

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS

UNIDAD N°4: Resistencia de los fluidos.

Docentes:

- Ing. RODRIGUEZ, Carlos
- Ing. CORREA, Gustavo
- Ing. POLISCZUK, Dario

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Clasificación	Tipo de Manómetro	Descripción
Según la naturaleza de la presión medida	Barómetros	Mide presión atmosférica $p_{atm} = p_{amb}$.
	Manómetros	Mide Presión Relativa Positiva o Sobrepressiones.
	Vacuómetros	Mide Presión Relativa Negativa o Depresiones.
	Manómetro de presión absoluta	Mide presiones absolutas pequeñas.
	Manómetros diferenciales	Mide diferencia de presiones.
	Micromanómetros	Mide presiones relativas muy pequeñas.

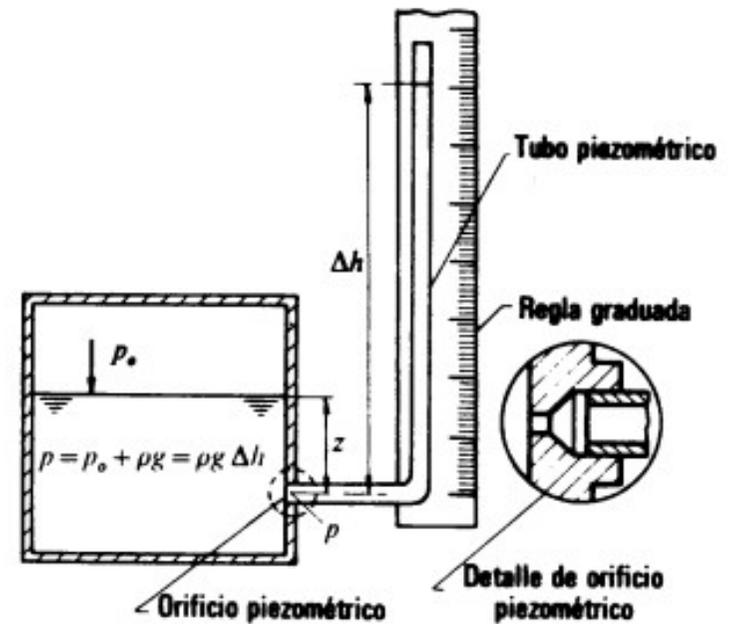
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Clasificación	Tipo de Manómetro	Descripción
Su principio de funcionamiento	Mecánicos: consiste en equilibrar la presión que se quiere medir con otra fuerza.	Con el peso de una columna de líquido en Piezómetros y Manómetros de líquido.
		Con resortes en Manómetros clásicos.
		Con la fuerza en la cara de un embolo en manómetros de embolo.
	Eléctricos	Presión se origina por una deformación elástica que se mide eléctricamente.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Tubo Piezométrico:

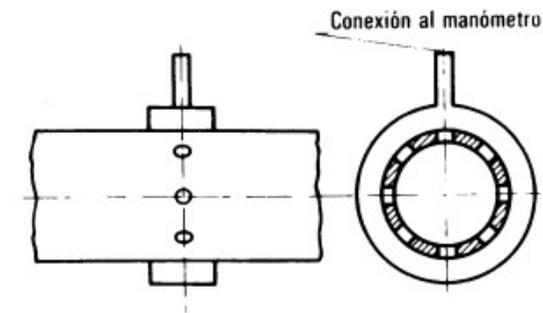
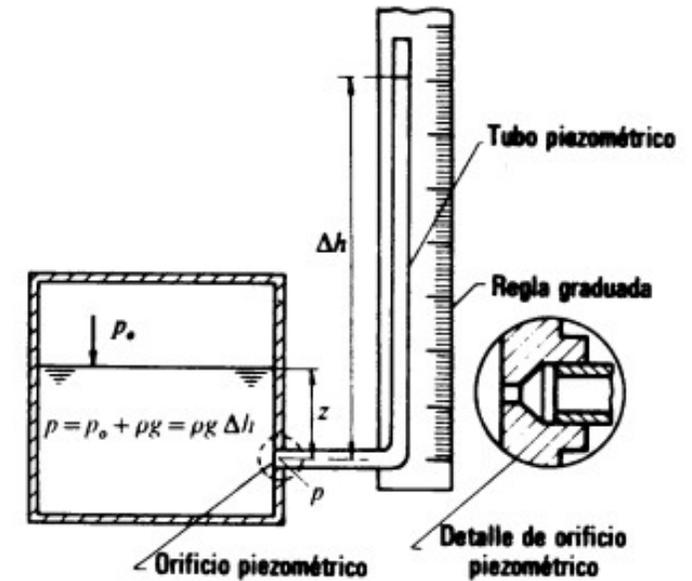
Es un tubo transparente de cristal o plástico, recto o con un codo, de diámetro que no debe ser inferior a 5 mm para evitar los efectos de capilaridad debido a la tensión superficial. Este tubo se conecta al punto en que se quiere medir la presión, practicando cuidadosamente un orificio en la pared del recipiente o tubería, que se llama *orificio piezométrico*.



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Tubo Piezométrico:

- Se mide la altura de ascensión en el tubo. El nivel que alcanza el tubo determina el plano piezométrico.
- No requiere otro líquido manométrico.
- En fluidos en movimiento, el tubo debería terminar de manera perpendicular a la corriente. El diámetro del tubo debe ser al menos 10 a 12 mm.



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Tubo Piezométrico:

- El tubo piezométrico conectado en cualquier parte de la tubería siempre sube la misma cantidad.

$$p_A = \rho g l$$

$$p_B = \rho g(l - r)$$

- La válvula V es una válvula de 3 pasos que comunica la tubería y la atmósfera, para poder purgar aire que podría falsear la medición.

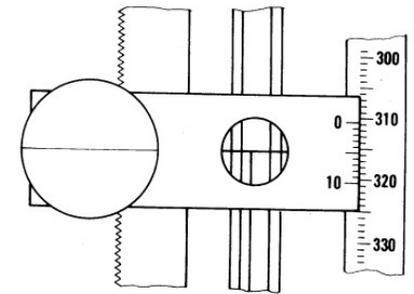
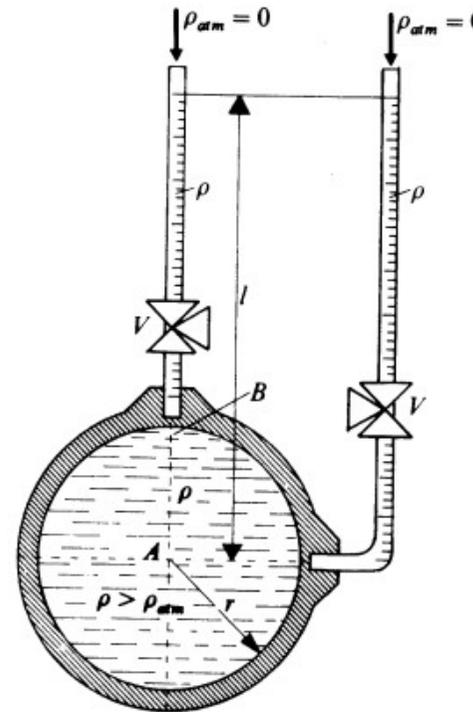
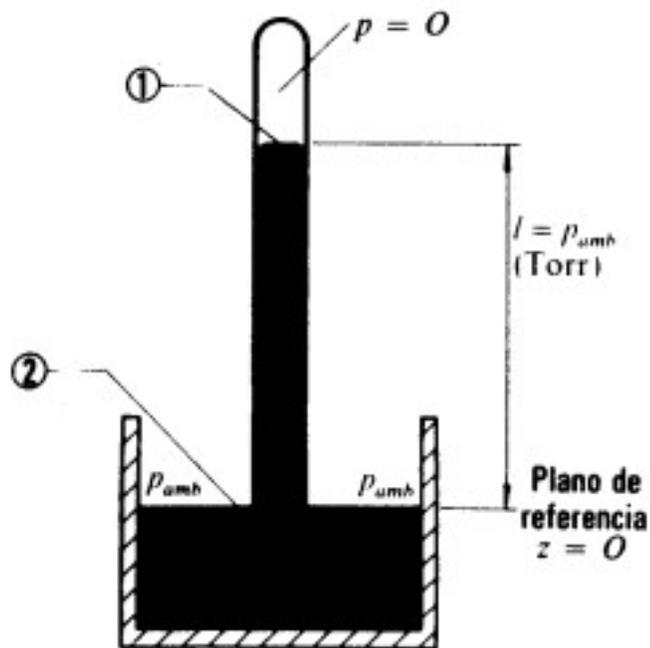


FIG. 4-6. Lectura de manómetros con nonius.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Barómetro de cubeta



$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + z_2$$

$$\begin{array}{ccc} 0 & & 0 \\ // & & // \\ \frac{p_1}{\rho g} + z_1 & = & \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \end{array}$$

$$p_2 = p_{amb}; z_1 = l$$

$$p_{amb} = \rho_{Hg} g l = \gamma_{Hg} l$$

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

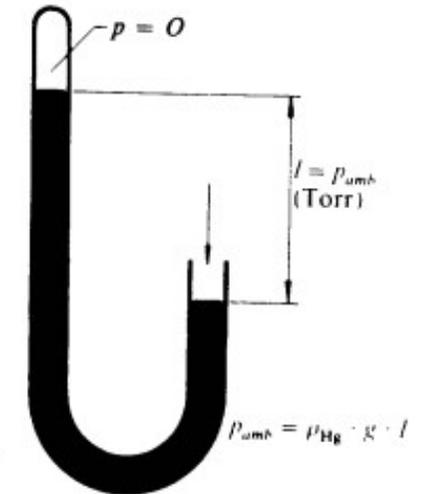
Barómetro en U

En este barómetro solo se elimina la cubeta, el principio es el mismo. Pero para una medición más precisa de cualquier tipo de barómetro, se deberá tener en cuenta:

- La variación de la ρ_{Hg} con la temperatura.
- La variación de g con la altitud de la misma.
- Que la presión $p_1 \neq 0$.

TABLA DE SATURACION
DEL MERCURIO

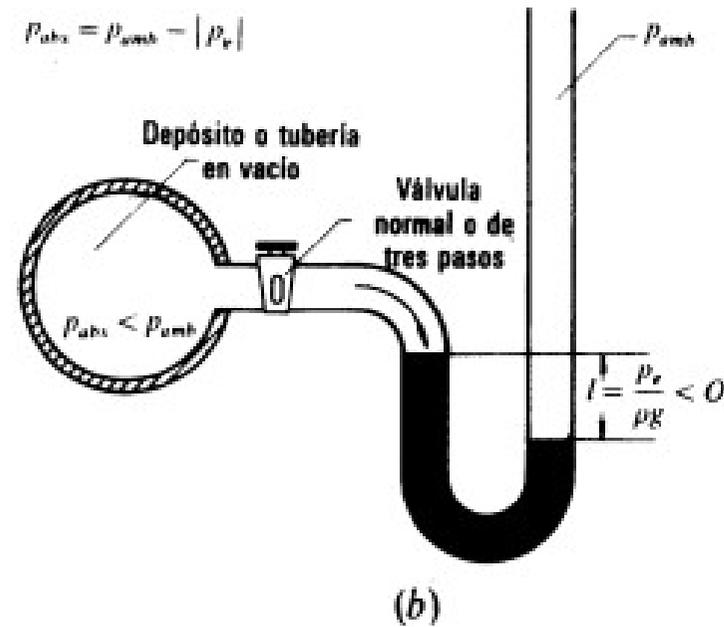
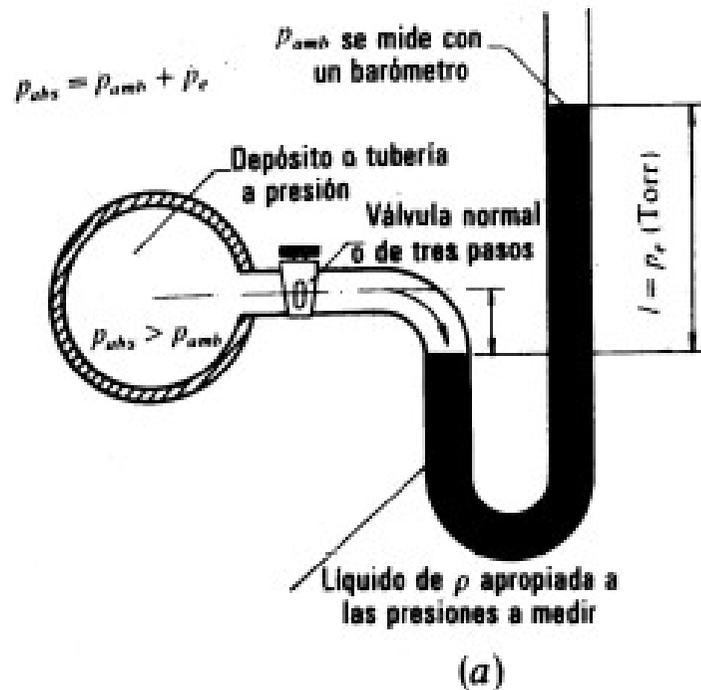
Presión p (MPa)	Temperatura de saturación (°C)
0,00010	119,5
0,0002	134,6
0,0004	151,2
0,0006	161,5
0,0008	168,9
0,0010	175,0
0,002	195,0
0,004	216,9
0,006	230,9
0,008	241,0
0,010	249,6
0,020	277,3
0,030	294,4
0,040	308,0
0,05	318,8
0,06	328,0
0,07	335,9
0,08	342,7
0,09	349,2
0,10	355,0
0,12	365,0
0,14	374,5
0,16	381,9
0,18	389,3
0,20	395,8
0,30	422,4
0,40	442,4
0,45	451,0
0,50	458,9
0,6	472,8
0,7	485,1
0,8	496,3
0,9	506,3
1,0	515,5



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Manómetro en U de líquido para presiones relativas

El líquido manométrico conviene viscosidad pequeña y bajo coeficiente de expansión térmica

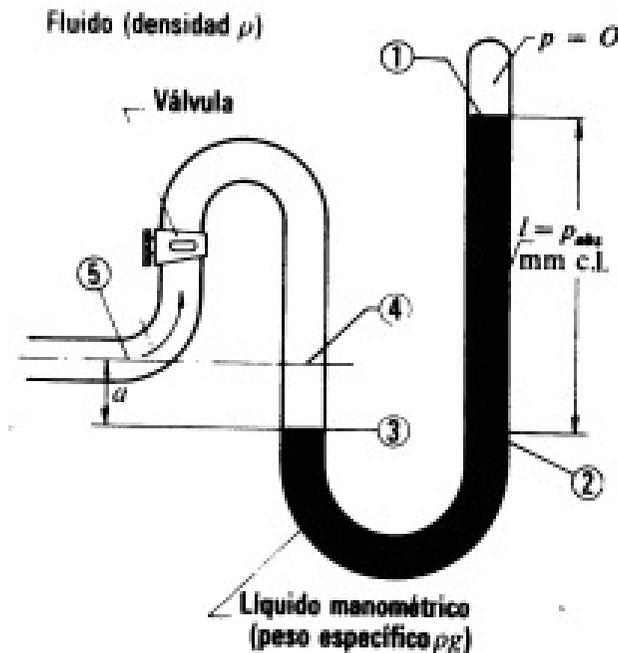


INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Vacuómetro en U de líquido para presiones absolutas

Sirve para medir presiones de líquidos o gases empleando un líquido manométrico no miscible.

El desnivel creado en la columna del manómetro es l .



$$p_2 = p_1 + p_m g l = p_m g l$$

$$p_3 = p_2 = p_m g l$$

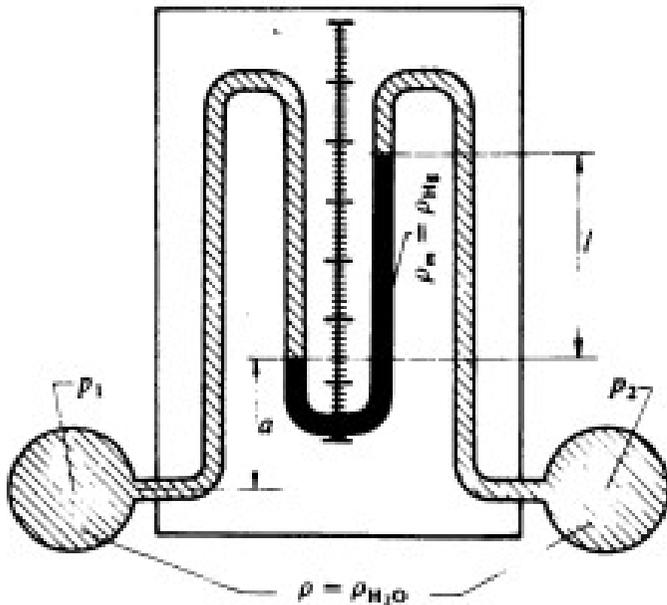
$$p_4 = p_3 - \rho g a = p_m g l - \rho g a$$

$$p_5 = p_4 = p_m g l - \rho g a$$

¿Cómo quedaría la expresión si el líquido manométrico es agua y el otro es un gas?

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Manómetro diferencial



$$p_1 = p_2 - \rho g a - \rho g l + \rho_m g l - \rho g l + \rho g l + \rho g a$$

$$p_1 = p_2 - \rho g a - \rho g l + \rho_m g l - \rho g l + \rho g l + \rho g a$$

$$p_1 - p_2 = -\rho g l + \rho_m g l$$

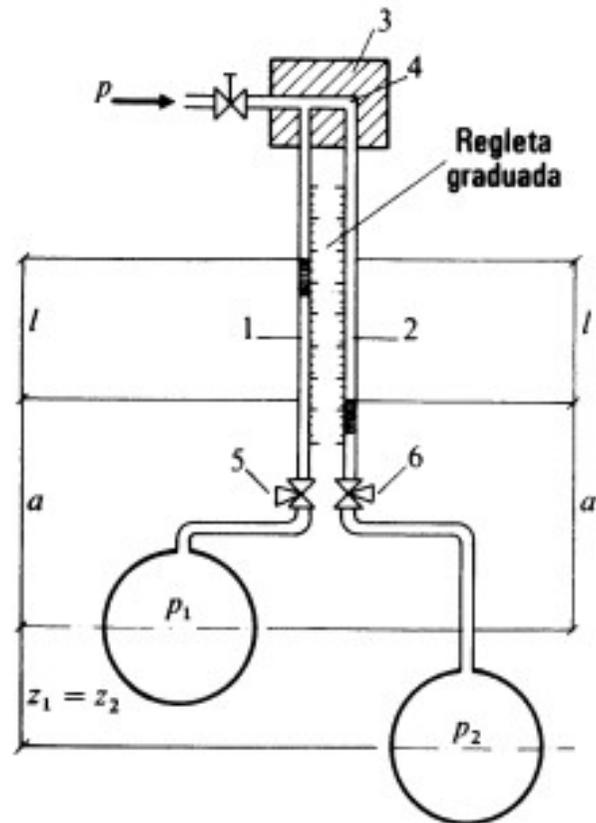
$$p_1 - p_2 = g l (\rho_m - \rho)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = l (\delta_m - 1)$$

¿Cuándo será más sensible la lectura del manómetro l , para una diferencia de presión dadas ?

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Piezómetro diferencial



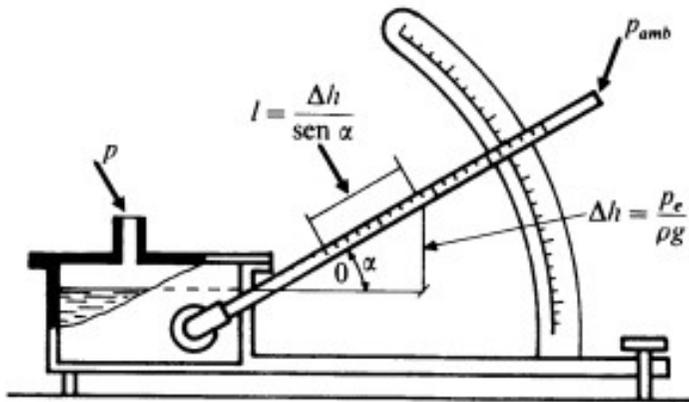
$$p_1 = p_2 - \rho g(z_1 - z_2) - \rho g a + \rho g l + \rho g a$$

$$p_1 - p_2 = \rho g l - \rho g(z_1 - z_2)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = l - (z_1 - z_2)$$

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Micrómetro de tubo inclinado



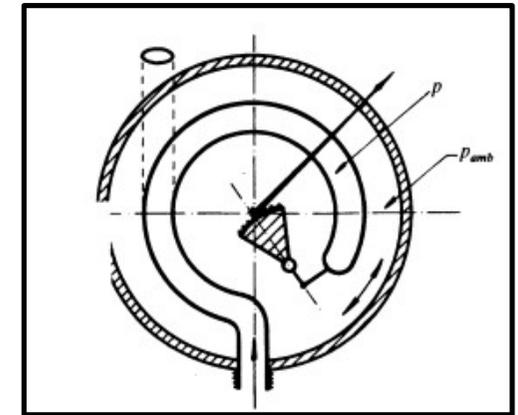
$$p_{abs} = p_{amb} - \rho g \Delta h$$

$$p_e = \rho g l \text{sen } \alpha = \rho g \Delta h$$

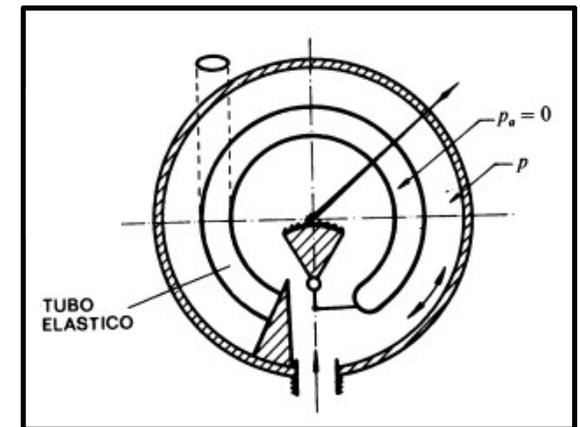
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Manómetros elásticos

Manómetro de tubo de Bourdon



Presiones Relativas



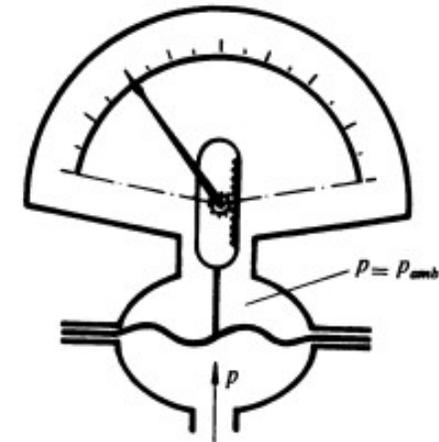
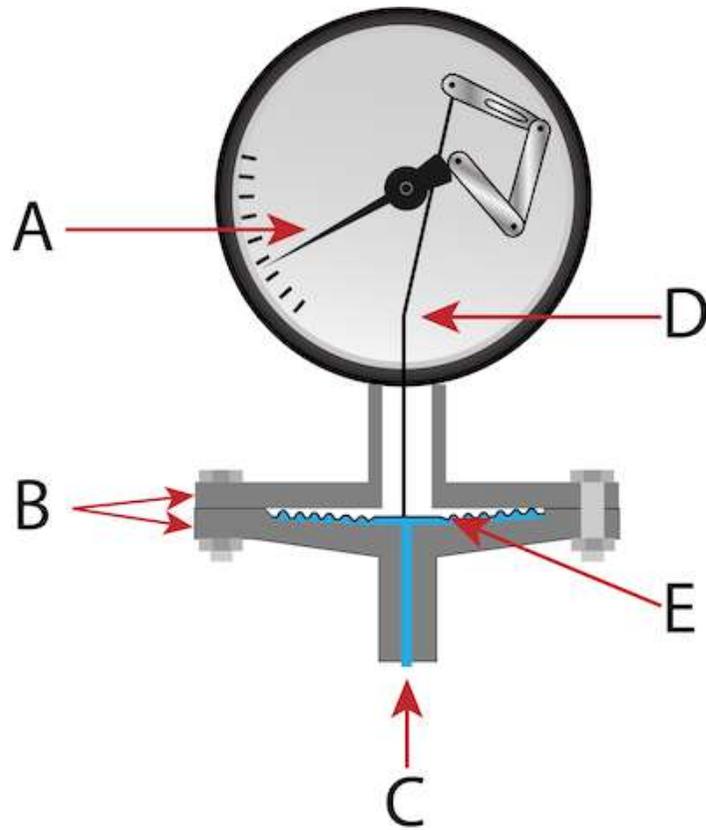
Presiones Absolutas

Se utiliza un tubo elástico de sección transversal elíptica. Según el tipo de construcción puede medir desde aproximadamente 1 bar en Vacuómetros hasta 10000 bares o más en Manómetros.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Manómetros elásticos

Manómetro de membrana

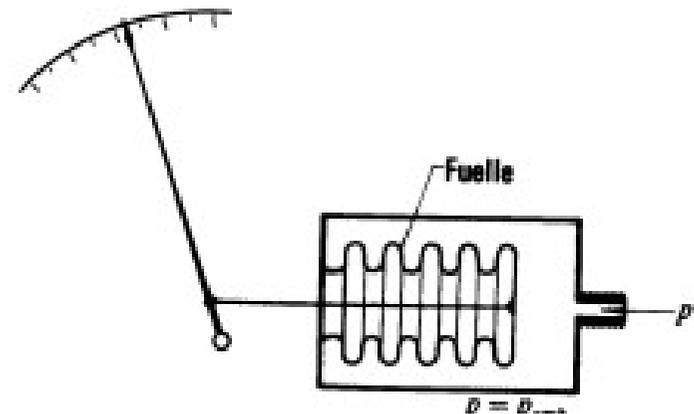


Consta de una membrana metálica y son apropiados para medir depresiones y presiones de hasta unos 25 bares.

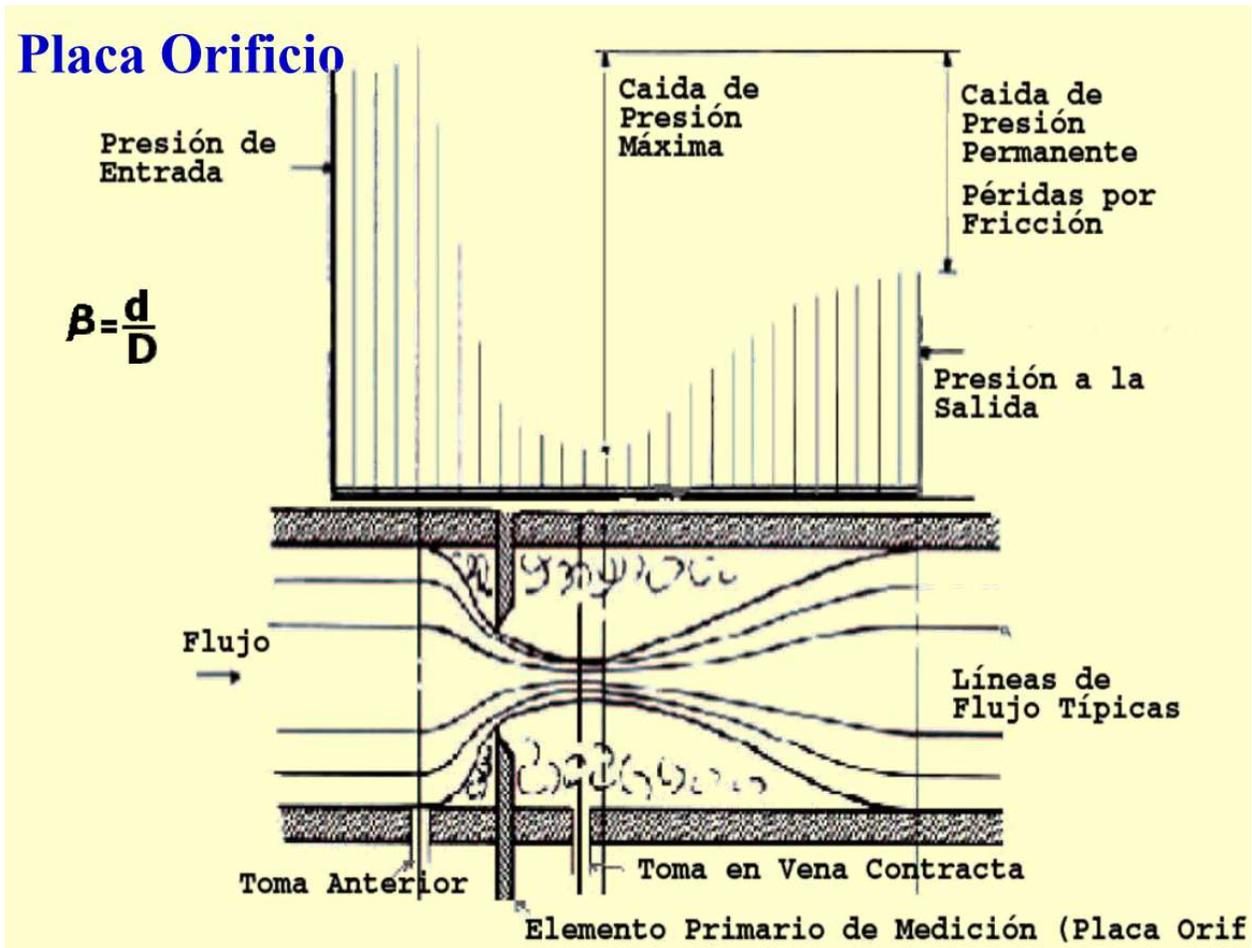
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIONES

Manómetros elásticos

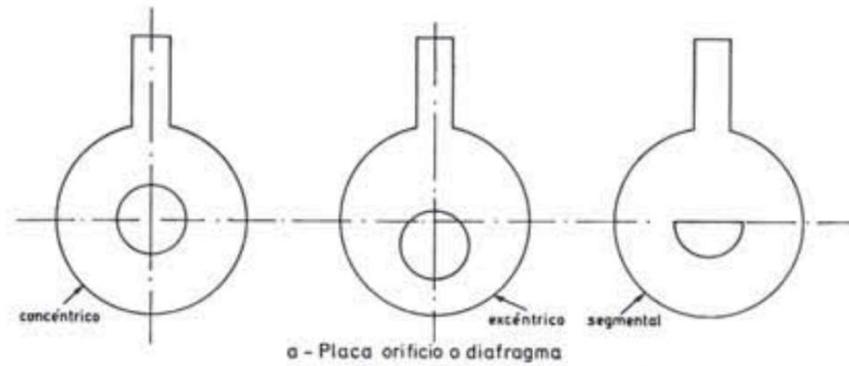
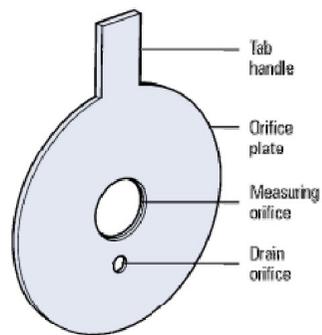
Manómetro de membrana



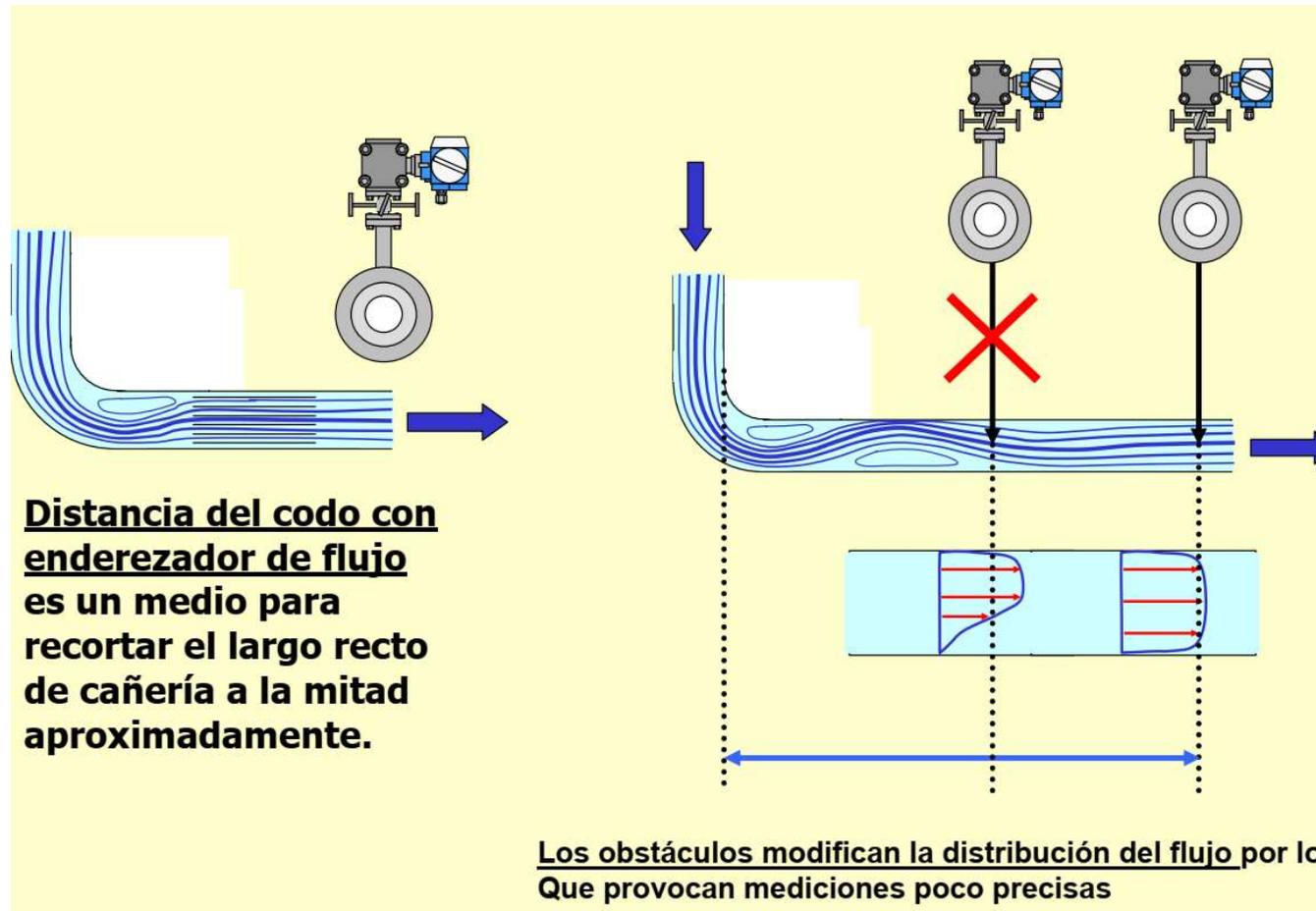
PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA



PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA

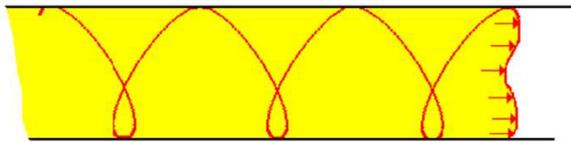
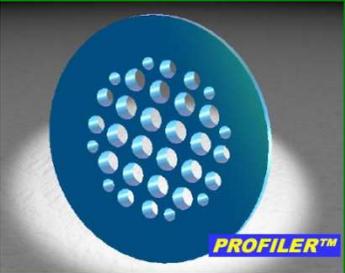


PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA

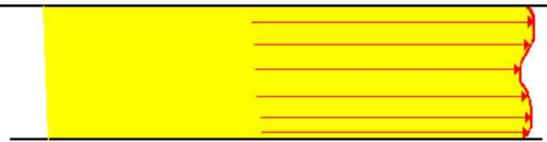


PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA

Placa enderezadora (mas simple)



Remolinos y distorsiones



Los orificios eliminan los remolinos



Un acondicionador de flujo elimina los remolinos y genera un perfil

En gases:

AGA 3 - 2000 solo acepta

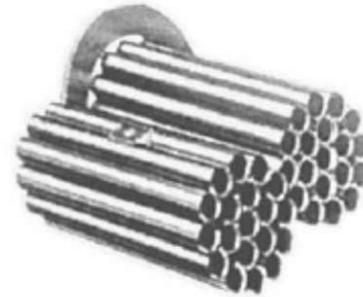
19 tubos concéntricos de igual tamaño

AGA 3 - 2000 no acepta

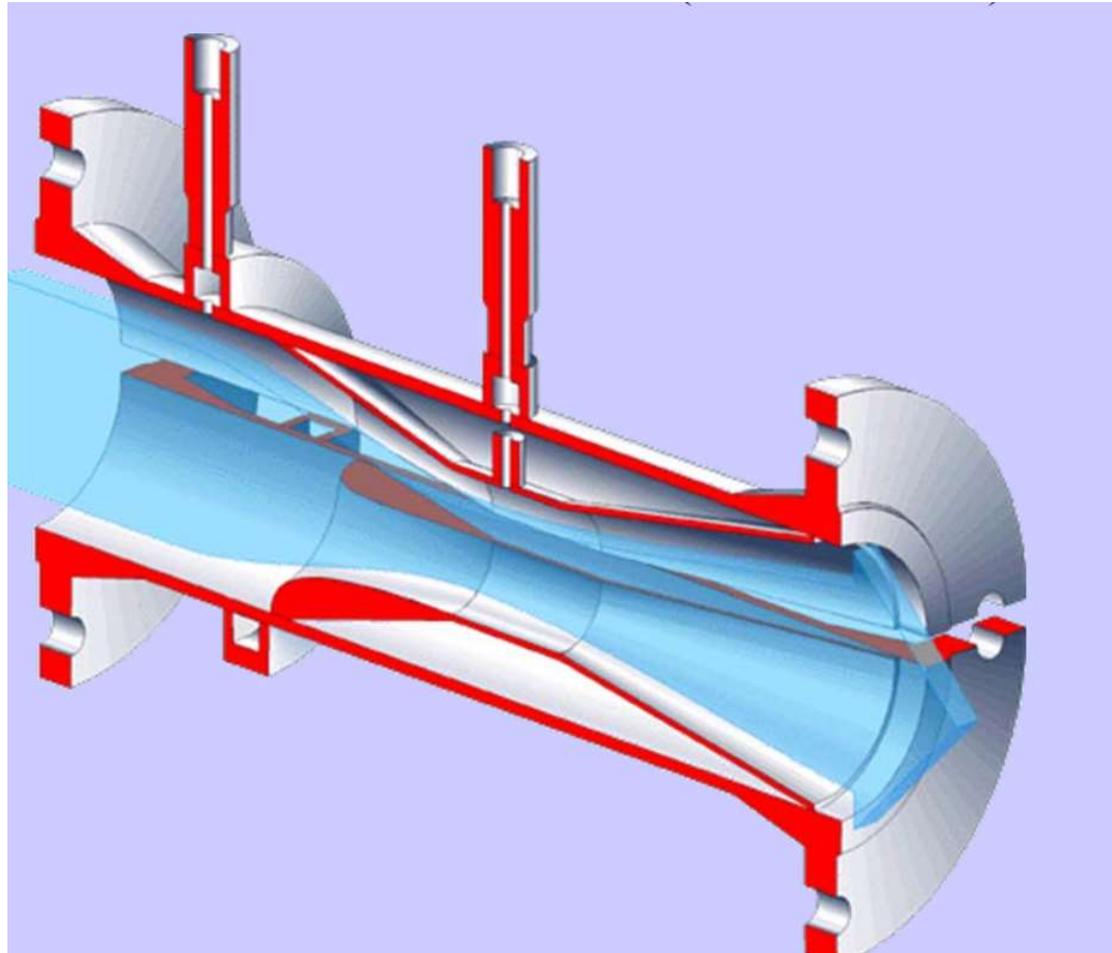
Diseño con bandas laterales de terminación

19 tubos de diseño exagonal

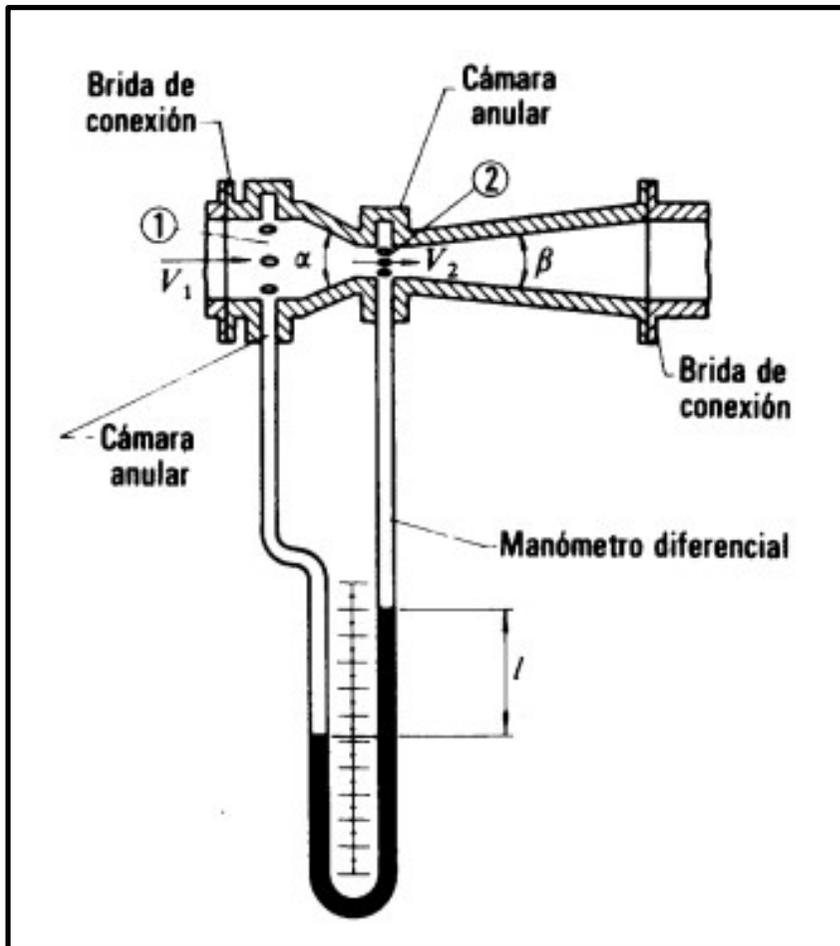
7 tubos concéntricos



TUBO DE VENTURI



TUBO DE VENTURI



$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

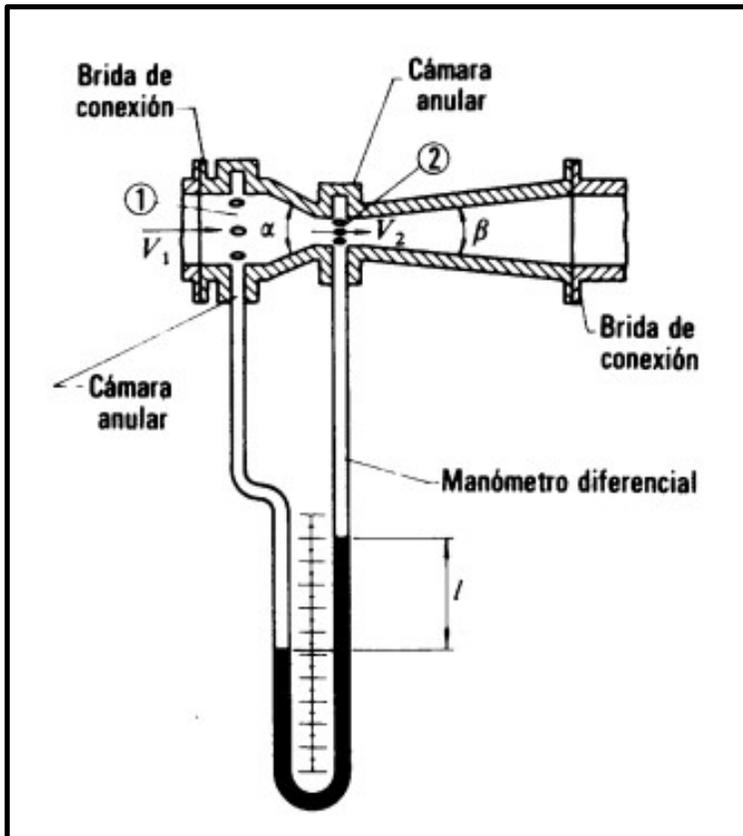
$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_1 = v_2 \frac{A_2}{A_1}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_{2t} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{p_1}{\rho g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho g} + z_2\right) \right]}$$

TUBO DE VENTURI



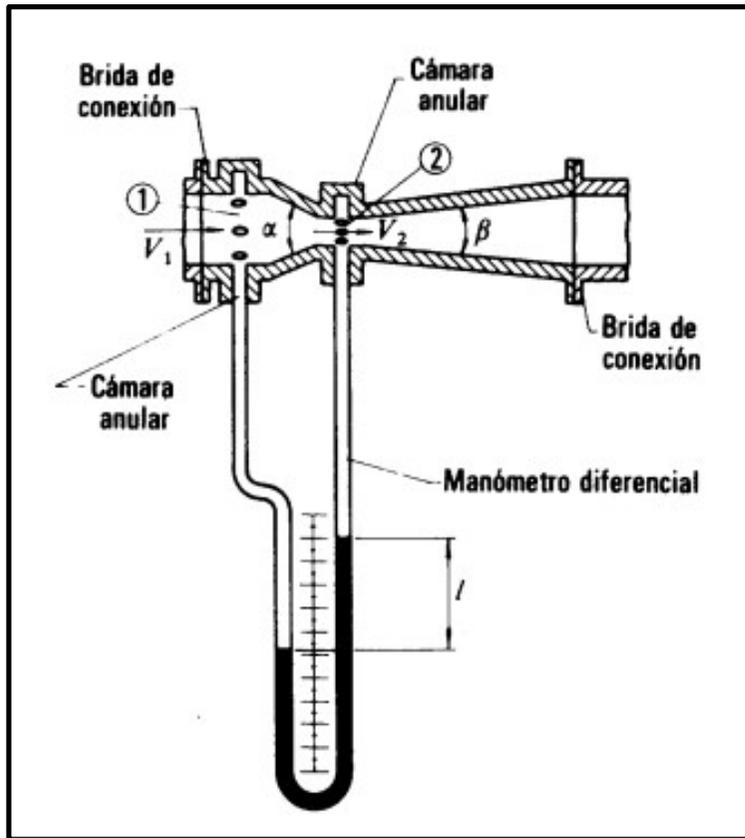
$$v_{2t} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{p_1}{\rho g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho g} + z_2\right) \right]}$$

$$Q_t = v_{2t}A_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{p_1}{\rho g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho g} + z_2\right) \right]}$$

$$v_2 = C_v v_{2t}$$

C_v coeficiente de velocidad, varia entre 0,95 y poco más de la unidad. Para venturis nuevos vale 0,985 y 0,98 para los que estuvieron en servicio.

TUBO DE VENTURI



$$Q_t = v_{2t}A_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{p_1}{\rho g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho g} + z_2\right) \right]}$$

$$Q = \frac{C_v A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g[(h_1) - (h_2)]}$$

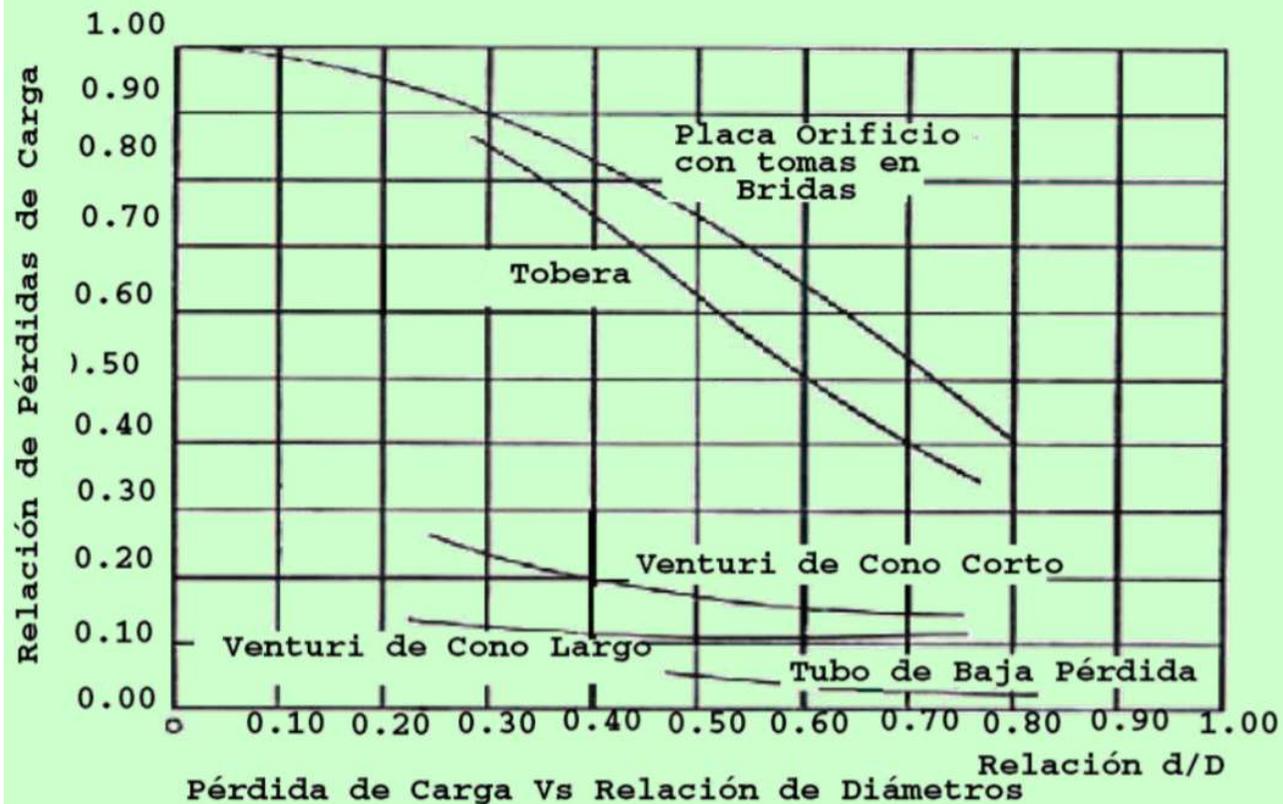
$$C_q = \frac{C_v}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

Caudal real, venturi $\rightarrow Q = C_q A_2 \sqrt{2g[(h_1) - (h_2)]}$

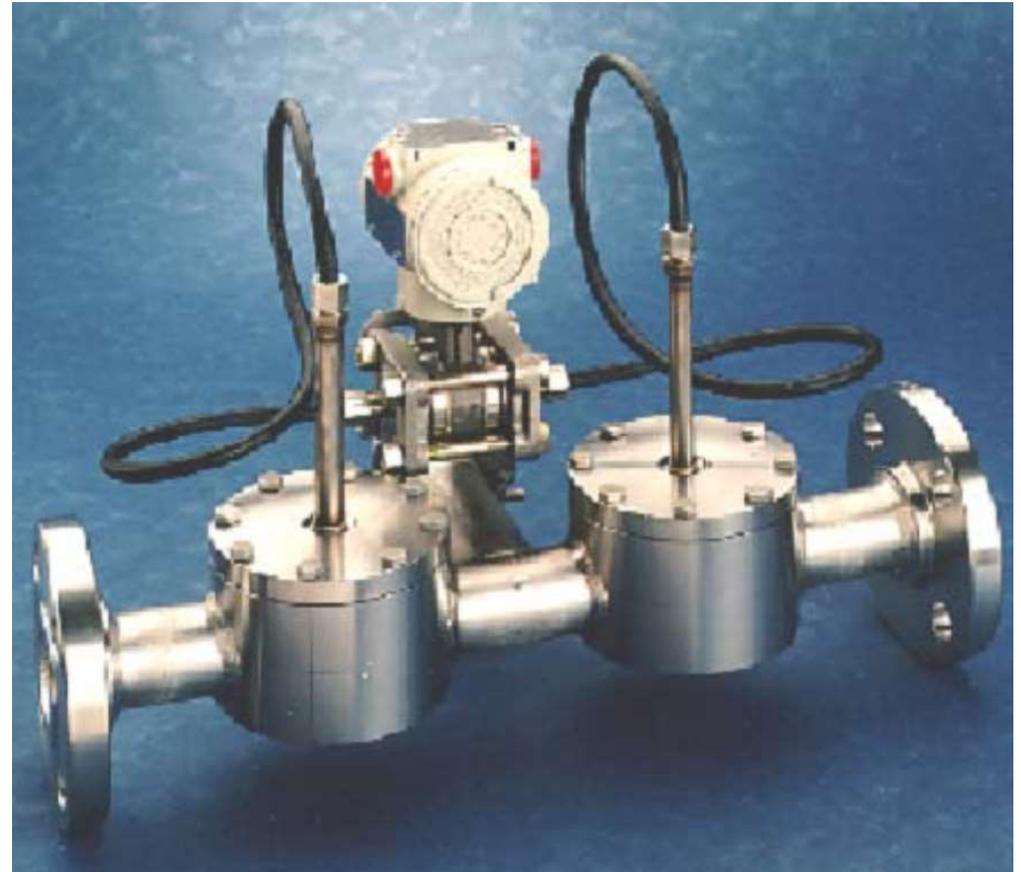
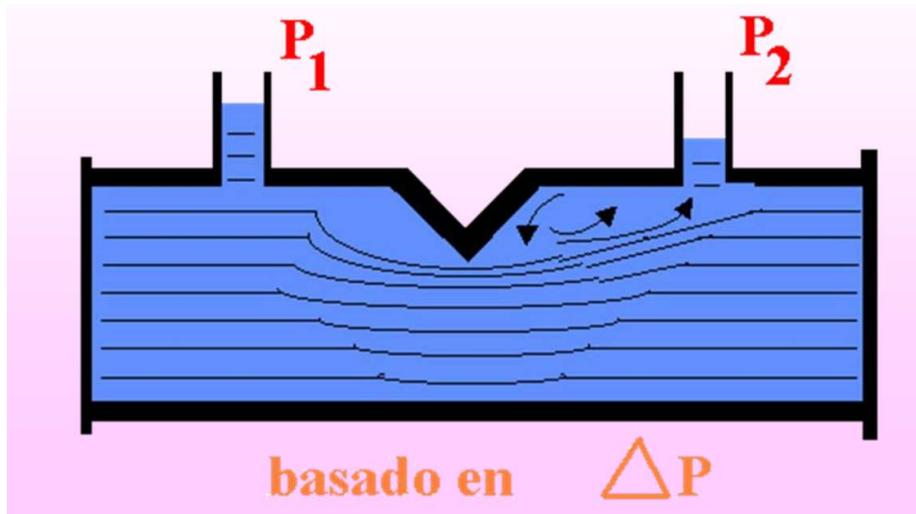
COMPARACIÓN

Comparación de La recuperación de Presión de los distintos Medidores por DP.

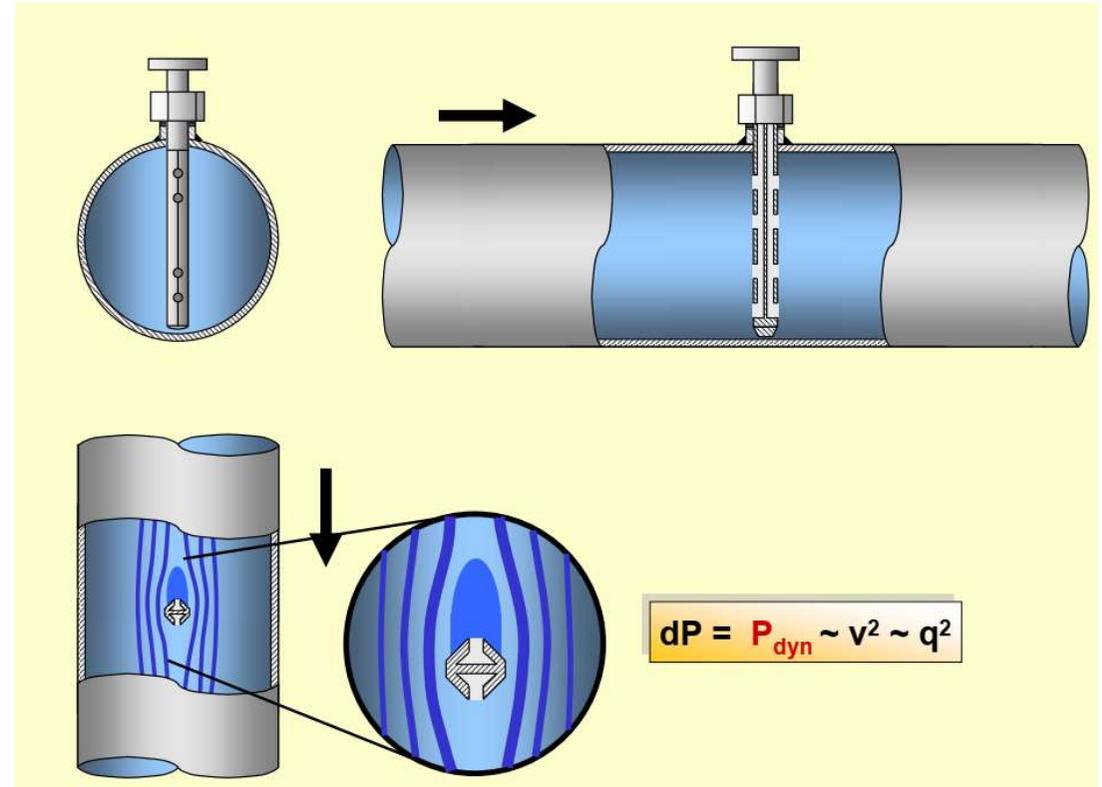
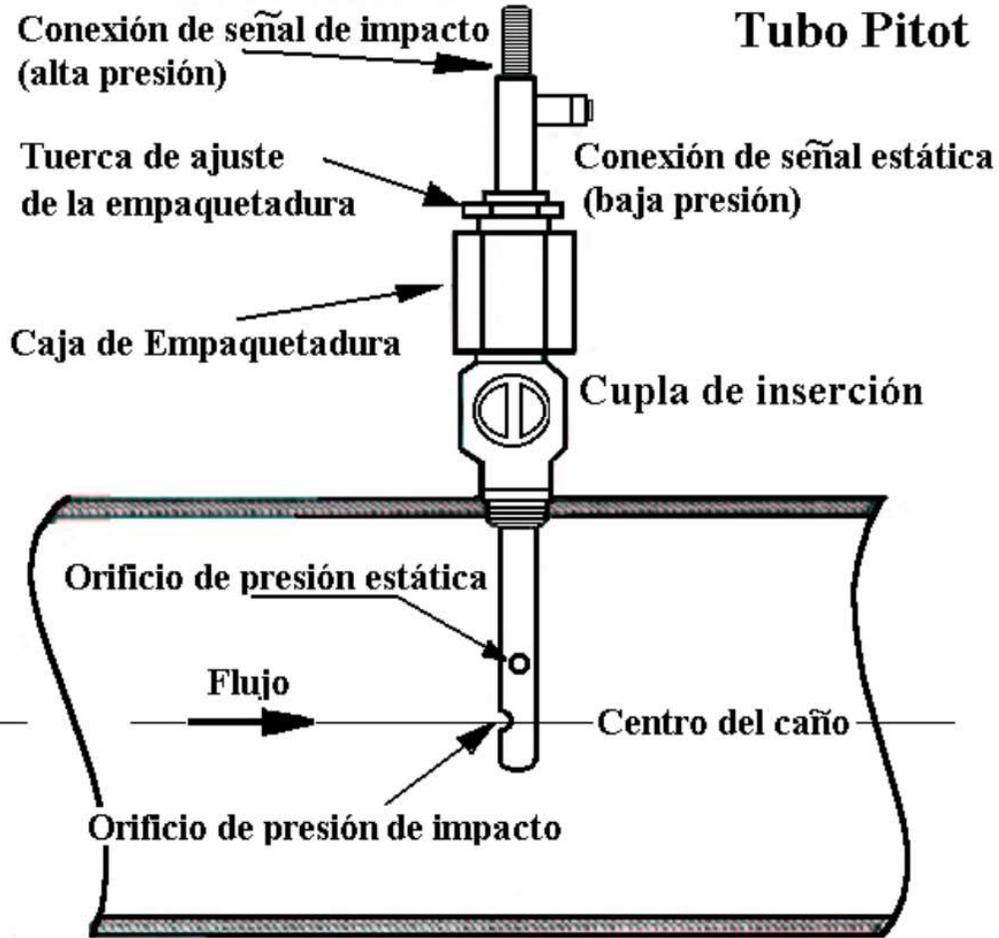
Detalles y Características de los Elementos Primarios



TUBO EN CUÑA



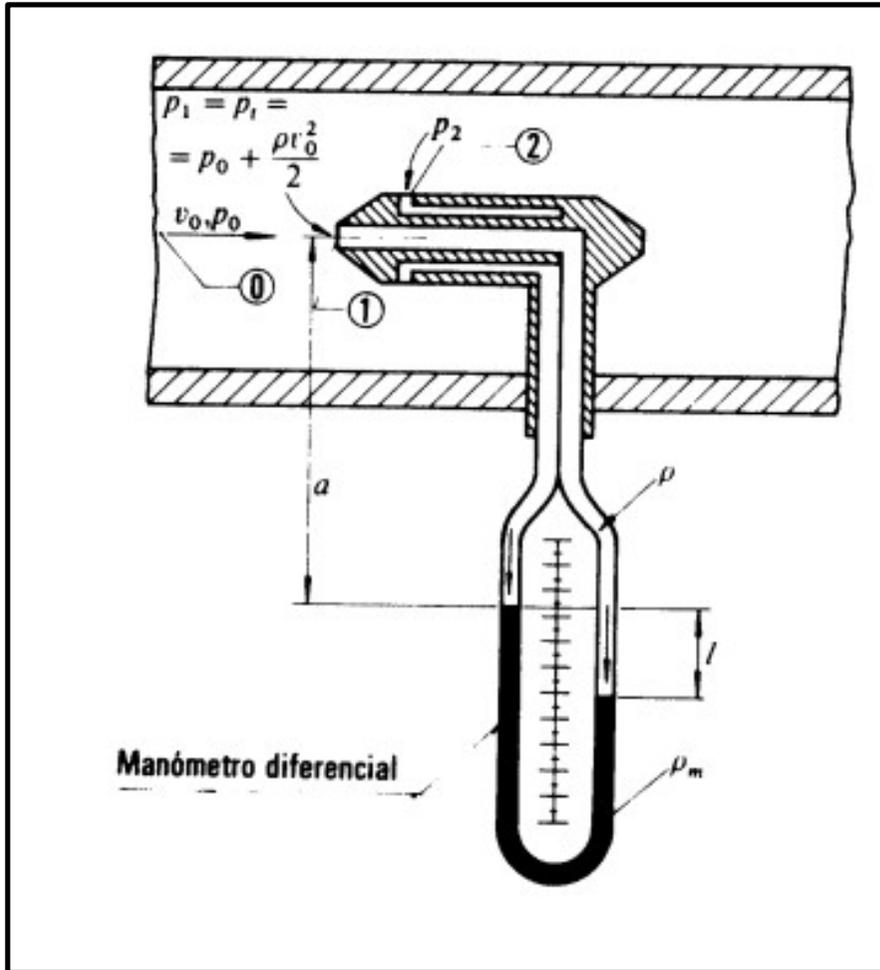
TUBO DE PITOT



TUBO DE PRANDTL

El *Tubo de Pitot* mide la presión total, el *Tubo Piezométrico* mide la presión estática y el *Tubo de Prandtl* mide la diferencia de presión de los dos instrumentos anteriores, denominada la “*Presión Dinámica*”.

TUBO DE PRANDTL



$$p_1 = p_t; v_1 = 0; v_2 = v_{0t}; p_2 = p_0$$

$$p_1 = p_0 + \rho \frac{v_{0t}^2}{2} \quad \rightarrow \quad p_1 - p_2 = \rho \frac{v_{0t}^2}{2}$$

$$p_1 + \rho g l + \rho g a = p_2 + \rho g a + \rho_m g l$$

$$p_1 - p_2 = (\rho_m - \rho) \cdot g \cdot l$$

$$\rho \cdot \frac{v_{0t}^2}{2} = (\rho_m - \rho) \cdot g \cdot l$$

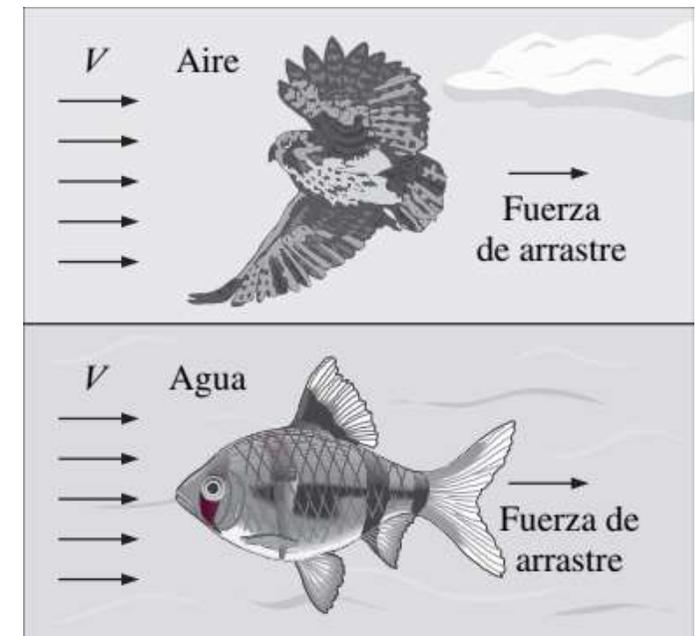
Presión dinámica teórica, tubo de Prandtl

RESISTENCIA DE LOS FLUIDOS

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, por ejemplo, un ave volando en el aire ó un pez nadando en el agua, se originan fuerzas que no aparecen cuando una nave espacial se mueve en el vacío.

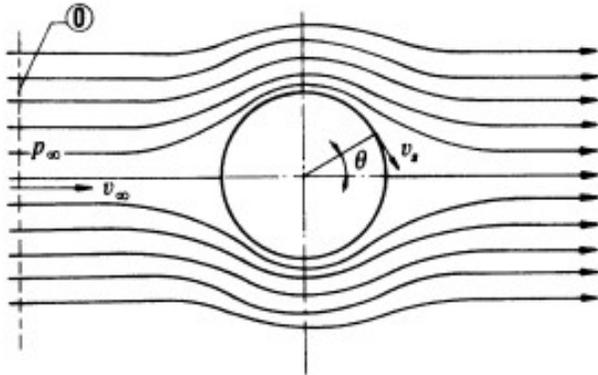
- *La resultante de las fuerza en la dirección normal movimiento se denomina empuje ascensional.*
- *La resultante de las fuerzas en la dirección del movimiento se denomina arrastre o resistencia.*

- ***El origen de estas fuerzas es la η ($\eta \neq 0$).***
- ***Se cumple el principio de acción y reacción.***



PARADOJA DE D'ALEMBERT

$$v_s = 2v_\infty \text{ sen } \theta$$

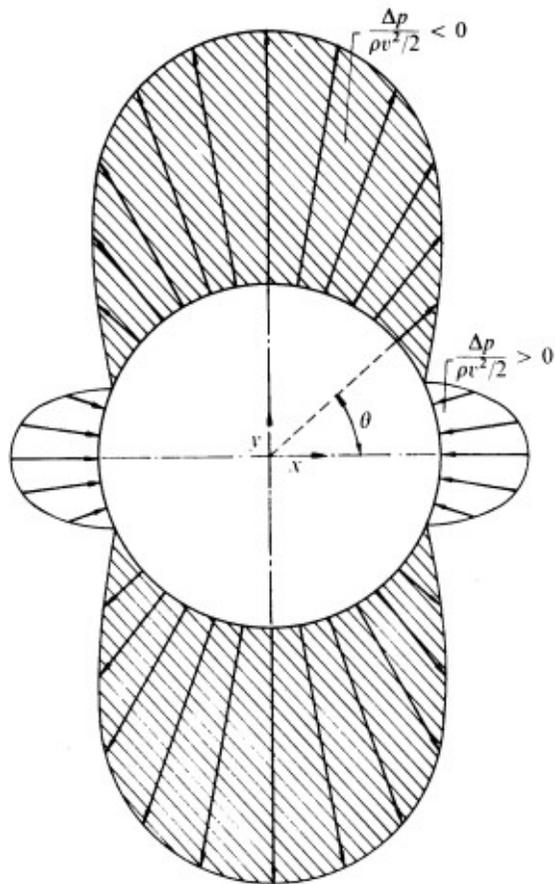


- v_s – Velocidad del fluido en un punto de la superficie del cilindro
- v_∞ – Velocidad de la corriente imperturbada, o velocidad en el infinito
- θ – Ángulo que fija la posición del punto en el cilindro

$$p_\infty + \frac{\rho v_\infty^2}{2} = p_s + \frac{\rho v_s^2}{2}$$

$$p_s = p_\infty + \frac{\rho}{2} (v_\infty^2 - v_s^2) = p_\infty + \frac{\rho v_\infty^2}{2} (1 - 4 \text{ sen}^2 \theta)$$

PARADOJA DE D'ALEMBERT

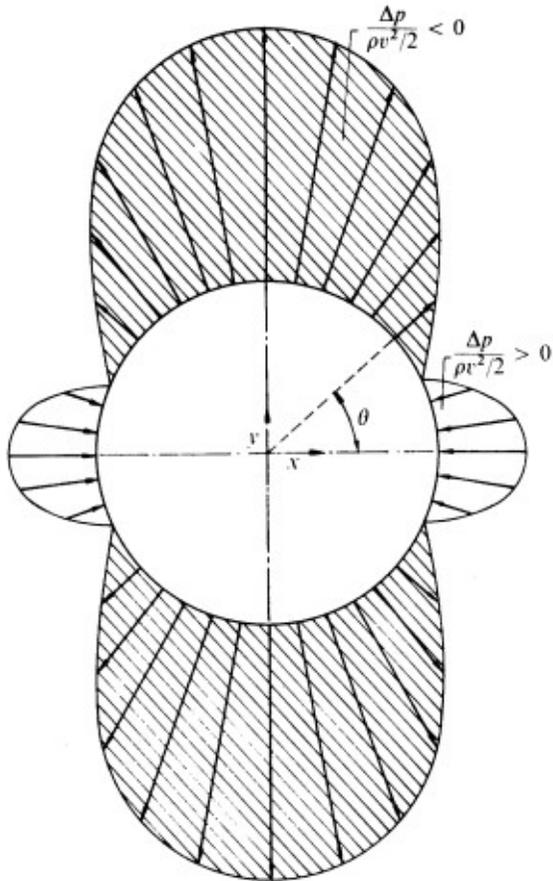


$$p_s = p_\infty + \frac{\rho}{2} (v_\infty^2 - v_s^2) = p_\infty + \frac{\rho v_\infty^2}{2} (1 - 4 \sin^2 \theta)$$

$$\frac{p_s - p_\infty}{\rho v_\infty^2/2} = \frac{\Delta p}{\rho v_\infty^2/2} = 1 - 4 \sin^2 \theta$$

- La resultante de las fuerza en la dirección normal movimiento (empuje ascensional) es nula.
- La resultante de las fuerzas en la dirección del movimiento (arrastre o resistencia) es nula.

PARADOJA DE D'ALEMBERT



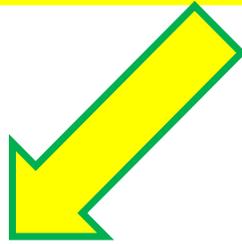
$$\frac{p_s - p_\infty}{\rho v_\infty^2/2} = \frac{\Delta p}{\rho v_\infty^2/2} = 1 - 4 \sin^2 \theta$$

Un cilindro se movería en un fluido ideal sin experimentar resistencia alguna ($\eta = 0$).

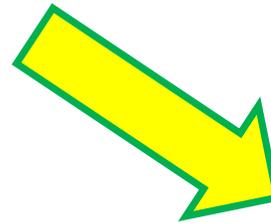
Pero el hecho paradójico de que el agua y el aire (de gran importancia en la Mecánica de los fluidos) aunque son muy poco viscosos ofrecen a un cilindro en movimiento una gran resistencia. Este hecho es el que se conoce como PARADOJA DE D'ALAMBERT

PARADOJA DE D'ALEMBERT

Pero el hecho paradójico de que el agua y el aire (de gran importancia en la Mecánica de los fluidos) aunque son muy poco viscosos ofrecen a un cilindro en movimiento una gran resistencia. Este hecho es el que se conoce como PARADOJA DE D'ALAMBERT



Capa límite

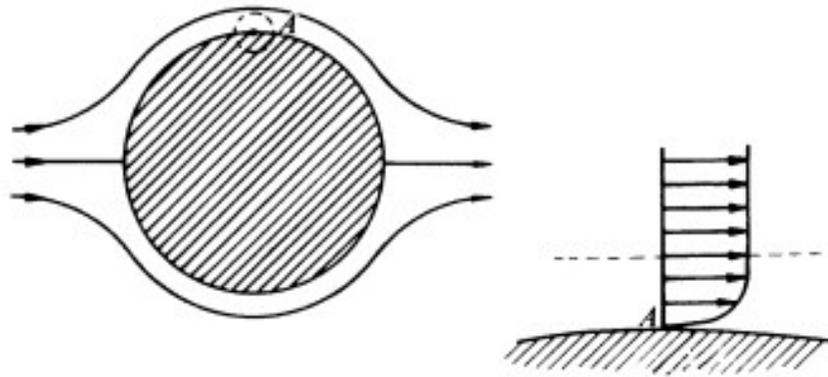


*Desprendimiento de la
Capa límite*

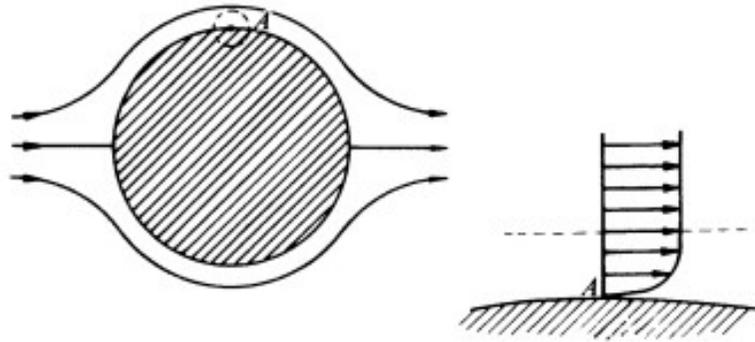
PARADOJA DE D'ALEMBERT

La capa de fluido contigua al cilindro se adhiere al mismo por su viscosidad; a consecuencia de lo cual la velocidad del fluido junto al cilindro mismo se reduce a 0. Esta velocidad aumenta rápidamente hasta que pasada una película de fluido (capa límite) la velocidad es

v_s



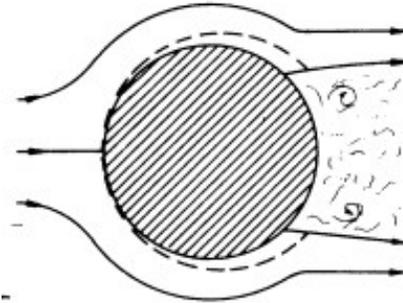
PARADOJA DE D'ALEMBERT



$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$ → Donde η sigue siendo bajo para agua o aire pero $\frac{dv}{dy}$ crece muy rápidamente debido a que la capa límite es muy fina

El esfuerzo cortante τ genera la denominada "Resistencia a la superficie" ($\tau \cdot A$).

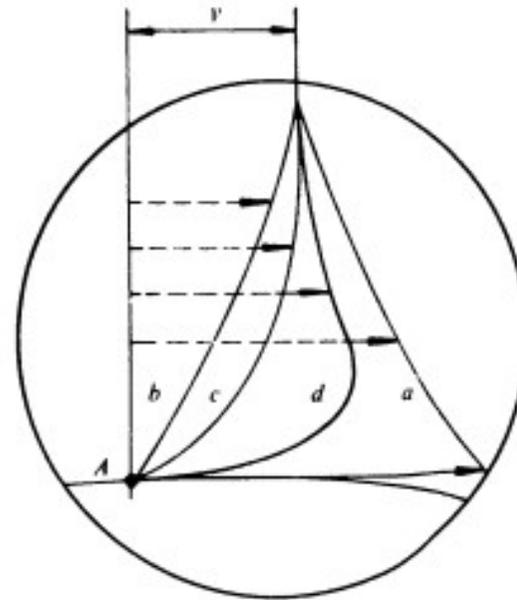
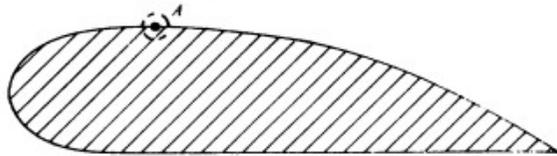
PARADOJA DE D'ALEMBERT



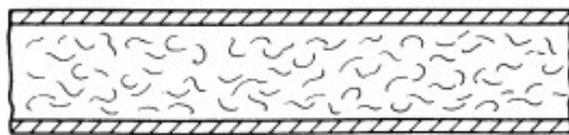
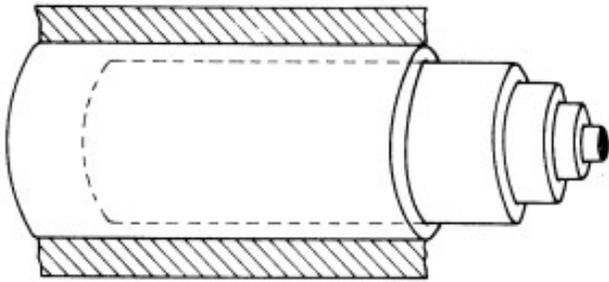
El cilindro aerodinámicamente hablando, tiene forma roma y las líneas de corriente se separan (desprendimiento de capa límite). Creandose corriente abajo del cilindro remolinos que originan una depresión.

Si el cilindro se moviera de derecha a izquierda y el liquido estuviese en reposo, el cilindro experimentaría una resistencia que se denomina "Resistencia de forma".

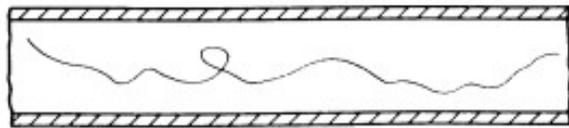
CAPA LÍMITE. RESISTENCIA A LA SUPERFICIE



REGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO



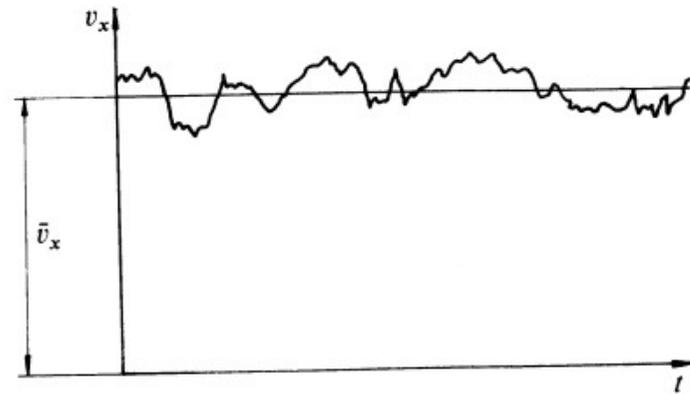
(a)



(b)



Taquígramas



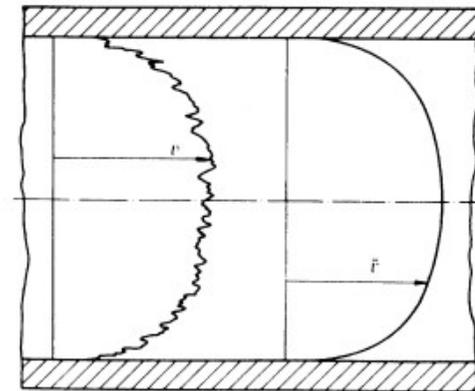
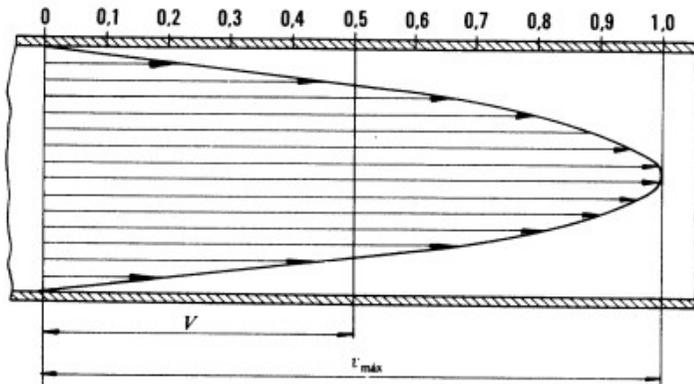
REGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO

$$\bar{\tau} = \eta_r \frac{d\bar{v}}{dy}$$

$\bar{\tau}$ – Esfuerzo cortante medio.

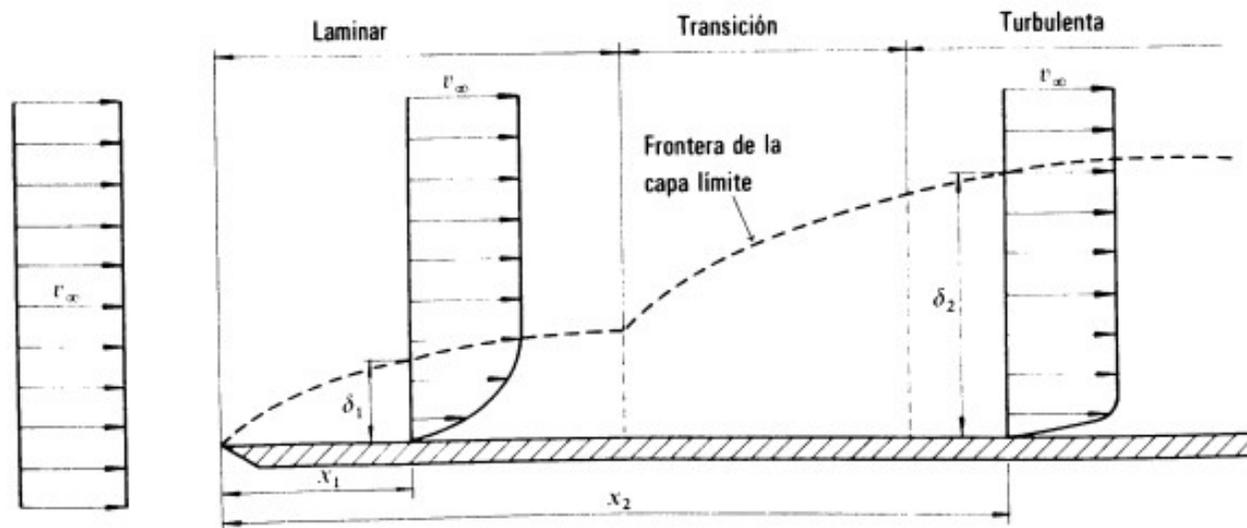
η_r – Viscosidad llamada de remolino.

\bar{v} – Valor medio temporal de la velocidad en un punto cualquiera.



CAPA LÍMITE LAMINAR Y TURBULENTO

Espesor creciente δ de la capa límite alrededor de una placa plana de borde de ataque sumergido en una corriente uniforme en el infinito.

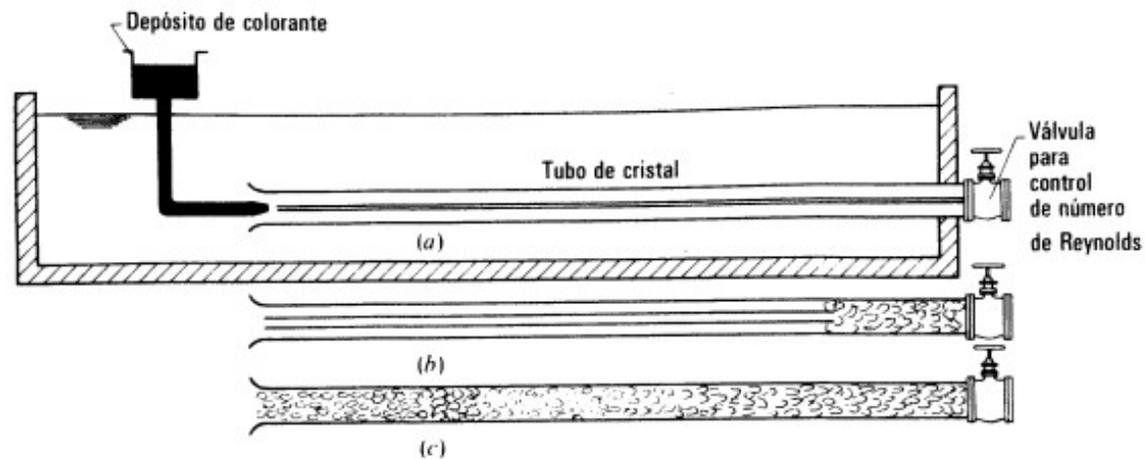


$$Re = \frac{v_\infty x}{\nu}$$

$$\delta/x = f(Re)$$

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

NÚMERO CRÍTICO DE REYNOLDS

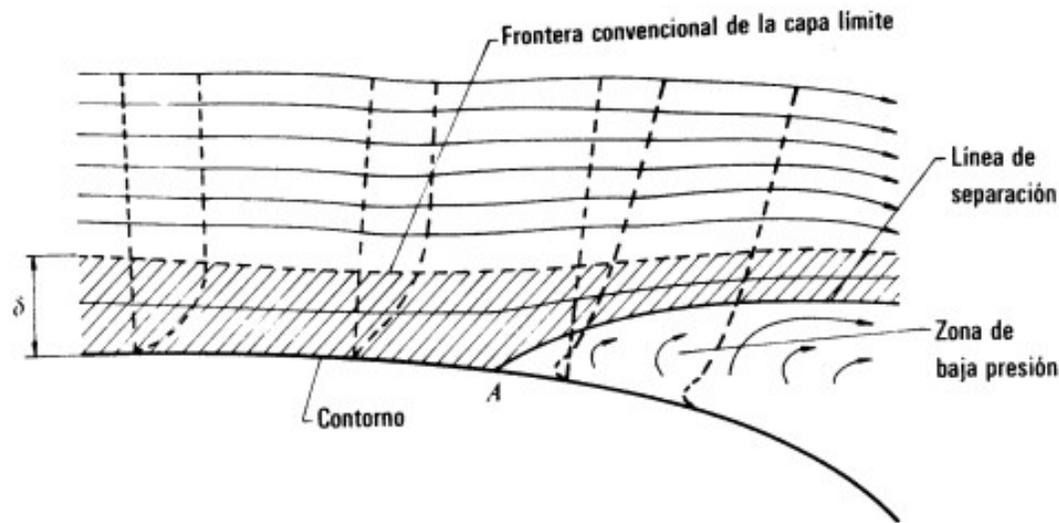


$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

D — diámetro de la tubería, que en este caso permanece constante
 ν — viscosidad cinemática del agua, también constante

DESPRENDIMIENTO DE LA CAPA LÍMITE. RESISTENCIA DE FORMA

Resistencia de forma es la producida por un gradiente de presiones adverso que se origina al desprenderse la capa límite y que depende en gran manera de la forma del contorno.



RESISTENCIA DE FORMA. CONTORNOS ROMOS Y BIEN FUSELADOS

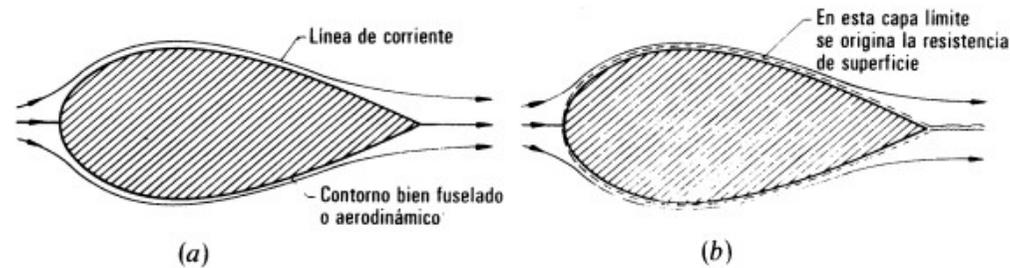
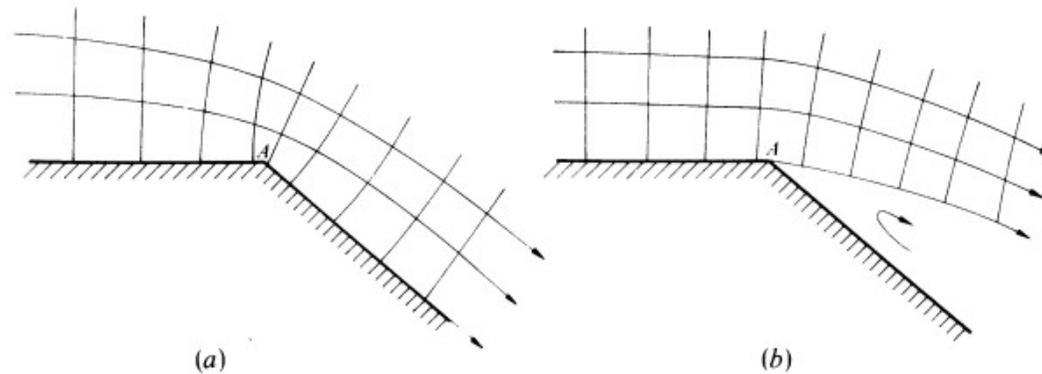


FIG. 8-16. En este *contorno simétrico bien fuselado* la resistencia es nula en el fluido ideal (a); y queda circunscrita a la resistencia en la capa límite en el fluido viscoso (b).



RESISTENCIA DE FORMA. CONTORNOS ROMOS Y BIEN FUSELADOS

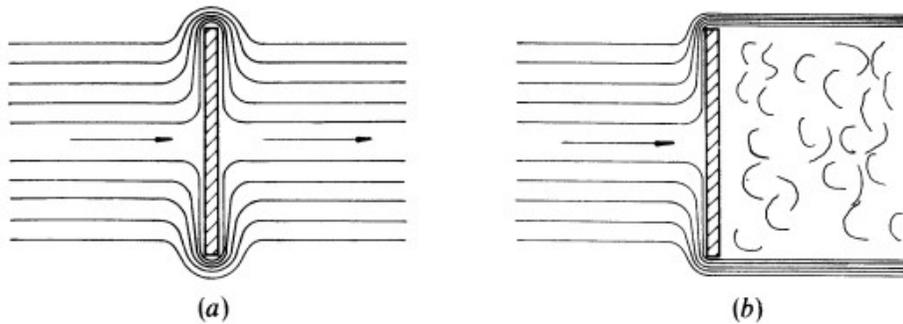
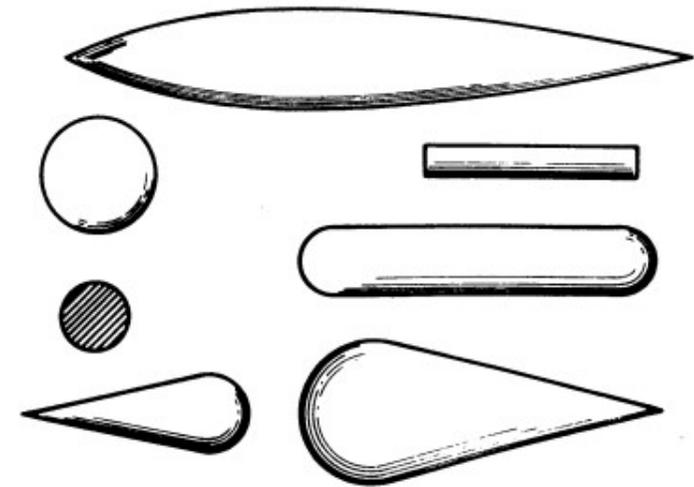
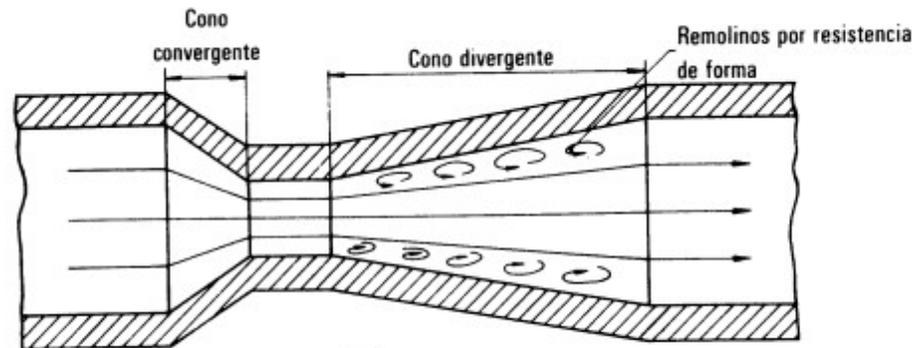


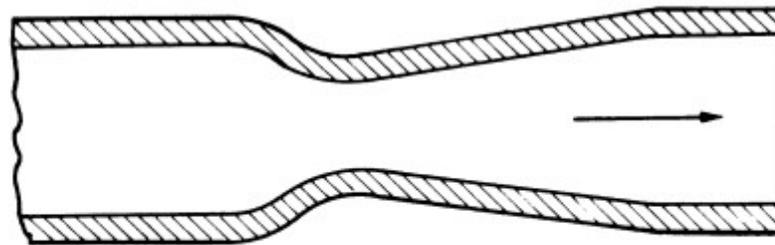
FIG. 8-18. La *placa plana normal a la corriente* es una forma aerodinámicamente *roma*. En el fluido real la configuración de la corriente es simétrica (a). La disimetría que se produce por el *desprendimiento* en el fluido real (b) produce una *resistencia de forma*.



RESISTENCIA DE FORMA. CONTORNOS ROMOS Y BIEN FUSELADOS



(a)



(b)

NÚMERO CRÍTICO DE REYNOLDS

