SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

# ANGOSTAMIENTO BRUSCO EN TUBERIAS

Francisco Javier Domínguez S. *
Juan Ramón Huneeus Domínguez **
José Nicolás Hurtado Vicuña **

A comienzos de 1973, en el Laboratorio del Departamento de Obras Hidráulicas de la Universidad Católica, se realizó un estudio experimental sobre Angostamiento Brusco en Tuberías.

En el desarrollo de este trabajo se consultaron diferentes gastos y grados de estrechamiento, manteniendo constante la presión aguas arriba de la singularidad.

En las páginas que siguen se hace una breve reseña de algunas de las conclusiones de interés que resultaron de la mencionada investigación.

* Ingeniero Civil UC. Profesor Universidad de Chile
** Ingeniero Civil UC.
** Ingeniero Civil UC.

## SIMBOLOS UTILIZADOS

D : Diámetro de la Tubería

A : Area de la Sección de la Tubería

p : Presión

h : Altura Geométrica

g : Aceleración de Gravedad

$\gamma$ : Peso Específico

U : Velocidad Media

u : Velocidad puntual

$u_c$ : Velocidad en el centro de la Tubería

$\alpha$ : Coeficiente de Coriolis

x : Distancia desde el plano del Angostamiento a la Sección de Aguas Abajo Considerada

$U_m$ : Velocidad máxima

$\delta$ : Espesor de la Capa Límite

K : Coeficiente de Pérdida de Carga Singular

$\Lambda$ : Pérdida de Carga Singular

Los Subindices 0 y 1 se refieren a las tuberías de aguas arriba y aguas abajo, respectivamente.



## 1.- DISTRIBUCION DE PRESIONES.-

De las experiencias realizadas puede concluirse que hasta 0,5 Do aguas arriba de la singularidad (figura 1), rige la distribución hidrostática de presiones, y que este tipo de distribución se restablece a 2D1 aguas abajo del estrechamiento brusco.

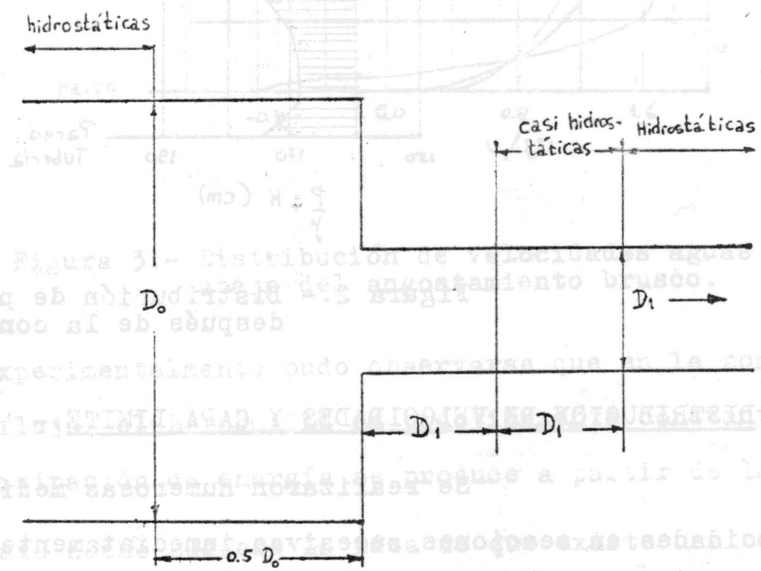



Figura 1.- Distribución de presiones en el estrechamiento brusco.

Entre $D_1$ y $2D_1$ aguas abajo del plano de estrechamiento, la repartición de presiones es casi hidrostática.

En la zona que sigue inmediatamente a la contracción, la distribución de presiones acusa el efecto de la curvatura

del flujo, y se asemeja a la indicada en la figura 2.

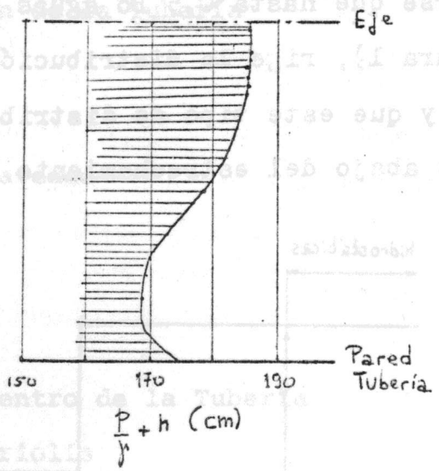



Figura 2.- Distribución de presiones después de la contracción.

2.- DISTRIBUCION DE VELOCIDADES Y CAPA LIMITE.-

Se realizaron numerosas mediciones de velocidades en secciones sucesivas inmediatamente aguas abajo del estrechamiento, utilizando sondas de Pitot.

La gran semejanza que tienen entre sí los perfiles de velocidad, hace posible representarlos adimensionalmente, en función del parámetro $\frac{u}{U}$, donde u indica la velocidad puntual y U la velocidad media a través de la tubería, determinada por aforo volumétrico.

En la figura 3 aparecen algunos perfiles de velocidad típicos.



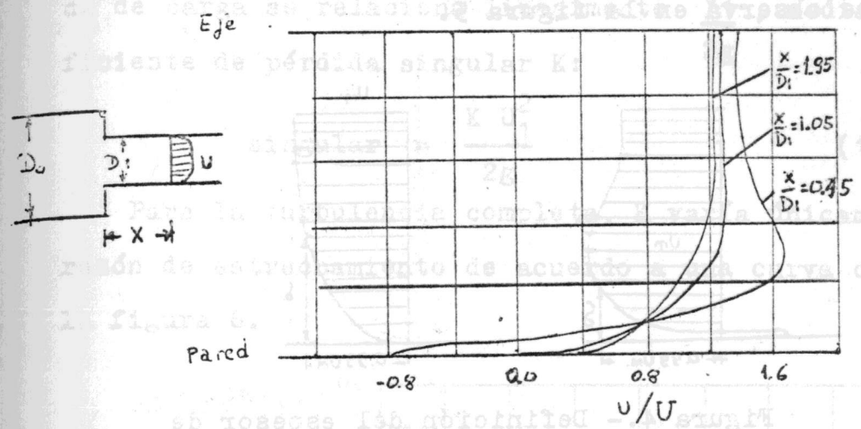



Figura 3.- Distribución de velocidades aguas abajo del angostamiento brusco.

Experimentalmente pudo observarse que en la zona central del flujo, el Bernouilli es prácticamente constante, y que la disipación de energía se produce a partir de la periferia.

Este hecho sugiere la idea de que existe una capa límite, que comienza a desarrollarse a partir del estrechamiento. Conviene sin embargo advertir que, a causa de la curvatura y consiguiente rotacionalidad del flujo, la noción de capa límite no es en este caso aplicable sino en forma aproximada.

Definiendo el espesor de la capa límite como la distancia a la pared para la cual la velocidad es el 99% de la velocidad máxima (figura 4), se determinó experimentalmente

el desarrollo de la capa límite en secciones sucesivas, como se observa en la figura 5.

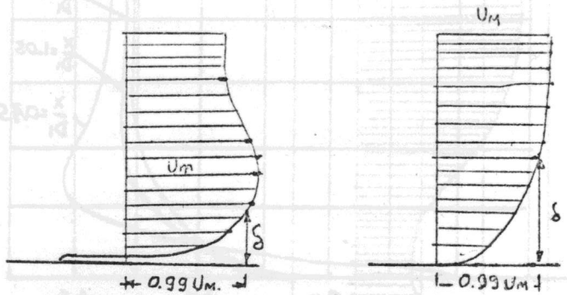



Figura 4.- Definición del espesor de la capa límite.

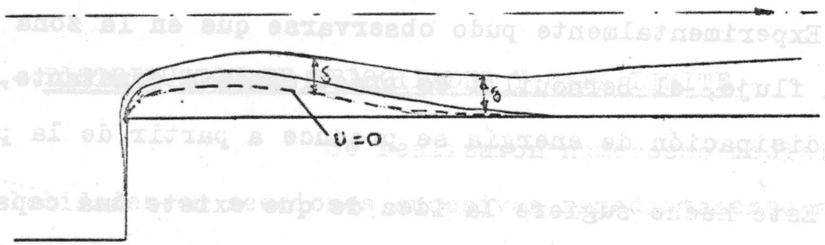



Figura 5.- Desarrollo experimental de la capa límite.

Puede apreciarse que el desarrollo de la capa límite es sensiblemente lineal, y que el régimen uniforme se restablece a unos 35 a 60 $D_1$, aguas abajo del angostamiento brusco, lo cual concuerda con investigaciones anteriores.

3.- PERDIDA DE CARGA SINGULAR.

Las experiencias realizadas permiten con-



cluir que para la turbulencia bien desarrollada, la pérdida de carga se relaciona linealmente $\frac{U_1^2}{2g}$, mediante un coeficiente de pérdida singular K:

$$\text{singular} = \frac{K\,U_1^2}{2g} \qquad (1)$$

Para la turbulencia completa, K varía únicamente con la razón de estrechamiento de acuerdo a una curva como la de la figura 6.

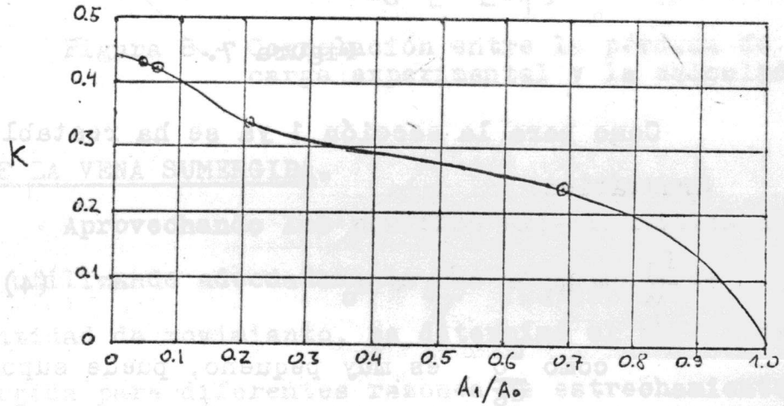



Figura 6.- Variación del coeficiente de pérdida singular con el grado de estrechamiento.

Atendiendo al hecho de que en el centro de las tuberías el Bernouilli se mantiene prácticamente constante, para el tubo de corriente central puede escribirse (figura 7):

$$\frac{p_o}{\gamma} + h_o + \frac{u_o^2}{2g} = \frac{p_c}{\gamma} + h_c + \frac{u_1^2}{2g} \qquad (2)$$

Para el flujo total, se verifica que:

$$\frac{p_o}{\gamma} + h_o + \alpha_o \frac{U_o^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{U_1^2}{2g} + \Lambda \text{ singular} \qquad (3)$$

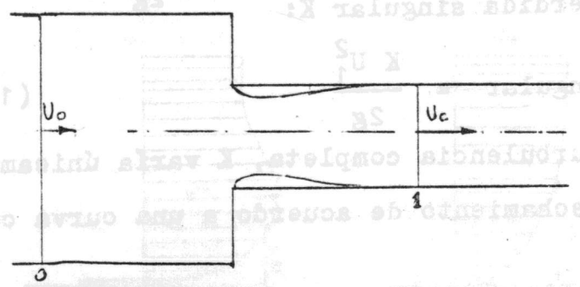



Figura 7.

Como para la sección 1 ya se ha restablecido la ley hidrostática,

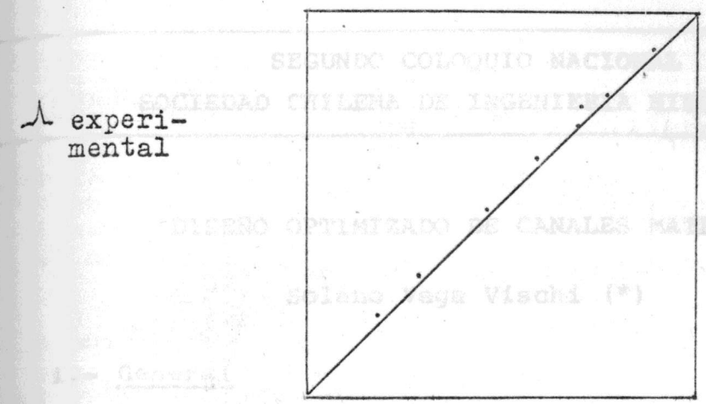
$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 = \frac{p_c}{\gamma} + h_c \qquad (4)$$

como $\frac{U_o^2}{2g}$ es muy pequeño, puede suponerse $\alpha_o = 1$, e introduciendo (2) y (4) en (3), se obtiene

$$\Lambda \text{ singular} = \frac{U_1^2}{2g}\left[\left(\frac{U_c}{U_1}\right)^2 - 1\right] \qquad (5)$$

Aprovechando los datos experimentales sobre velocidades, se calculó la pérdida de carga singular mediante la expresión (5), comparándola con la que se obtiene experimentalmente lecturas de los piezómetros parietales. Se obtiene así una correlación bastante buena, que se indica en la fig. 8.






$$\Lambda \text{ calculado} = \frac{U_1^2}{2g}\left[\left[\frac{U_c}{U_1}\right]^2 - 1\right]$$

Figura 8.- Correlación entre la pérdida de carga experimental y la calculada.

4.- PERFIL DE LA VENA SUMERGIDA.

Aprovechando los perfiles experimentales de velocidad, y utilizando adecuadamente las ecuaciones de energía y cantidad de movimiento, se determinó el perfil de la vena sumergida para diferentes razones de estrechamiento.

A modo de ilustración, en la fig. 9 se representa el contorno del chorro sumergido para el caso de la contracción completa.-

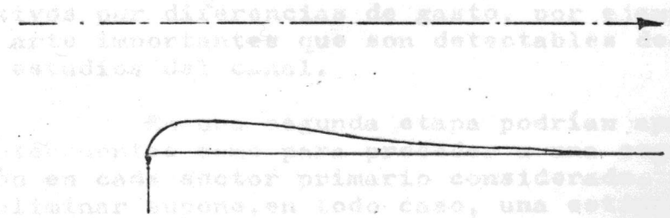


figura 9.- Perfil de la vena sumergida para el caso de contracción completa.