Medición de Flujo

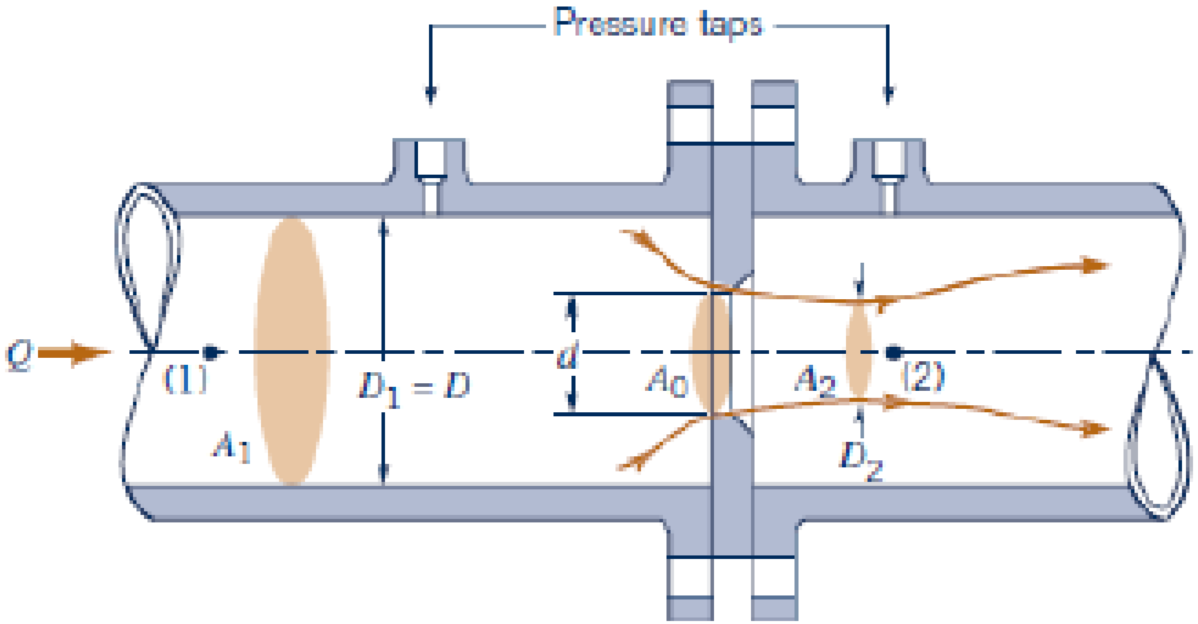
Se tienen algunos dispositivos en los que una disminución en el área ocasiona un incremento en la velocidad y una disminución en la presión.

De acuerdo con un balance de Bernoulli realizado con anterioridad y en ausencia de efectos viscosos, se obtiene:

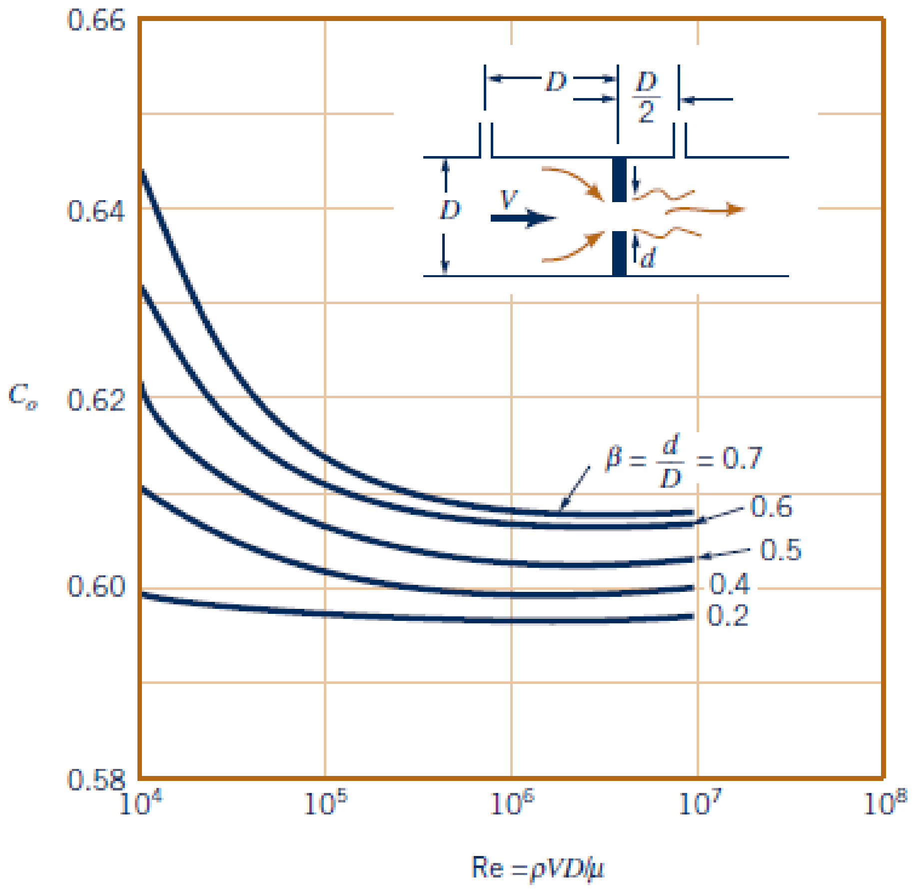
$$G_{ideal} = A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

En la que $\beta = D_2/D_1$.

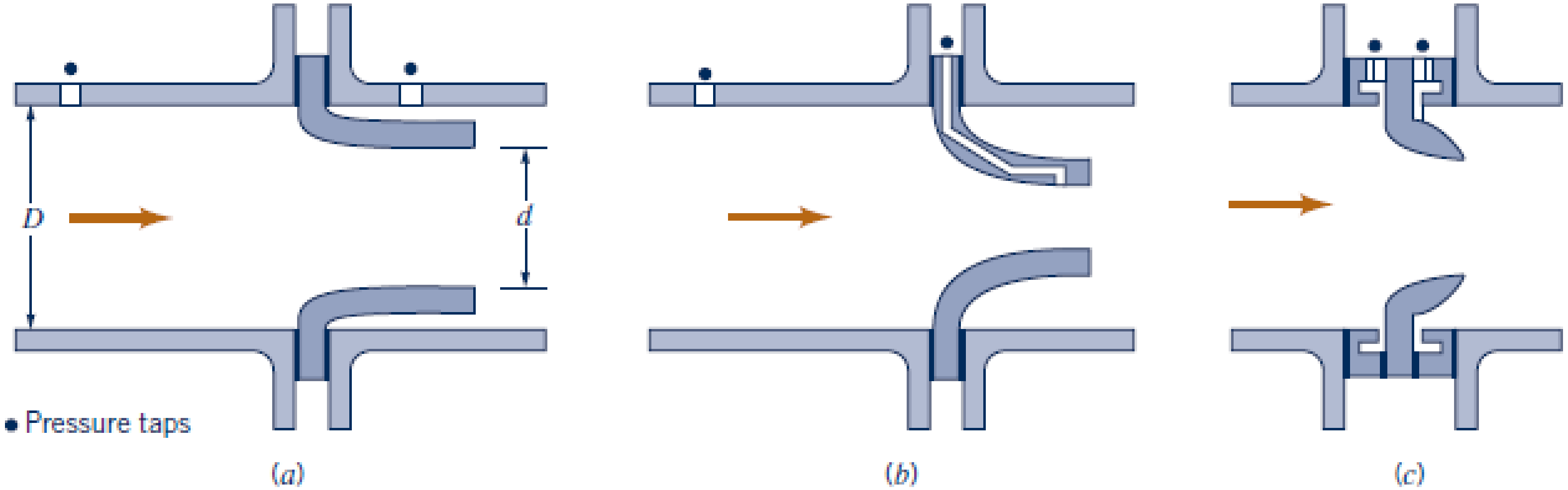
Cuando se quieren considerar los efectos viscosos, sin embargo, no se tiene una relación para calcularlos. Por tanto, a menudo se usan coeficientes empíricos para medir el flujo usando diferentes dispositivos.

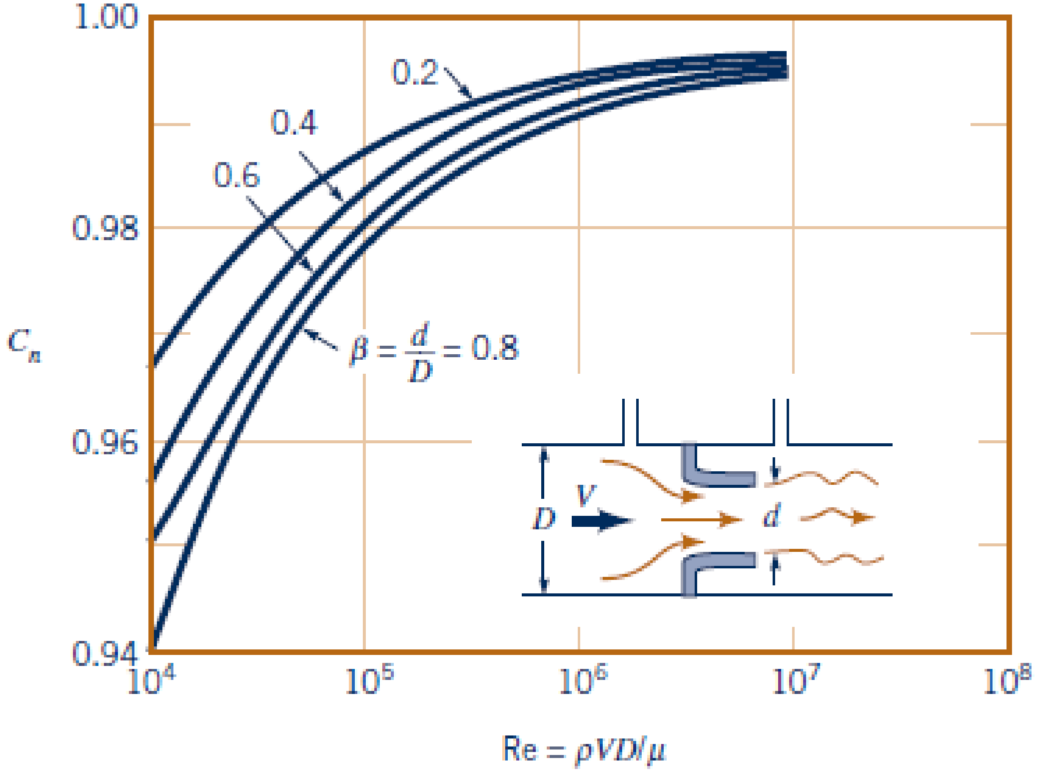


$$G = C_o G_{ideal} = C_o A_o \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1-\beta^4)}}$$

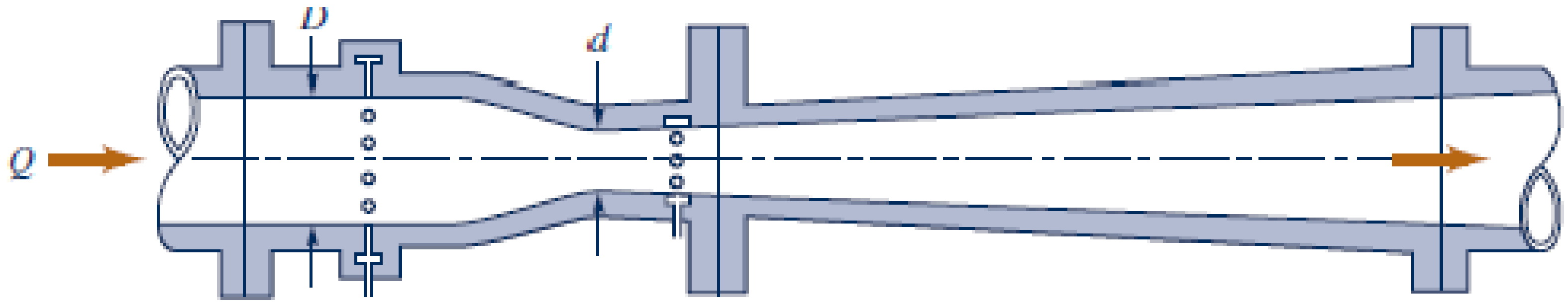


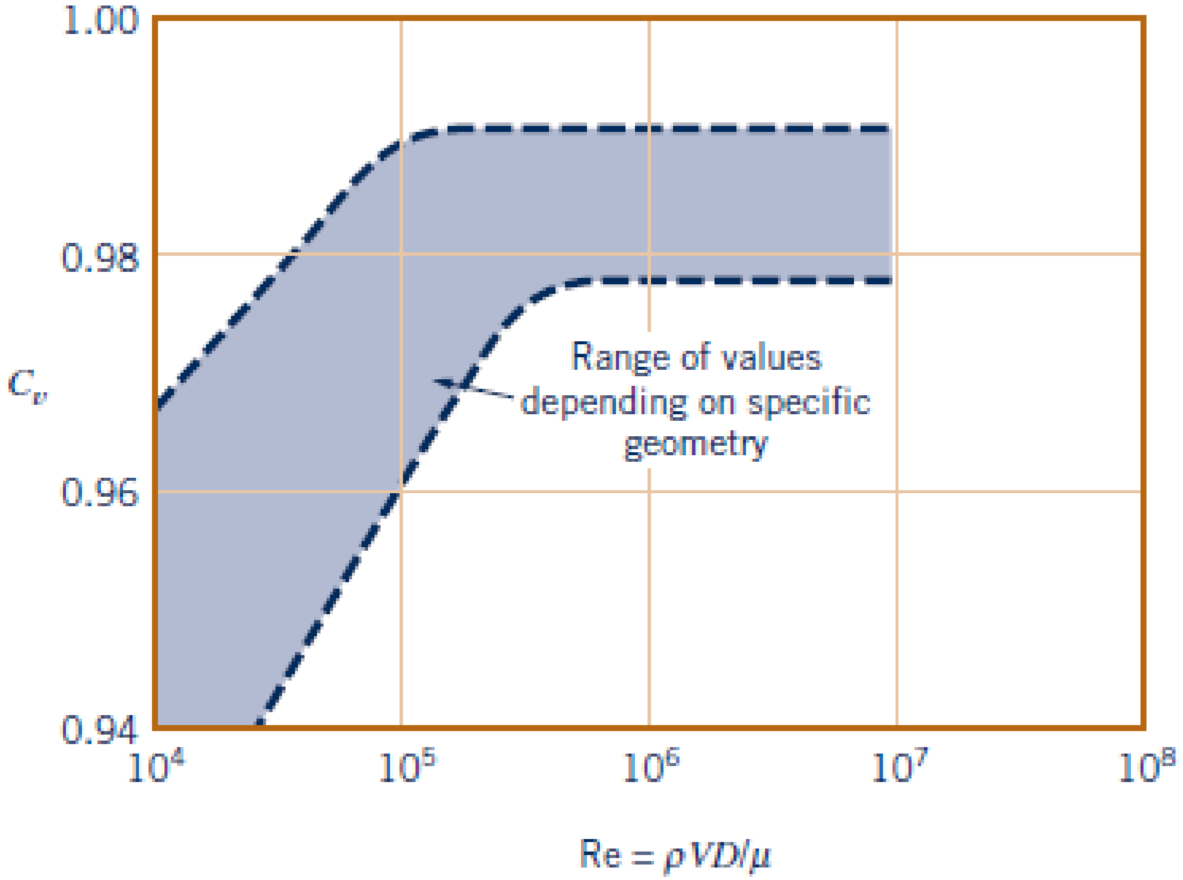
- El valor de *Co* depende del Reynolds y de β.





$$G = C_b G_{ideal} = C_b A_b \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$





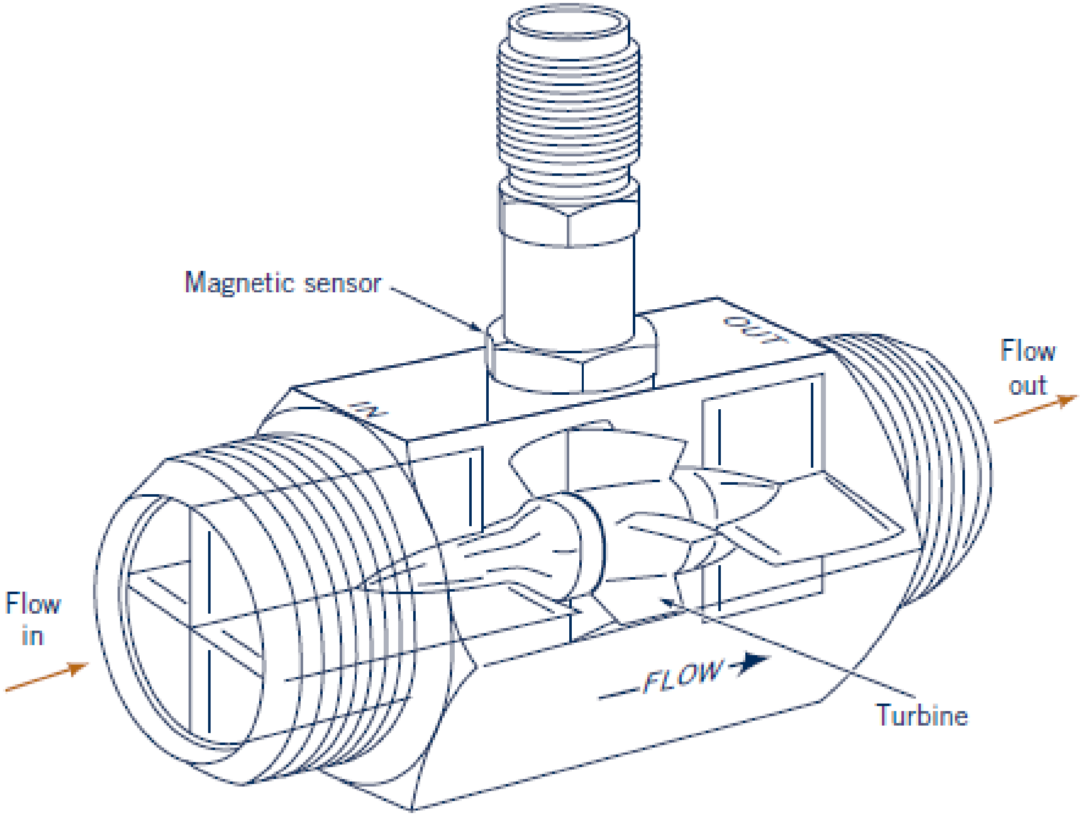
$$G = C_v G_{ideal} = C A_T \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1-\beta^4)}}$$

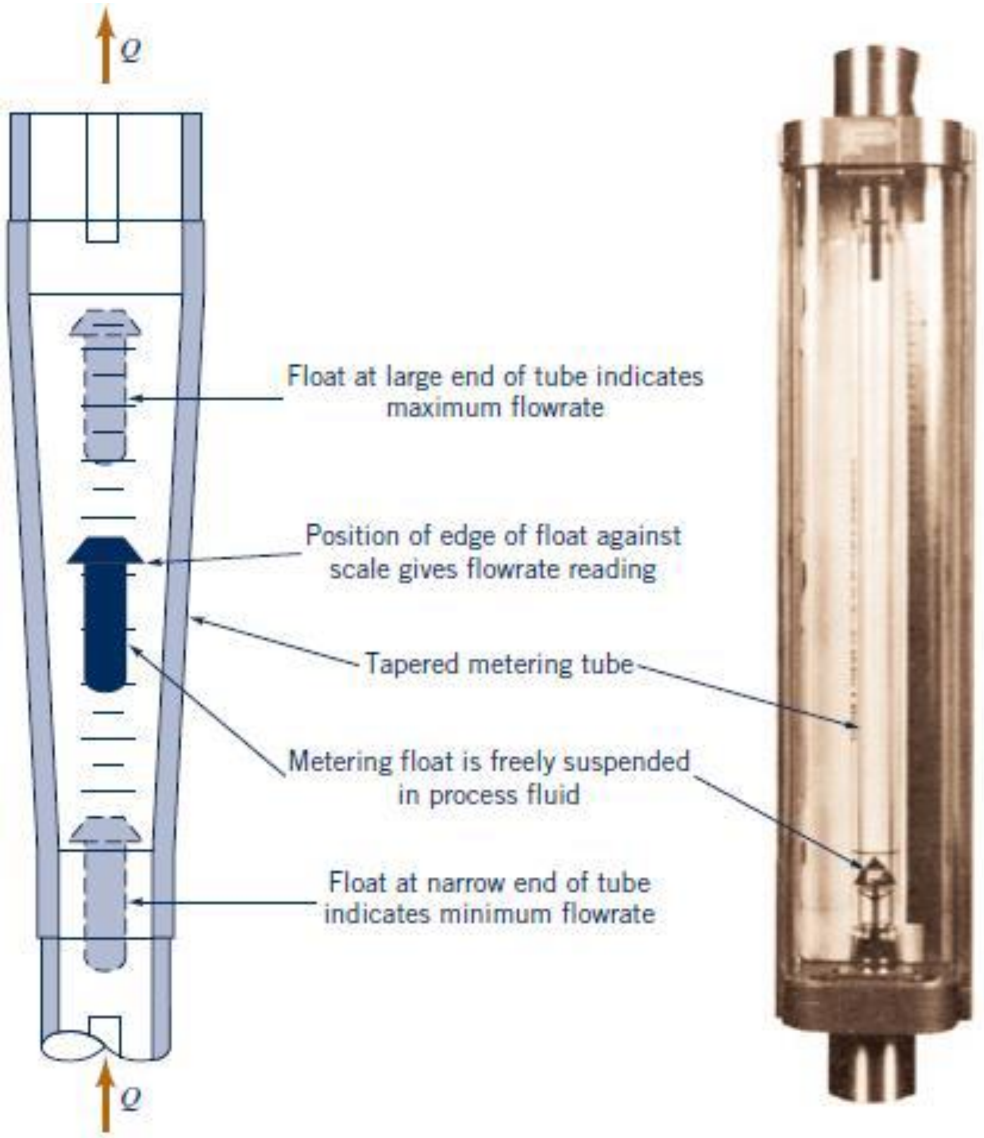
Ejercicio

Fluye alcohol etílico en una tubería de diámetro D=60 mm de una refinería. La caída de presión en un medidor de boquilla es de Δp=4 kPa cuando el flujo es de G=0.003 m^3/s. Determine el diámetro de la boquilla. Las propiedades del alcohol son ρ=789 kg/m^3 y μ=1.19x10^{-3} $N\cdot s/m^2$.

Rotámetros

El flotador alcanza una altura de equilibrio que es función del flujo. En esta posición, la fuerza neta sobre el flotador es cero.





El análisis de fuerzas en el rotámetro arroja la ecuación

$$G = C_r A_a \left(\frac{2W_{neto}}{A_f \rho_{fl}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde C_r es la constante del rotámetro, A_a es el área anular variable del rotámetro (A_{tubo}-A_f), W es el peso neto del flotador, A_f es el área tranversal del flotador ante el flujo y ρ_{fl} es la densidad del fluido.

Los coeficientes de los medidores pueden ajustarse por medio de las siguientes ecuaciones:

Para medidores de orificio:

$$C_o = f(\beta) + 91.71\beta^{2.5} Re_D^{-0.75} + \frac{0.09\beta^4}{1-\beta^4} F_1 - 0.0337\beta^2 F_2$$

Donde

$$f(\beta) = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8$$

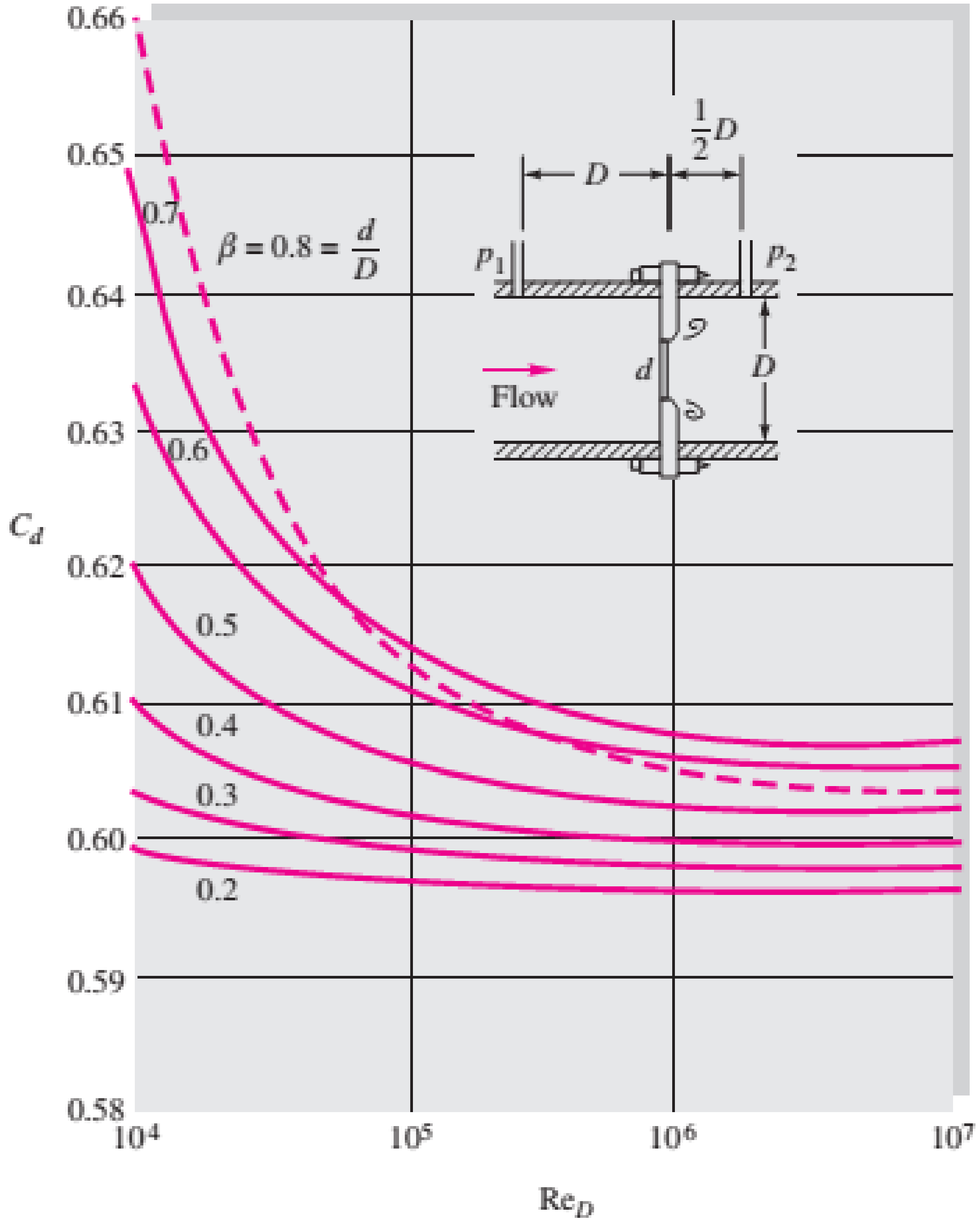
Los factores F_1 y F_2 dependen de la posición de las tomas de presión.

Con tomas junto al orificio: $F_1=0$, $F_2=0$

Con tomas dependientes de D: $F_1=0.4333$, $F_2=0.47$

Con tomas separadas 1 in del orificio: $F_2=1/D$

$F_1=1/D$ si D es mayor a 2.3 in, $F_1=0.4333$ si D está entre 2 y 2.3 in. D está en in para estos factores.


0.66
0.65
0.64
0.63
0.62
0.61
0.60
0.59
0.58
C_d
10^4
10^5
10^6
10^7
Re_D
$\beta = 0.8 = \frac{d}{D}$
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
$\frac{1}{2}D$
D
p_1
p_2
d
Flow

Para medidores de boquilla

$$C_b \approx 0.9965 - 0.00653\beta^{\frac{1}{2}}\left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.9965 - 0.00653\left(\frac{10^6}{Re_d}\right)^{\frac{1}{2}}$$

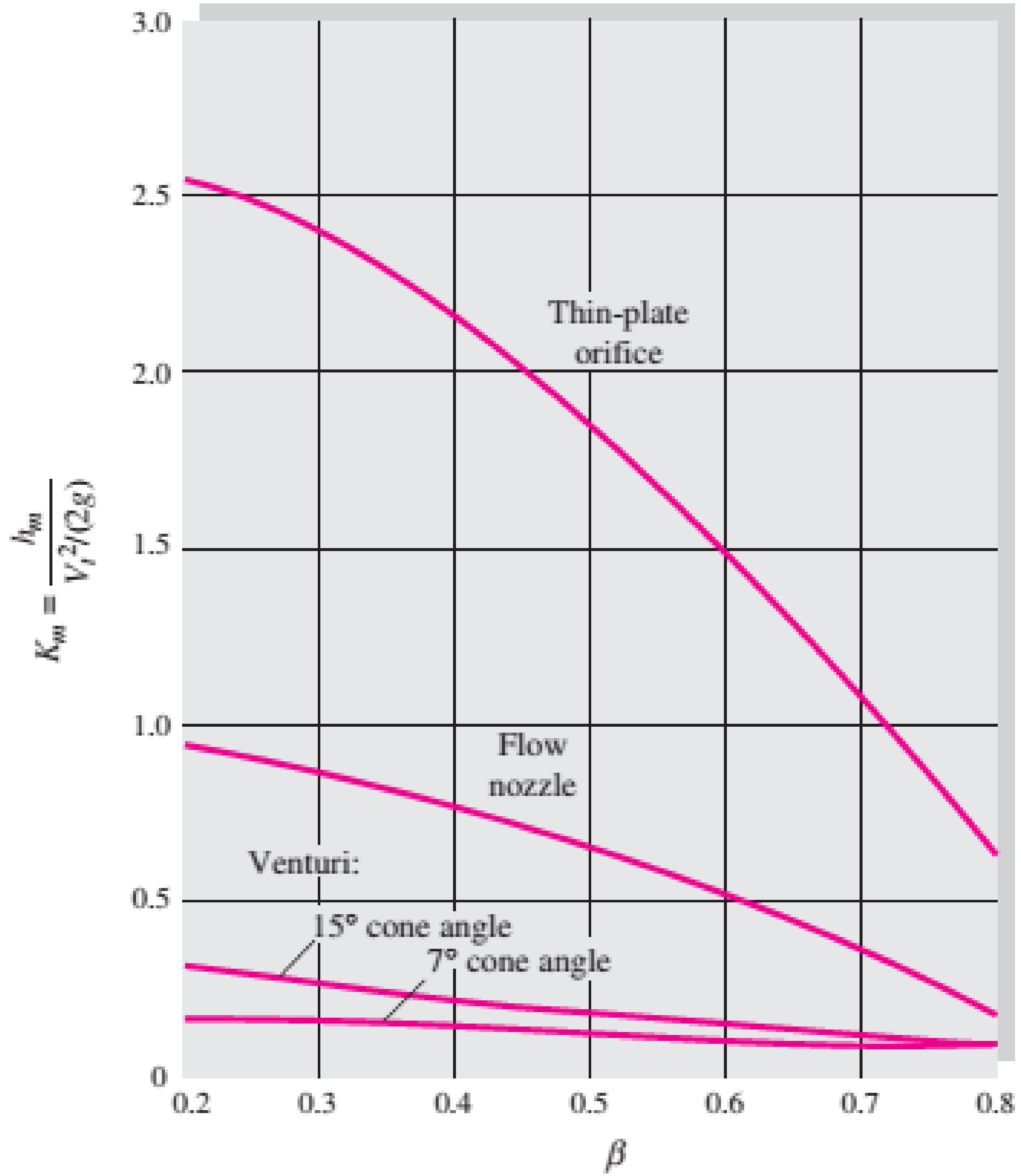
Esta ecuación es válida para medidores de boquilla de alta curvatura.

Para medidores de baja curvatura:

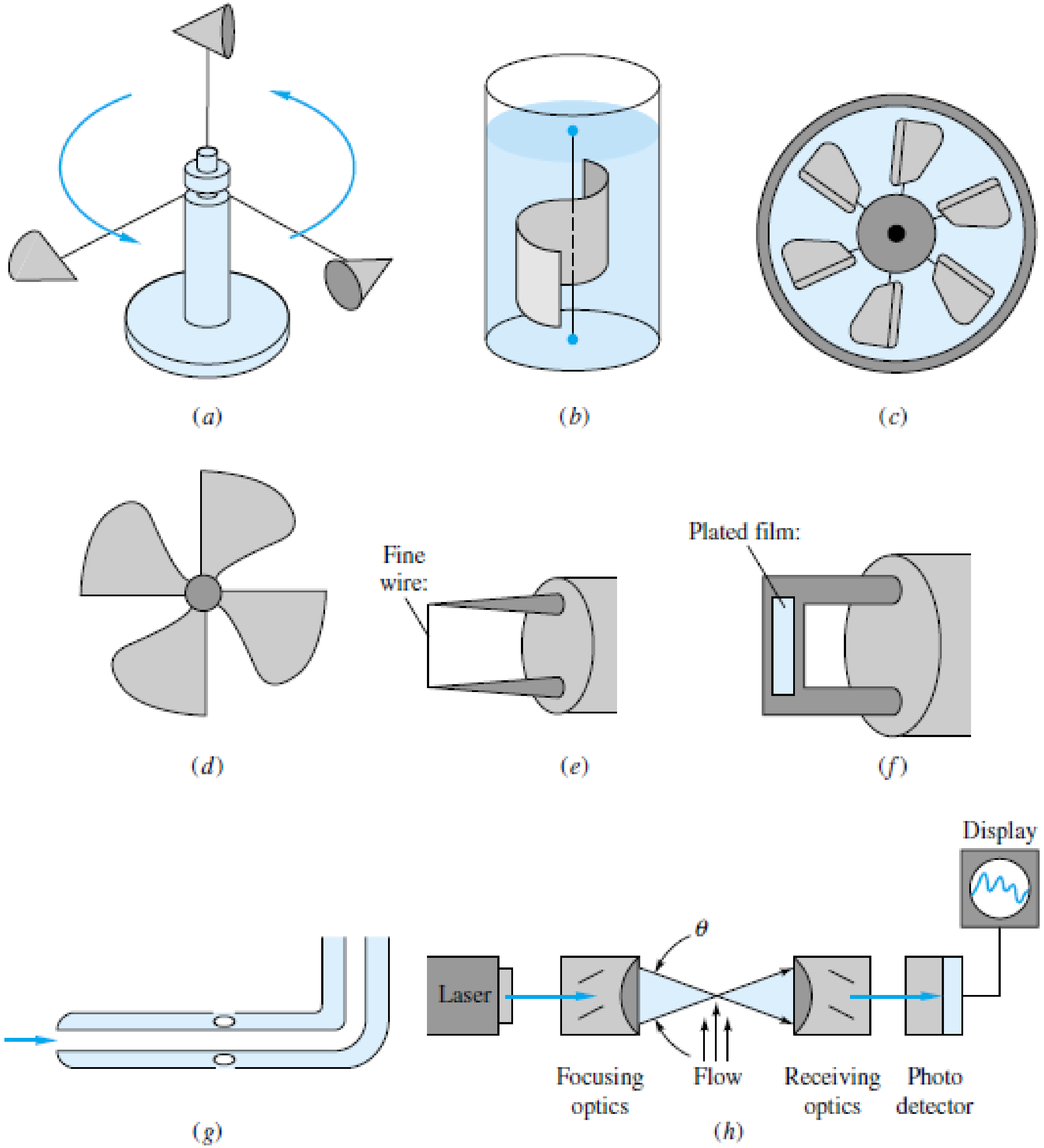
$$C_b \approx 0.99 - 0.2262\beta^{4.1} + (0.000215 - 0.001125\beta + 0.00249\beta^{4.7})\left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{1.15}$$

- **Para el medidor de Venturi**

$$C_v \approx 0.9858 - 0.196\beta^{4.5}$$



3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
$K_m = \frac{h_m}{V_t^2/(2g)}$
β
Thin-plate orifice
Flow nozzle
Venturi:
15° cone angle
7° cone angle


(a)
(b)
(c)
(d)
Fine
wire:
(e)
Plated film:
(f)
(g)
Display
θ
Laser
Focusing
optics
Flow
Receiving
optics
Photo
detector
(h)

Tubo de Pitot

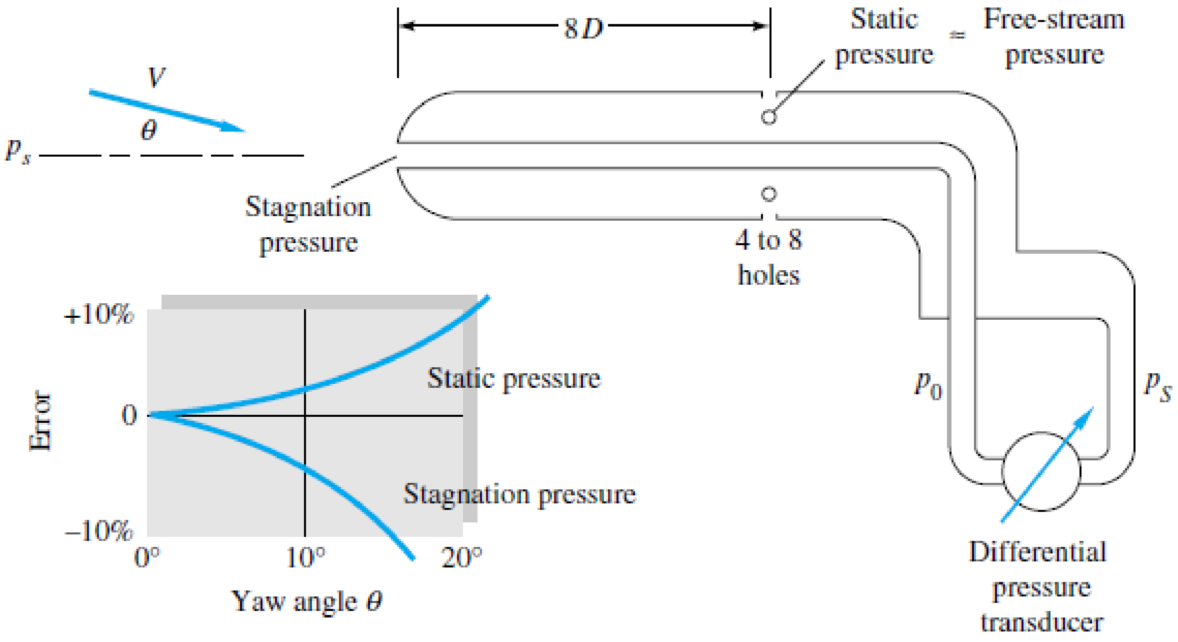
Es un tubo alineado con el flujo, en el que se produce una diferencia de presión al estar abierto a la atmósfera.

Con números de Reynolds mayores a 1000 el flujo en el tubo es casi invíscido, y se puede aplicar el balance de Bernoulli.

$$p_s + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g z_s \cong p_0 + \frac{1}{2}\rho(0)^2 + \rho g z_0$$

- Se obtiene una relación del tipo

$$V \approx \sqrt{\frac{2(p_0 - p_s)}{\rho}}$$



Anemómetros de alambre caliente

La pérdida de calor varía con la velocidad del fluido

$$q = I^2 R \approx a + b(\rho V)^n$$

n varía entre 1/3 para régimen laminar y ½ para flujo turbulento.

Anemómetros de láser

El láser que pasa a través del fluido es dispersado, produciendo un desfasamiento con respecto a su frecuencia original, es decir, un desplazamiento doppler, D*f*, que es proporcional a la velocidad del fluido.

$$V = \frac{\lambda \Delta f}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Donde l es la frecuencia del láser y q es el ángulo de cruce entre los dos láseres aplicados. Las ventajas de estos dispositivos es que no perturban el flujo, tienen una alta resolución en la medición, son independientes de las propiedades termodinámicas del fluido, el voltaje medido es lineal con la velocidad y no se necesita calibración. Sin embargo, el fluido debe ser transparente y contener partículas que dispersen el haz, además de ser costoso.

Ejemplo

Se tiene un tubo de Pitot que usa mercurio. Cuando se coloca en una corriente de agua, la altura del manómetro es de h=8.4 in. Descartando los errores, ¿cuál sería la velocidad de flujo?

Solución

Despreciando las pérdidas, el balance en un manómetro arroja:

$$p_o - p_s = (\rho g_{Hg} - \rho g_w)h = \left(846 - 62.4\frac{lb_f}{ft^3}\right)\frac{8.4}{12}ft = 549\frac{lb_f}{ft^2}$$

$$V = \left[\frac{2\left(549\frac{lb_f}{ft^2}\right)}{1.94\frac{slug}{ft^3}}\right]^{\frac{1}{2}} = 23.8\frac{ft}{s}$$

Ejemplo

Se desea medir el flujo volumétrico de agua (ρ=1000 kg/m^3, ν=1.02x10^{-6} m^2/s), moviéndose a través de un tubo de 200 mm de diámetro a una velocidad promedio de 2 m/s. Si en un manómetro diferencial se obtiene una lectura de p_1-p_2=50,000 Pa, ¿qué tamaño del medidor debe seleccionarse si se instala (a) un medidor de orificio con tomas dependientes de D, (b) un medidor de boquilla de alta curvatura, (c) un medidor de Venturi?

Solución

Para este problema se necesita conocer β, ya que C depende de esta variable.

$$C_b \approx 0.99 - 0.2262\beta^{4.1} + (0.000215 - 0.001125\beta + 0.00249\beta^{4.7})\left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{1.15}$$

$$C_b \approx 0.9965 - 0.00653\beta^{\frac{1}{2}}\left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.9965 - 0.00653\left(\frac{10^6}{Re_d}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$C_v \approx 0.9858 - 0.196\beta^{4.5}$$