frac{5}{4}}} \quad (2.9)$$

e como

$$f_c = \frac{\Delta h}{\frac{v^2}{2g} \frac{L}{4Rh}} \quad (2.10)$$

e

$$Rey = \frac{v 4Rh}{\nu} \quad (2.11)$$

segue que

$$f_c = \frac{0,3164 \left(\frac{v}{\nu} \right)^{-\frac{1}{4}}}{Rey^{0,25} \left(\frac{Rh_1}{Rh} \right)^{\frac{5}{4}}} \quad (2.12)$$

que finalmente se transforma em

$$\frac{f_c}{f} = \frac{\left(\frac{v_1}{v} \right)^{\frac{5}{4}}}{\left(\frac{Rh_1}{Rh} \right)^{\frac{5}{4}}} \quad (2.13)$$

As curvas representativas v_1/v , v_2/v e f_c/f dependem de A_1/A , A_2/A , Rh_1/Rh_2 e Rh_1/Rh que, por sua vez, dependem apenas dos parâmetros geométricos d/D e e/D , onde $d=d_i$ e $e=e-d_i$.

Mostra-se que

$$\frac{A_1}{A} = \frac{d^2}{D^2} \quad (2.14)$$

$$\frac{A_2}{A} = 1 - \frac{d^2}{D^2} \left(1 + \frac{2\frac{e}{D}}{\frac{d}{D}} \right)^2 \quad (2.15)$$

$$\frac{Rh_1}{Rh} = \frac{d}{D} \quad (2.16)$$

$$\frac{Rh_2}{Rh} = \frac{1 - \frac{d^2}{D^2} \left(1 + \frac{2\frac{e}{D}}{\frac{d}{D}} \right)^2}{1 + \frac{d}{D} + \frac{e}{D}} \quad (2.17)$$

que permitem o traçado das curvas da figura 2.2 e 2.3.

Nota-se que, para uma espessura nula ($e=0$), a curva f_C/f admite um máximo no ponto $d/D=0,62$ onde $f_C/f=2,581$ sem causar uma mudança significativa no valor das velocidades.

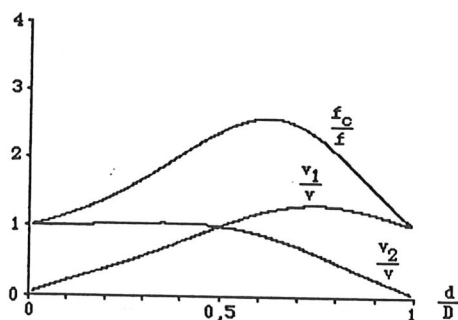


Fig.2.2 Curvas representativas f_C/f v_1/v v_2/v em função de d/D (espessura $e=0$)

Para valores crescentes de e/D , a razão f_C/f aumenta consideravelmente sem, a princípio, alterar de forma marcante as velocidades no núcleo e na região anular (fig.2.3).

O modelo adotado pode ser facilmente estendido para as canalizações secundárias, dispostas de forma qualquer mas mantendo o paralelismo entre os eixos. As equações das velocidades se transformam em

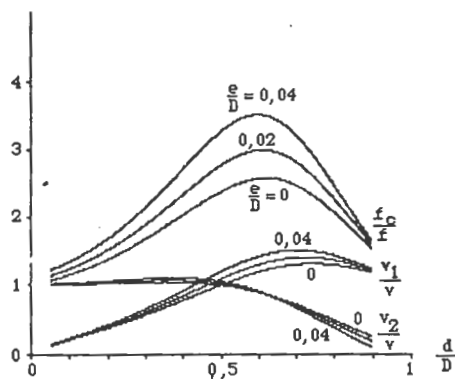


Fig.2.3 Curvas representativas f_C/f v_1/v v_2/v em função de d/D (espessuras $e/D=0$ $0,02$ e $0,04$)

$$\frac{v_1}{v} = \frac{1}{\frac{A_1}{A} + \frac{A_2}{A} \left(\frac{Rh_2}{Rh_1} \right)^{\frac{5}{7}} + \dots + \frac{A_n}{A} \left(\frac{Rh_n}{Rh_1} \right)^{\frac{5}{7}}} \quad (2.18)$$

$$\frac{v_2}{v} = \frac{1}{\frac{A_1}{A} \left(\frac{Rh_1}{Rh_2} \right)^{\frac{5}{7}} + \frac{A_2}{A} + \dots + \frac{A_n}{A} \left(\frac{Rh_n}{Rh_2} \right)^{\frac{5}{7}}} \quad (2.19)$$

.....

$$\frac{v_n}{v} = \frac{1}{\frac{A_1}{A} \left(\frac{Rh_1}{Rh_n} \right)^{\frac{5}{7}} + \frac{A_2}{A} \left(\frac{Rh_2}{Rh_n} \right)^{\frac{5}{7}} + \dots + \frac{A_n}{A}} \quad (2.20)$$

e coeficiente f_C satisfazendo a equação (2.13) e dessa forma

$$\frac{f_C}{f} = \frac{\left(\frac{v_1}{v} \right)^{\frac{7}{4}}}{\left(\frac{Rh_1}{Rh} \right)^{\frac{5}{4}}}$$

O modelo analítico pode ser ampliado com a definição do diâmetro D^* de uma canalização principal equivalente, perfeitamente lisa, que possui a mesma área útil da secção

composta ($A^* = A_1 + A_2 + \dots + A_n$) e cujo coeficiente de perda de carga f^* segue a formulação de Blasius $f^* = 0,3164 / \text{Rey}^{*0,25}$.

A velocidade v^* , o diâmetro D^* e o número de Reynolds Rey^* nessa canalização obedecerão então a

$$v^* = \frac{q}{A^*} \quad (2.21)$$

$$D^* = 2 \sqrt{\frac{A^*}{\pi}} \quad (2.22)$$

$$\text{Rey}^* = \frac{\rho v^* D^*}{\mu} \quad (2.23)$$

O coeficiente de perda f_c^* da seção composta calculado em relação ao diâmetro D^* da canalização equivalente assume a forma

$$f_c^* = \frac{\Delta h}{\frac{v^{*2}}{2g} \frac{L}{D^*}} \quad (2.24)$$

e na canalização equivalente segue que

$$f^* = \frac{0,3164}{\text{Rey}^{*0,25}} \quad (2.25)$$

A nova razão f_c^*/f^* serve como um indicador do aumento efetivo sofrido pelo coeficiente de perda de carga, sem o efeito causado pela diminuição da área útil da seção composta.

3. Os Resultados Experimentais

As figuras 3.1 e 3.2 mostram as curvas teóricas e os pontos experimentais correspondentes, obtidos com os ensaios de duas seções compostas, formadas respectivamente por um único duto secundário e 8 dutos secundários.

Nota-se que os pontos experimentais se aproximam bem das curvas teóricas geradas pelo modelo analítico simplificado. Os valores médios de f_c/f e f_c^*/f^* também são praticamente constantes em quase todo o intervalo de variação do número de Reynolds Rey (ou Rey^*) e sua comparação com os valores teóricos $(f_c/f)_{th}$ e

$(f^*_c/f^*)_{th}$ mostra que os desvios, de uma maneira geral, são menores que 10%.

	f_c/f	$(f_c/f)_{th}$	f^*_c/f	$(f^*_c/f^*)_{th}$
1 duto secundário	4,73	3,68	3,14	2,75
8 dutos secundários.	17,0	16,34	7,92	7,54

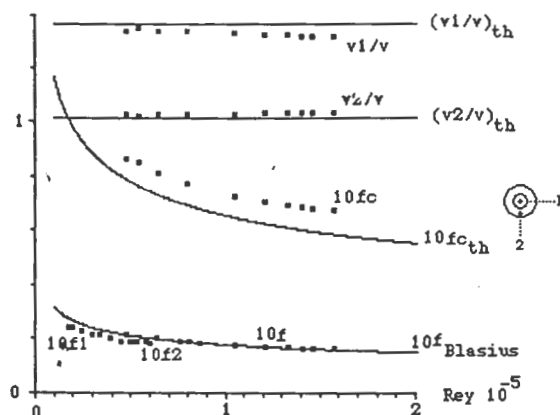


Fig.3.1.a Secção composta formada por um único duto secundário
 $d_{li}=27,3\text{mm}$ $d_{le}=32,2\text{mm}$ Redução de área $A^*/A=0,88$

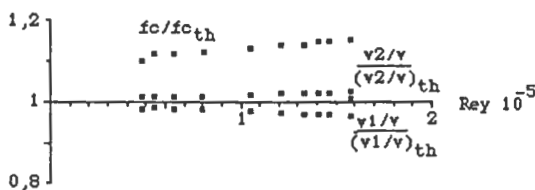


Fig.3.1.b Parâmetros adimensionais correspondentes da Fig.3.1.a

O modelo analítico adota como hipóteses restritivas a igualdade e a constância de todas as tensões tangenciais ao longo de cada duto secundário, considera desprezível as perdas de carga localizadas na entrada e na saída da secção composta e adota o perfeito paralelismo entre dutos secundários e a canalização

principal. Isso explica os pequenos desvios observados nos ensaios com a secção de 8 dutos secundários, que se adapta melhor às restrições comentadas.

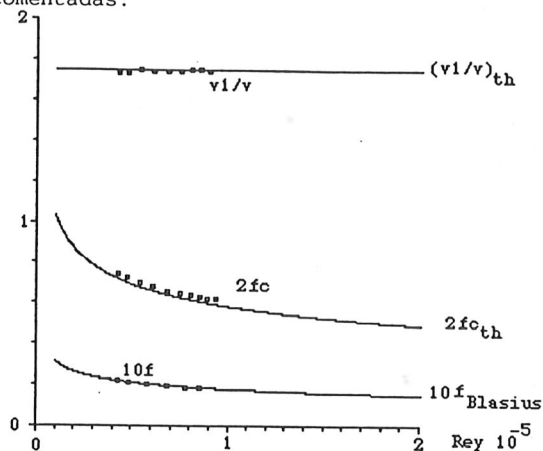


Fig.3.2.a Secção composta formada por 8 dutos secundários
 $d_{li}=11,7\text{mm}$ $d_{le}=15,0\text{mm}$ Redução de área $A^*/A=0,72$

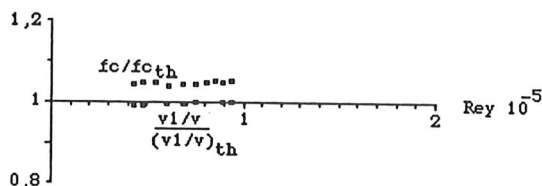


Fig.3.2.b Parâmetros adimensionais correspondentes da Fig.3.2.a

4. Conclusão

É interessante notar que, para a secção composta de 8 dutos secundários, se tem $f_c/f=17,0$ e $f_c^*/f^*=7,92$, o que significa que à cada metro da canalização composta, correspondem 17 m de canalização principal ($d=50\text{mm}$) ou 7,92 m de uma canalização circular equivalente, perfeitamente lisa e de mesma área útil da secção composta ($d^*=42,72\text{mm}$).

As considerações apresentadas, permitem validar o modelo analítico desenvolvido nesse trabalho e considerá-lo bem representativo, para simular o escoamento turbulento forçado nas secções compostas ensaiadas.

Os modernos métodos numéricos, aplicados aos modelos turbulentos, permitem obter soluções analíticas mais sofisticadas que são aplicáveis até em geometrias não axi-simétricas. Devem, portanto, simular o fenômeno estudado, com maior fidelidade e precisão. Entretanto, a aplicação restrita dos resultados não justifica, no momento, um investimento maior de recursos e tempo para desenvolver esses programas computacionais mais complexos.

5. Bibliografia

Benedict, R.P., "Fundamentals of Pipe Flow", John Wiley & Sons, New York, 1980.

Daily J.W., Harleman D.R.F., "Fluid Dynamics", Addison Wesley Publishing Comp., USA.

Schlichting H., "Grenzschicht Theorie", Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1982

Wolfram S., "Mathematica", Second Edition, Addison Wesley Publishing Company, 1992

6. Agradecimentos

Agradece-se à FAPESP pelo apoio financeiro concedido através do processo 92/3129-6.