

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS

UNIDAD N°4: Resistencia de los fluidos

Docentes:

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

APLICACIONES DE BERNOULLI

TAREA I:

Demostrar como a partir de las ecuaciones de Euler se puede definir la ecuación fundamental de la hidrostática.

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

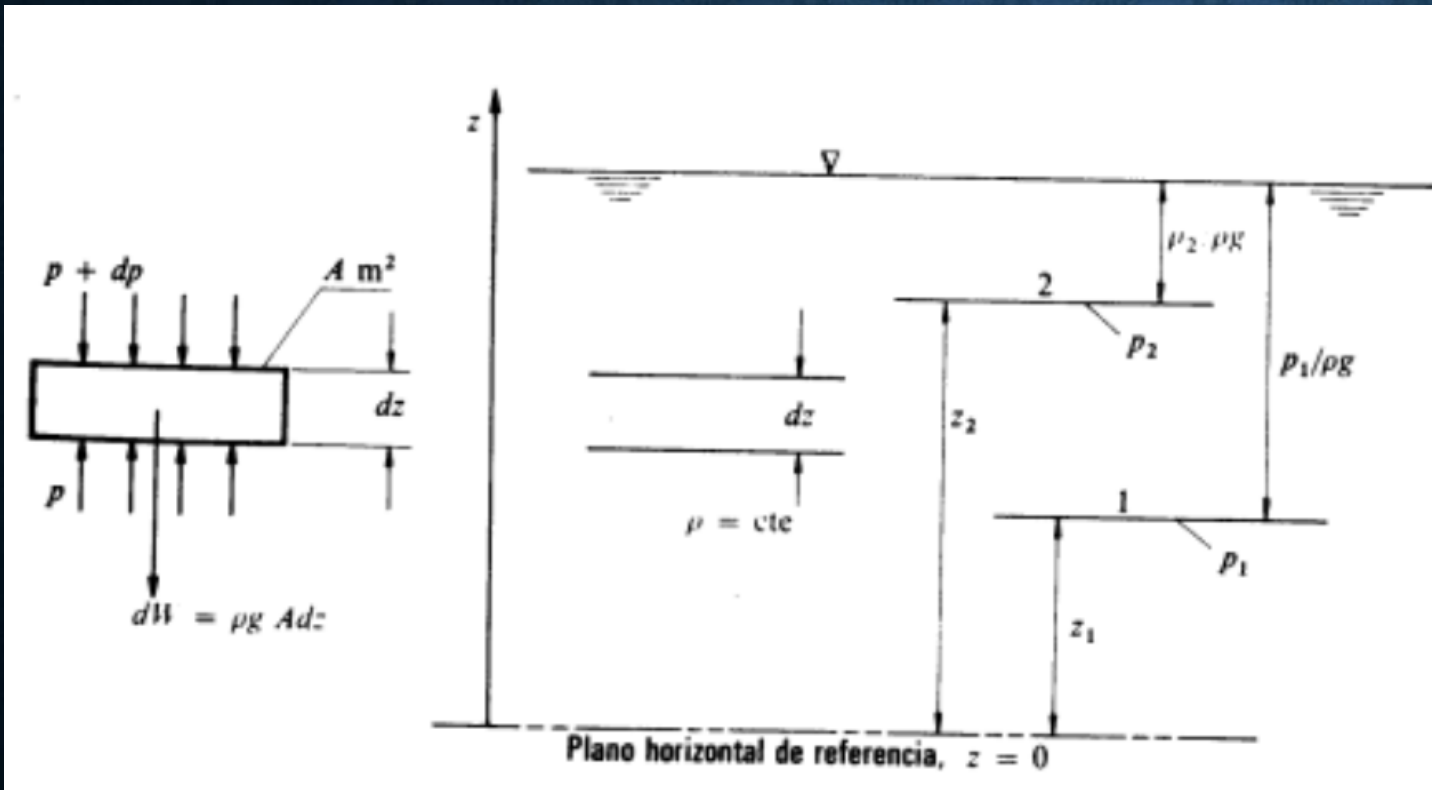
$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$\frac{dv_z}{dt} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

Consideraciones:

- 1 – En regimen permanente la velocidad no varía en el tiempo.*
- 2 – Las líneas de corriente son consideradas horizontales y en la dirección del eje x.*
- 3 – El eje y en dirección horizontal y perpendicular a dicha dirección.*
- 4 – El eje z en la dirección vertical.*

APLICACIONES DE BERNOULLI



$$0 = -g - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}$$

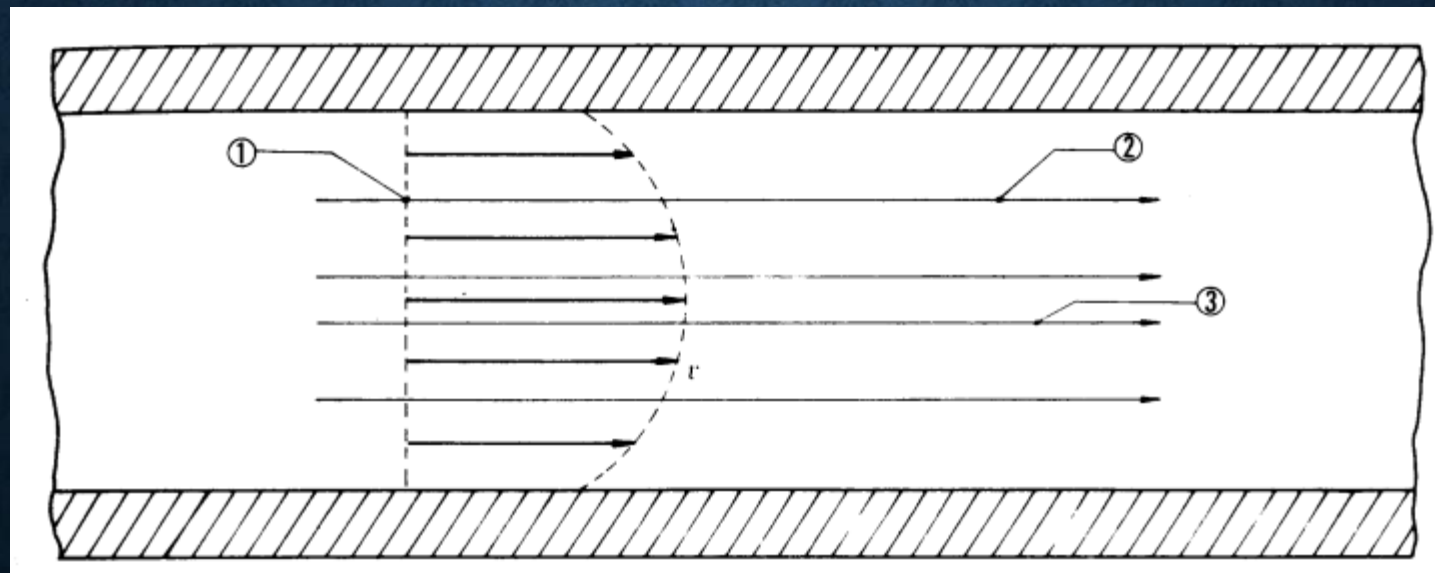
$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g \cdot \rho$$

$$p = -g \cdot \rho \cdot z + C$$

APLICACIONES DE BERNOULLI

TAREA II

Definir la ecuación de Bernoulli para un hilo de corriente en régimen permanente.



APLICACIONES DE BERNOULLI

ECUACION DE BERNOULLI PARA UN HILO DE CORRIENTE

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 g + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g + \frac{v_2^2}{2} \quad (5-29)$$

(1 y 2 en la misma línea de corriente, fluido ideal)

Característica	Flujo permanente rotacional	Flujo permanente irrotacional
Perfil de velocidad	Parabólico	Uniforme
Velocidad máxima	Centro de la tubería	En cualquier punto
Capa limite	Presente	Ausente
Viscosidad	Alta	Ausente

APLICACIONES DE BERNOULLI

*ECUACION DE BERNOULLI PARA UN TUBO DE CORRIENTE
(1.ª FORMA)*

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 g + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g + \frac{v_2^2}{2} \quad (5-31)$$

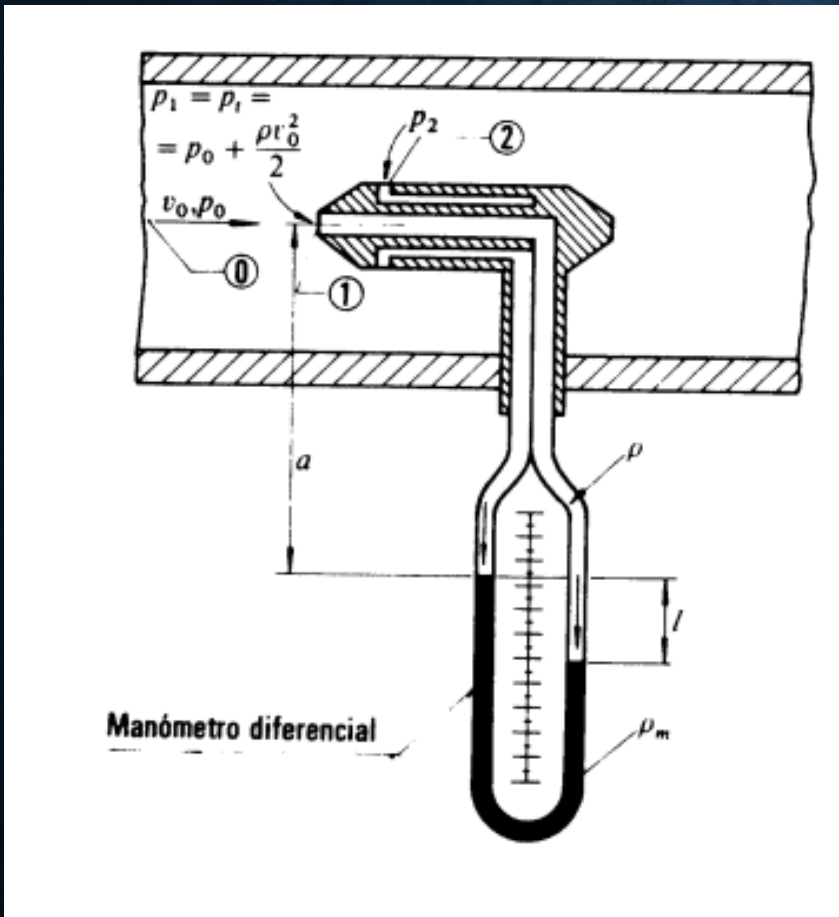
(v_1, v_2 velocidades medias en las secciones 1 y 2)

APLICACIONES DE BERNOULLI

TAREA III: Realizar el análisis teórico del 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*”.

APLICACIONES DE BERNOULLI



$$p_1 = p_t \quad v_1 = 0$$

$$v_2 = v_{ot}$$

$$p_2 = p_o$$

$$p_o + \rho \frac{v_{ot}^2}{2} = p_1$$

$$p_1 - p_2 = \rho \frac{v_{ot}^2}{2}$$

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

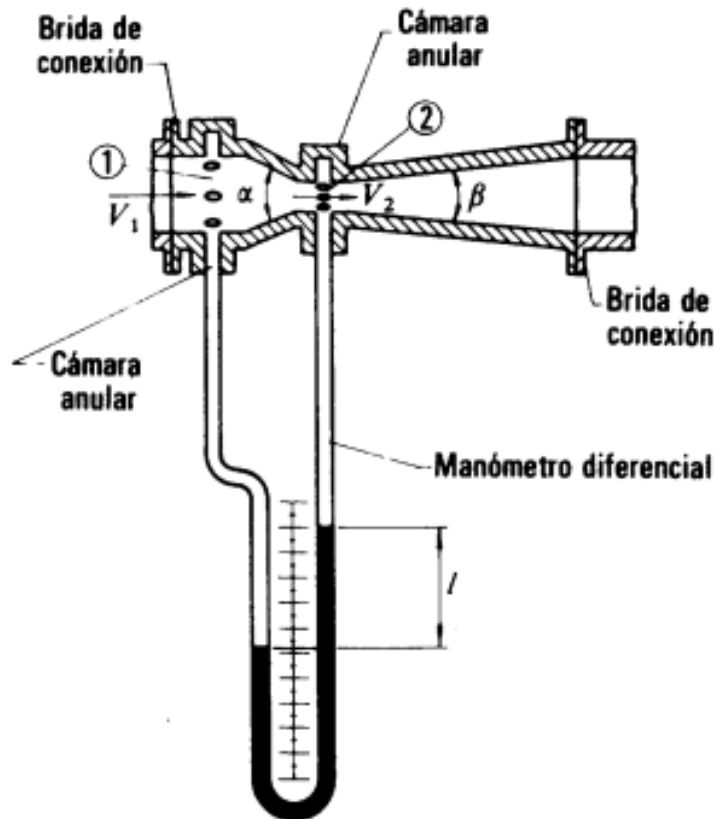
$$p_1 - p_2 = (\rho_m - \rho) \cdot g \cdot l$$

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

Presión dinámica teórica, tubo de Prandtl

APLICACIONES DE BERNOULLI

TAREA IV: Realizar el análisis teórico del tubo de Venturi.



$$p_1/\rho g + z_1 + v_1^2/2g = p_2/\rho g + z_2 + v_2^2/2g$$

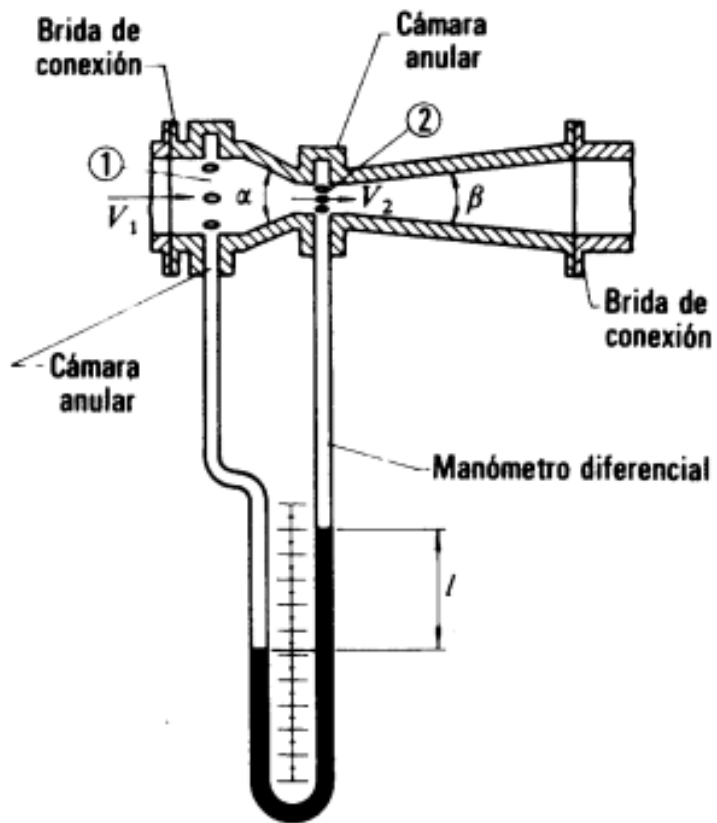
$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_1 = A_2/A_1 v_2$$

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

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

APLICACIONES DE BERNOULLI



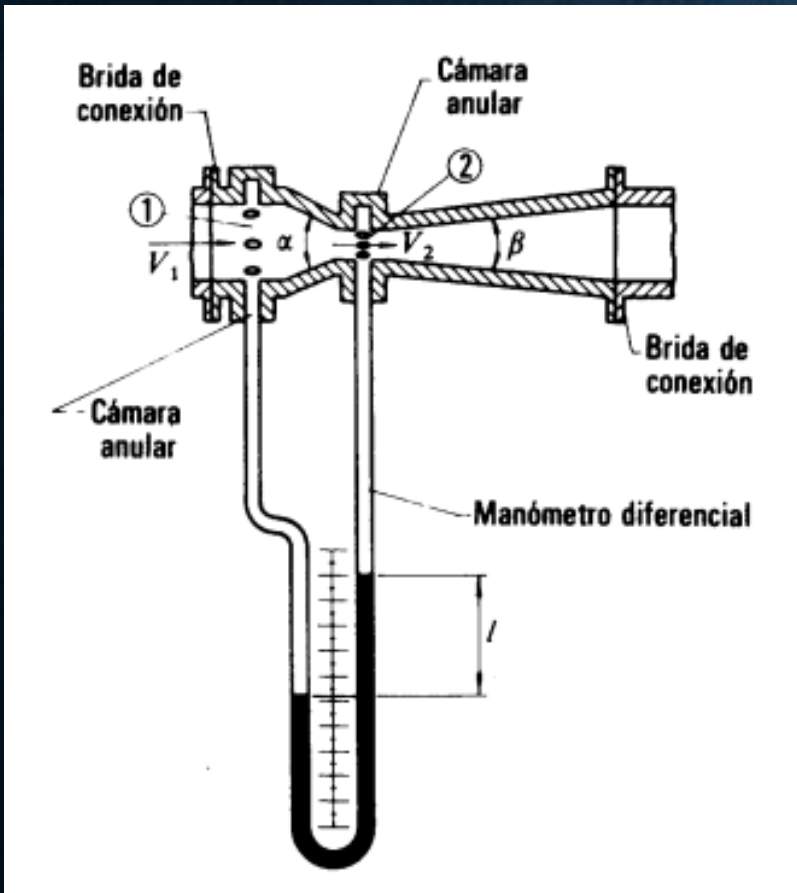
$$v_{2t} = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2g[(p_1/\rho g + z_1) - (p_2/\rho g + z_2)]};$$

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

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

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.

APLICACIONES DE BERNOULLI



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

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

$$Q = C_q A_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

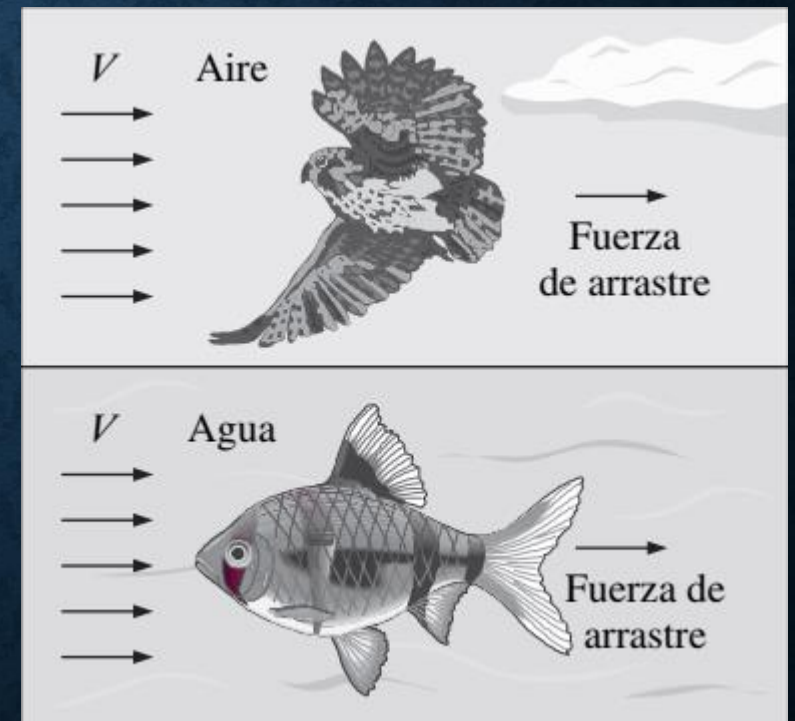
(caudal real, Venturi)

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.

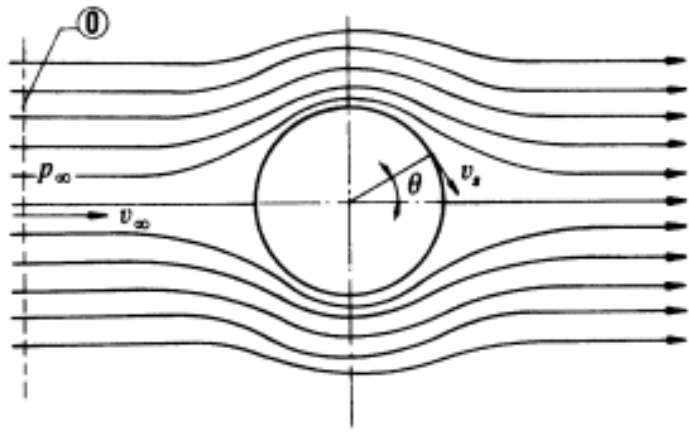
- La resultante de las fuerza en la dirección normal movimiento se denomina empuje ascensional.*
- La resultante de las fuerzas en la dirección del movimiento se denomina arrastre o resistencia.*

- 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

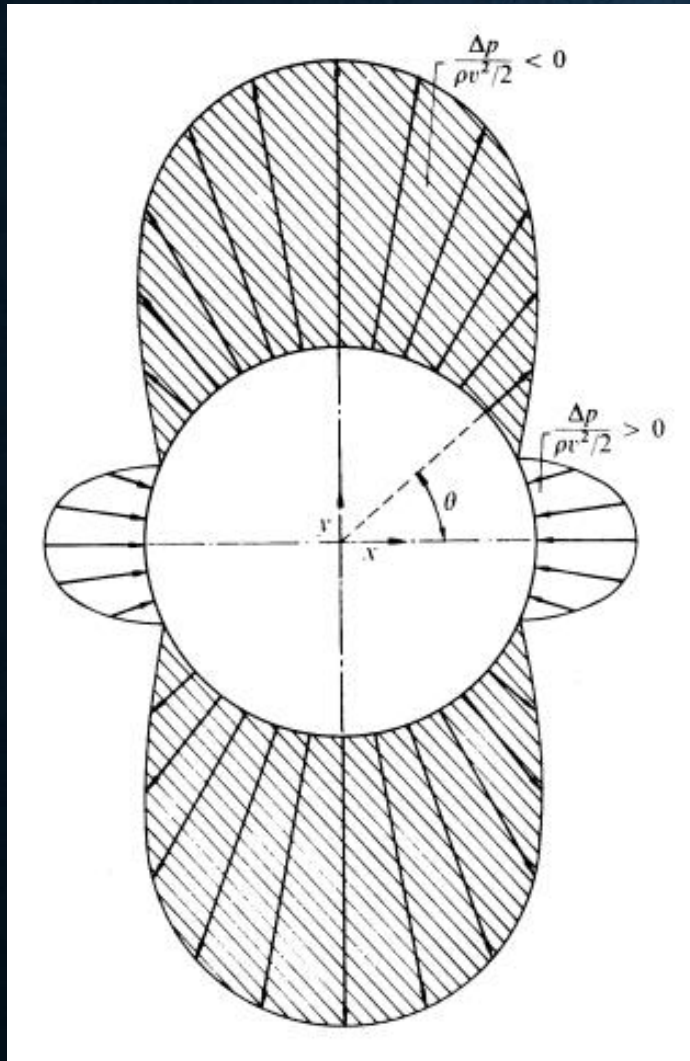
v_∞ – Velocidad de la corriente imperturbada, o velocidad en el infinito

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

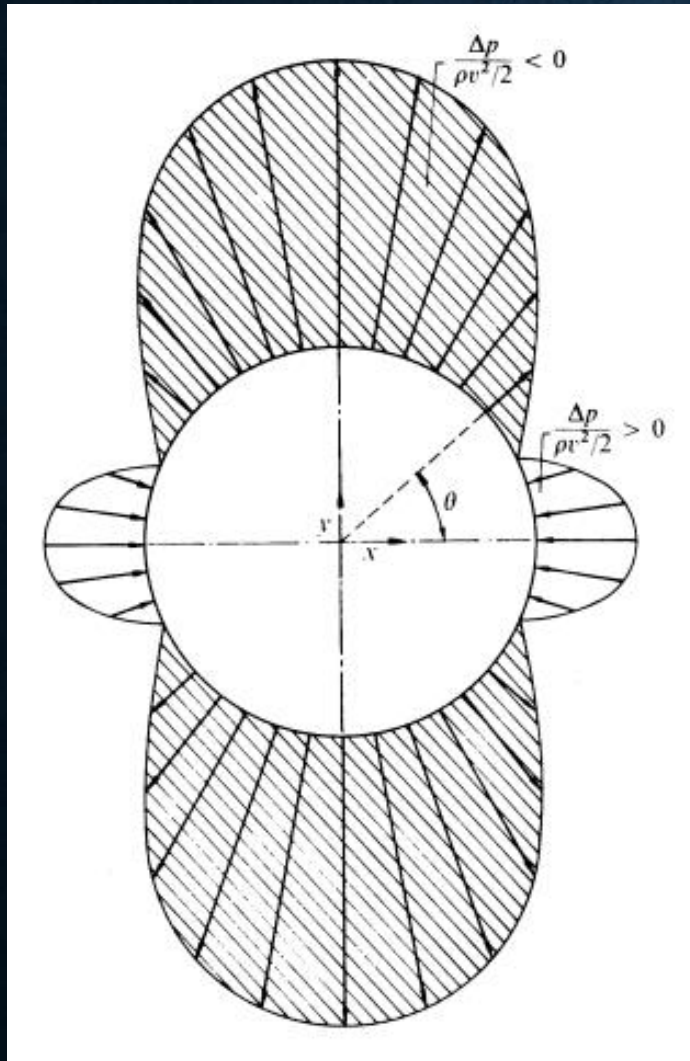


$$p_s = p_\infty + \frac{\rho}{2} (v_\infty^2 - v_s^2) = p_\infty + \frac{\rho v_\infty^2}{2} (1 - 4 \sin^2 \theta)$$

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

- 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



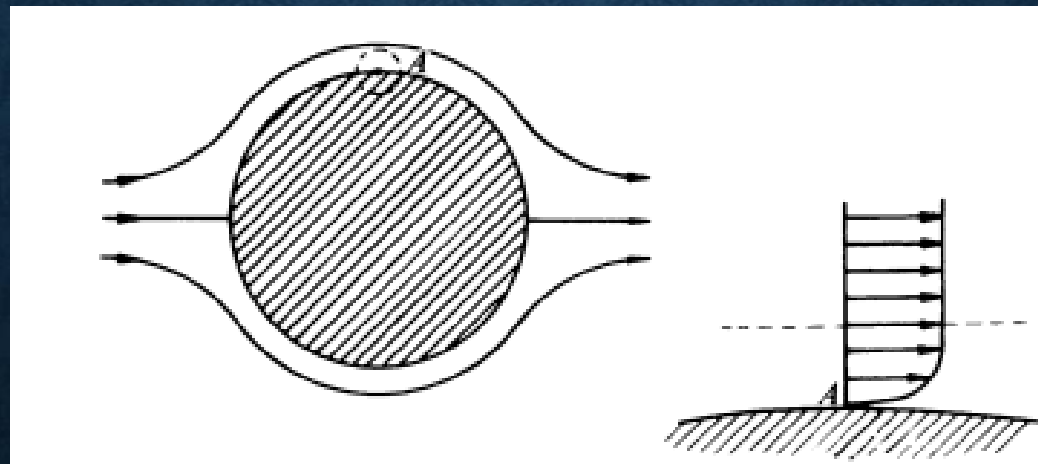
Capa límite



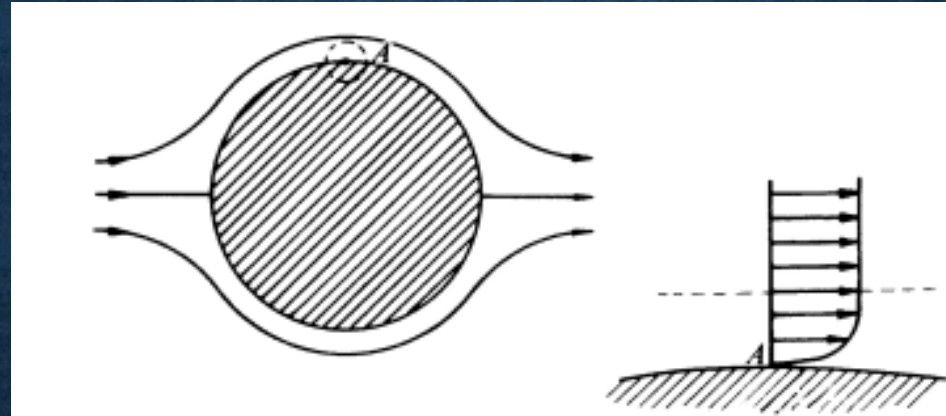
***Desprendimiento de la
Capa límite***

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 .



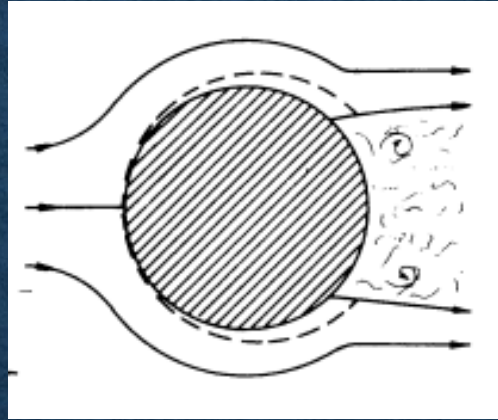
PARADOJA DE D'ALEMBERT



$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \rightarrow$ 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" ($\tau \cdot A$).

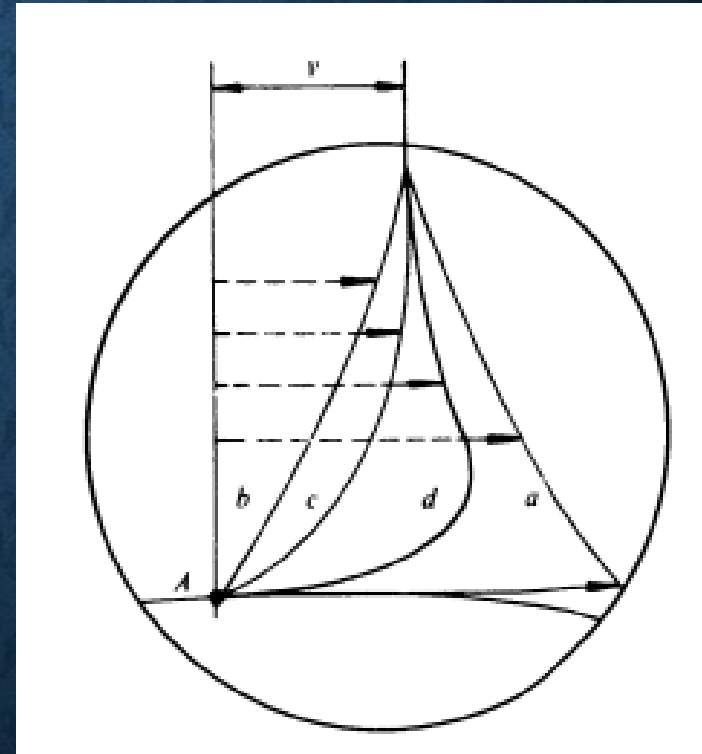
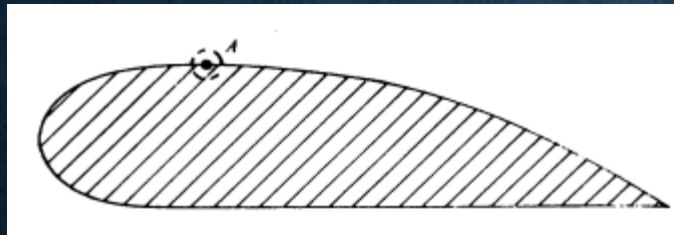
PARADOJA DE D'ALEMBERT



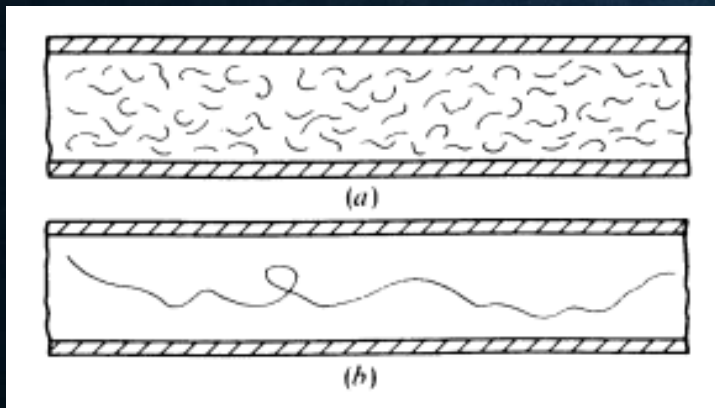
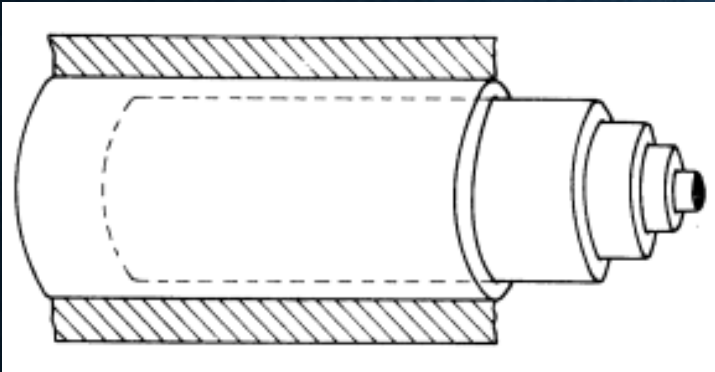
El cilindro aerodinámicamente hablando, tiene forma roma y las líneas de corriente se separan (desprendimiento de capa límite). Creandose corriente abajo del cilindro remolinos que originan una depresión.

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".

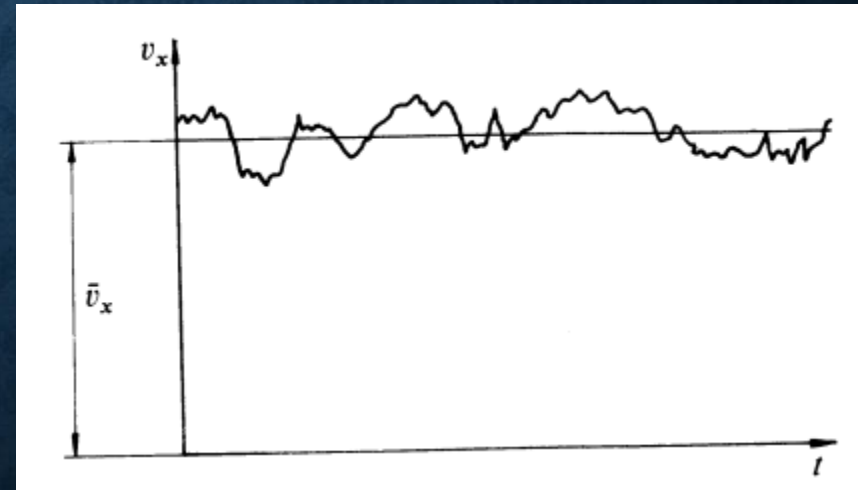
CAPA LÍMITE. RESISTENCIA A LA SUPERFICIE



REGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO



Taquígramas



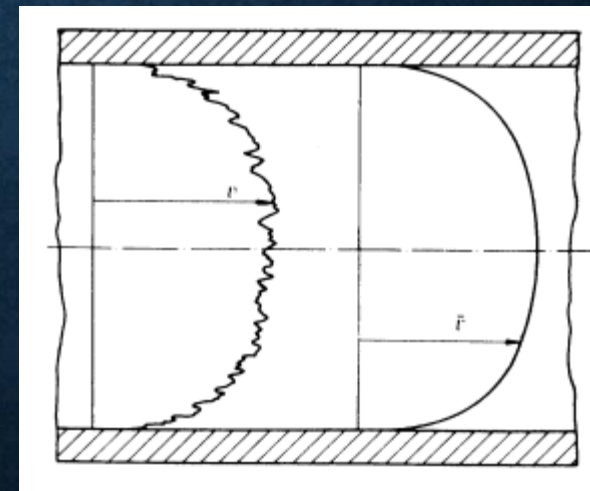
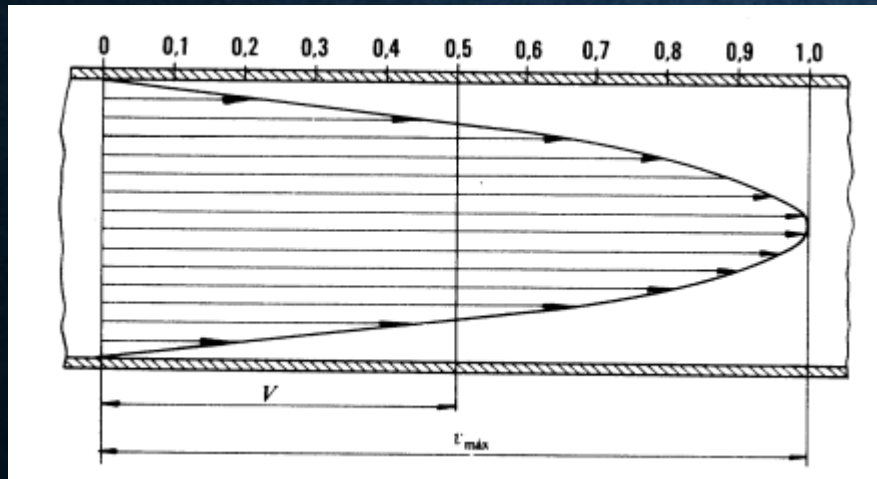
REGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO

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

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

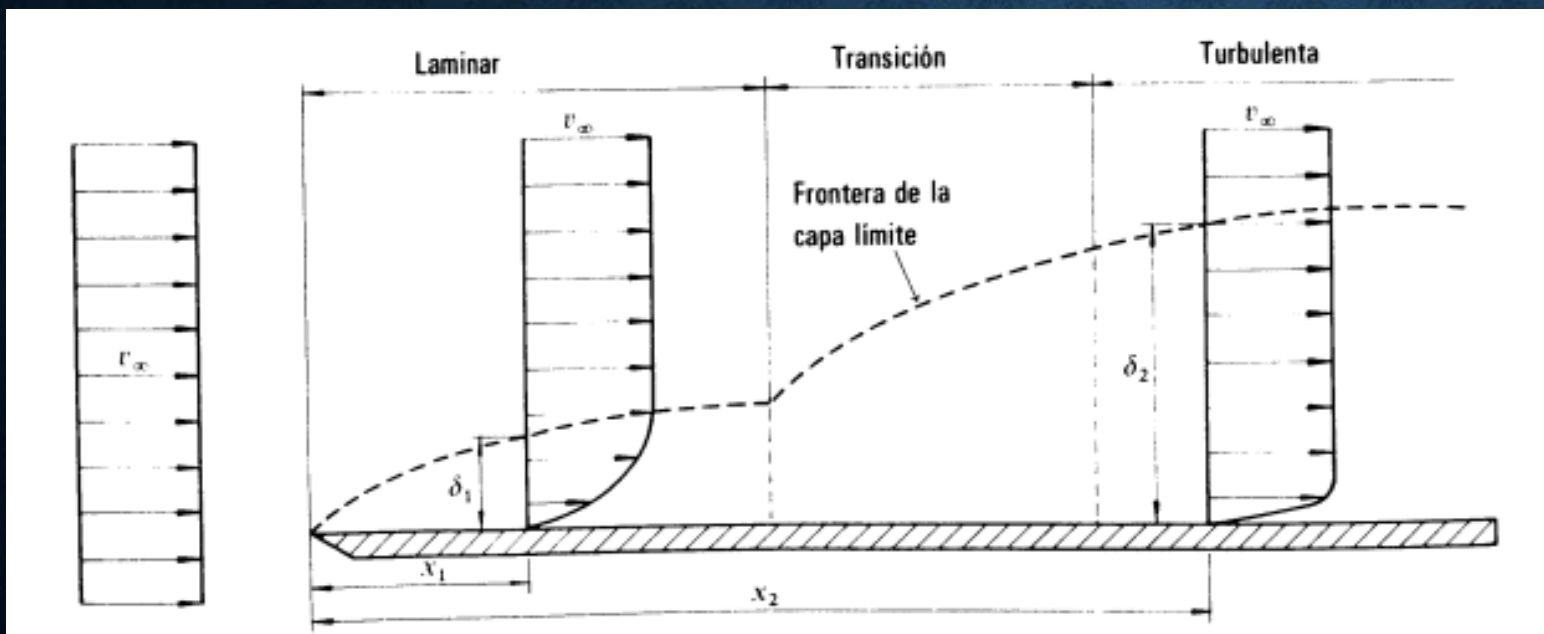
η_r – Viscosidad llamada de remolino.

\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.

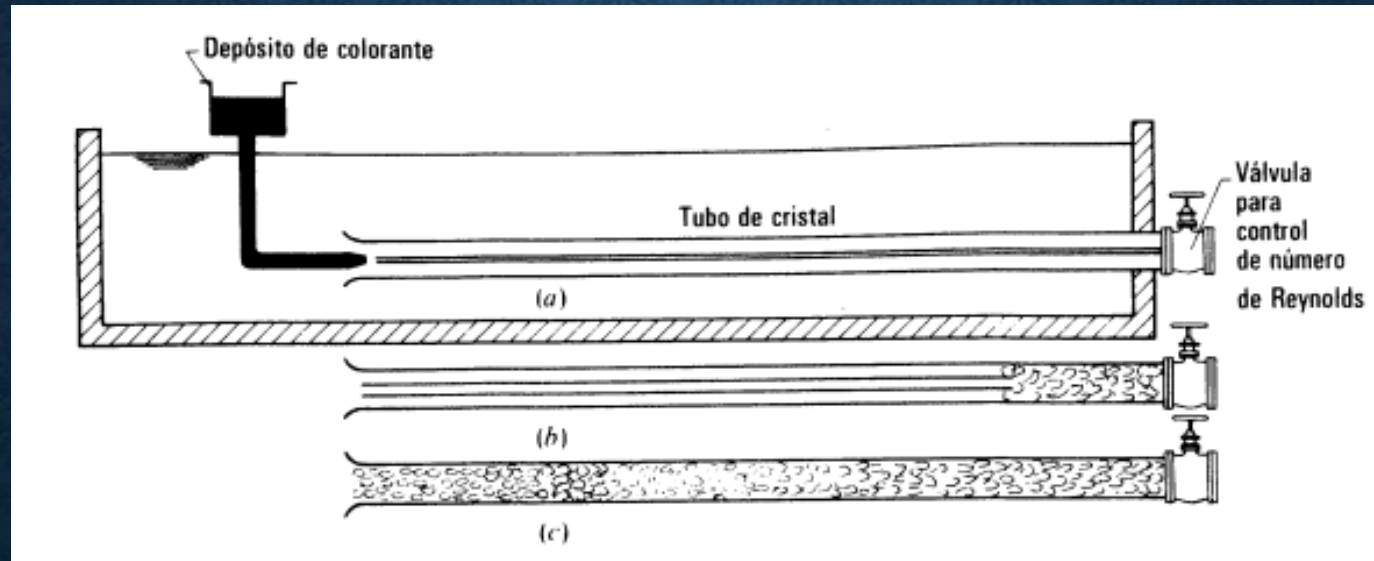


$$Re = \frac{v_\infty x}{\nu}$$

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

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

NÚMERO CRÍTICO DE REYNOLDS

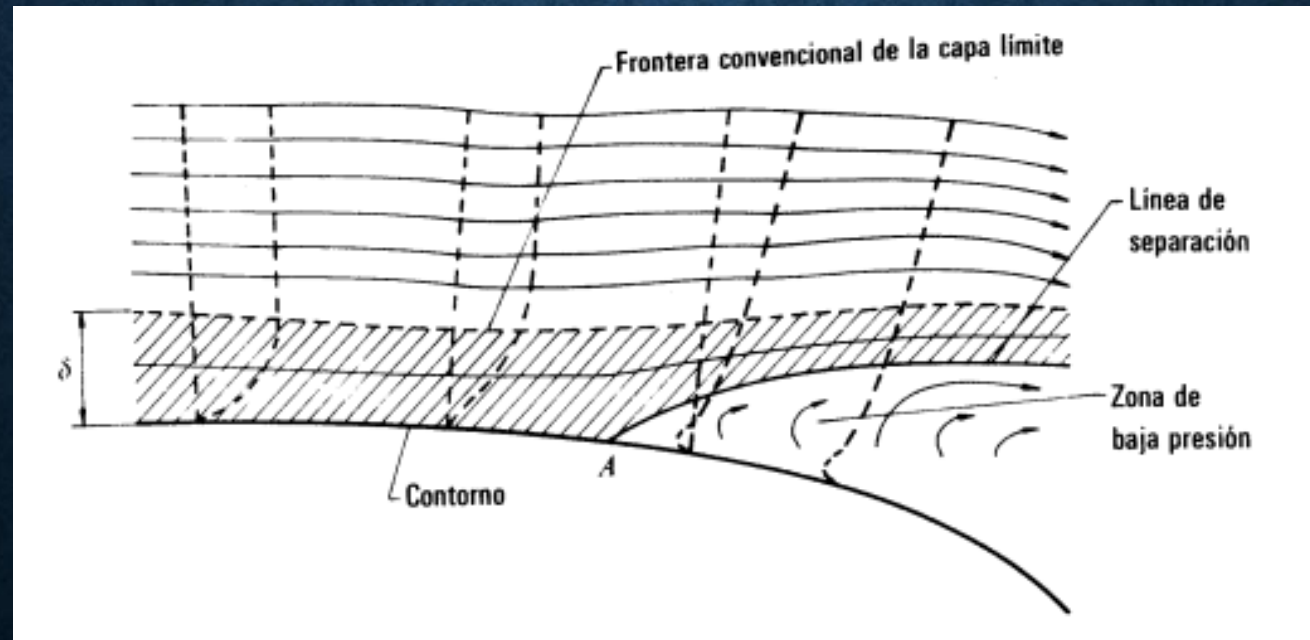


$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

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 limite y que depende en gran manera de la forma del contorno.



RESISTENCIA DE FORMA. CONTORNOS ROMOS Y BIEN FUSELADOS

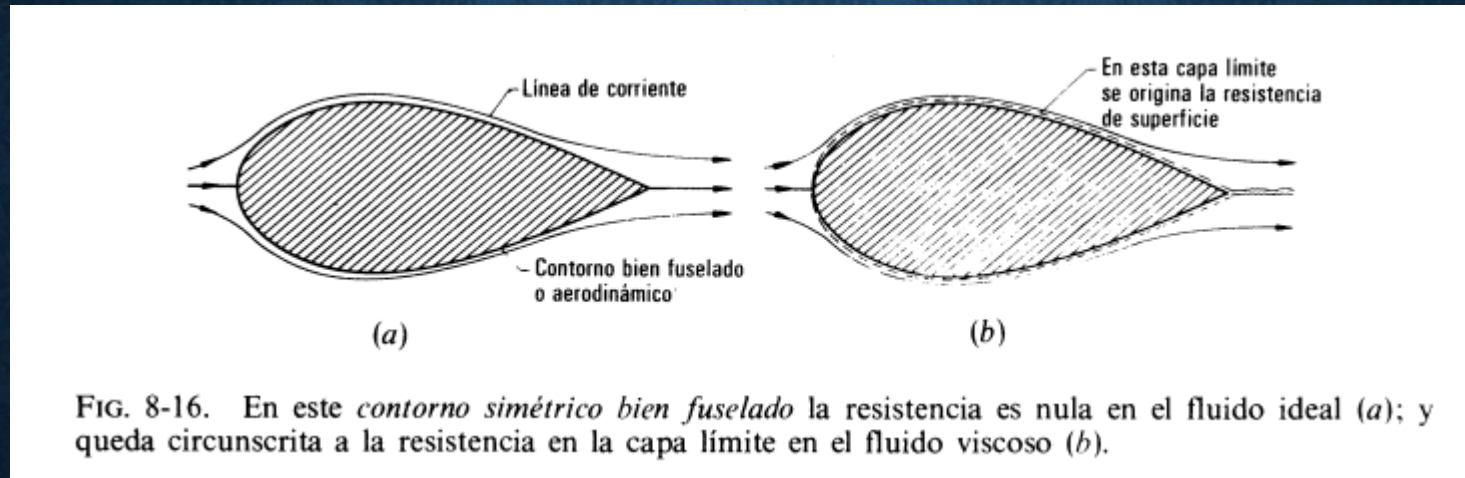
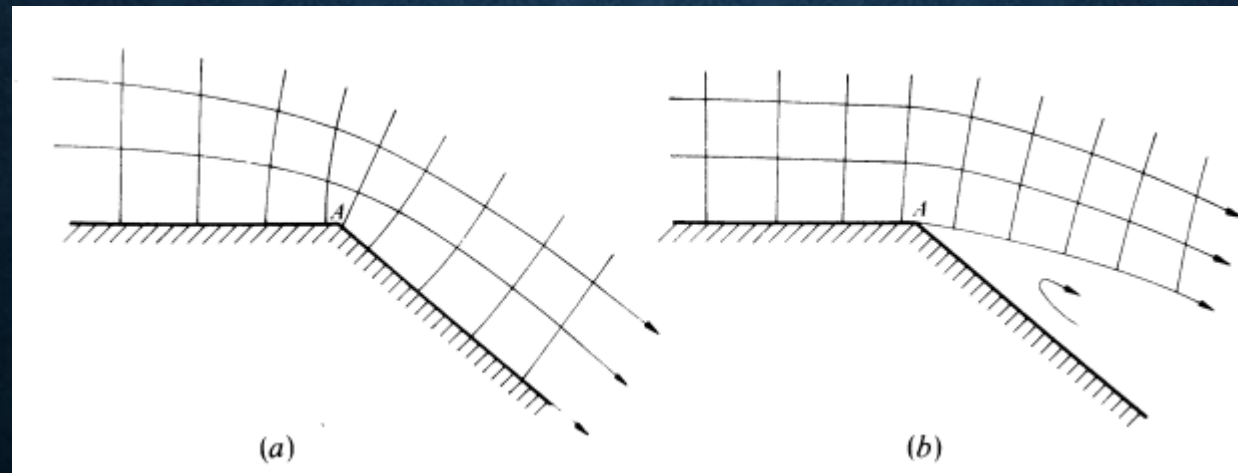


FIG. 8-16. En este *contorno simétrico bien fuselado* la resistencia es nula en el fluido ideal (a); y queda circunscrita a la resistencia en la capa límite en el fluido viscoso (b).



RESISTENCIA DE FORMA. CONTORNOS ROMOS Y BIEN FUSELADOS

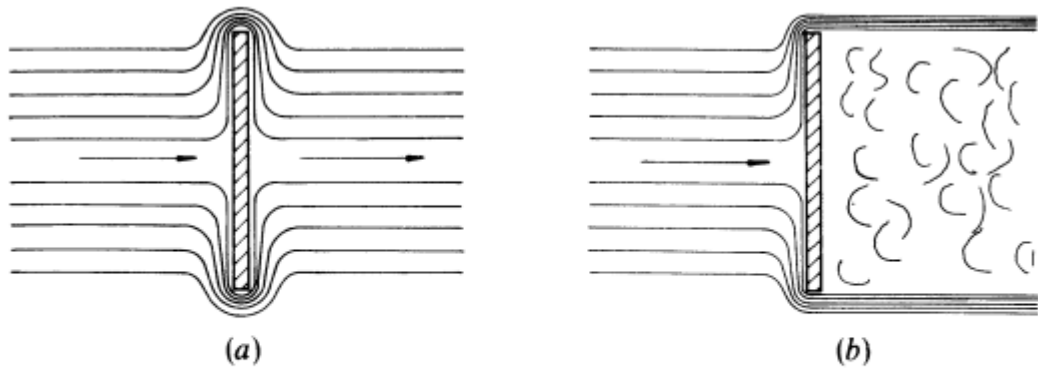
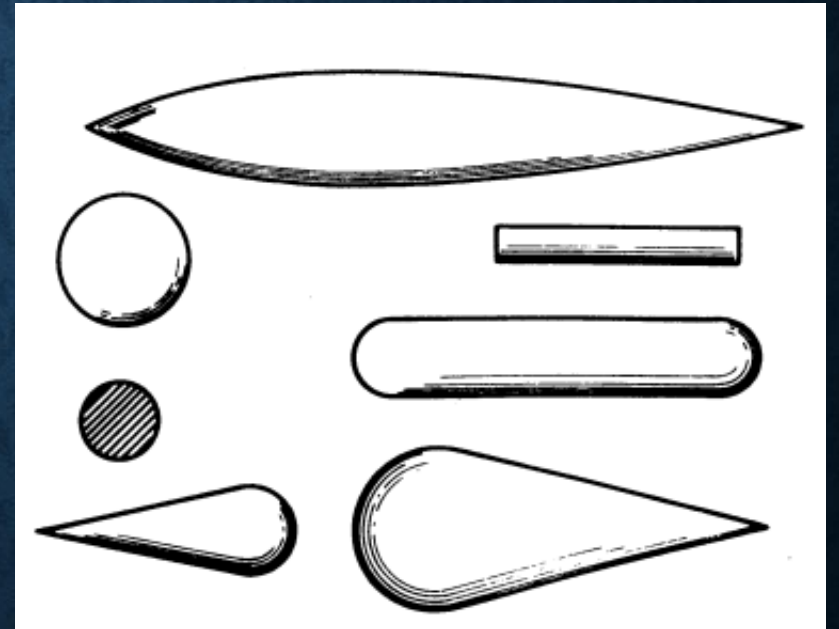
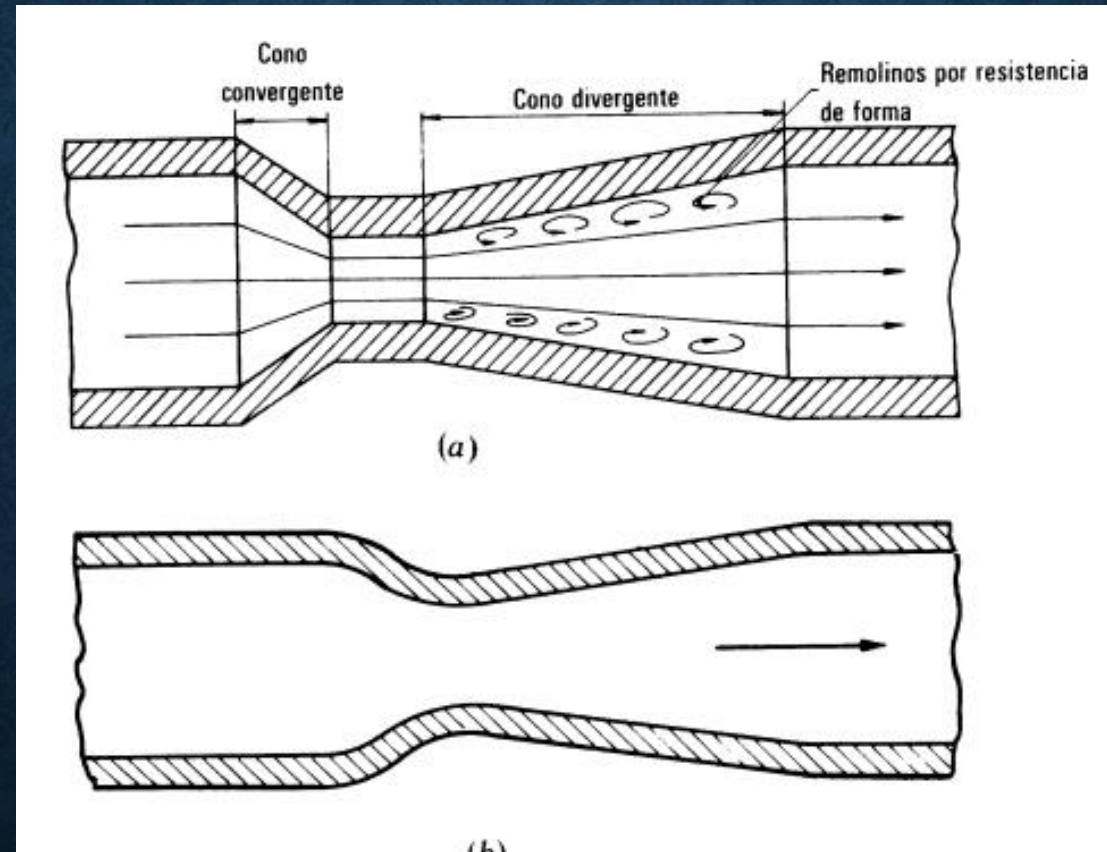


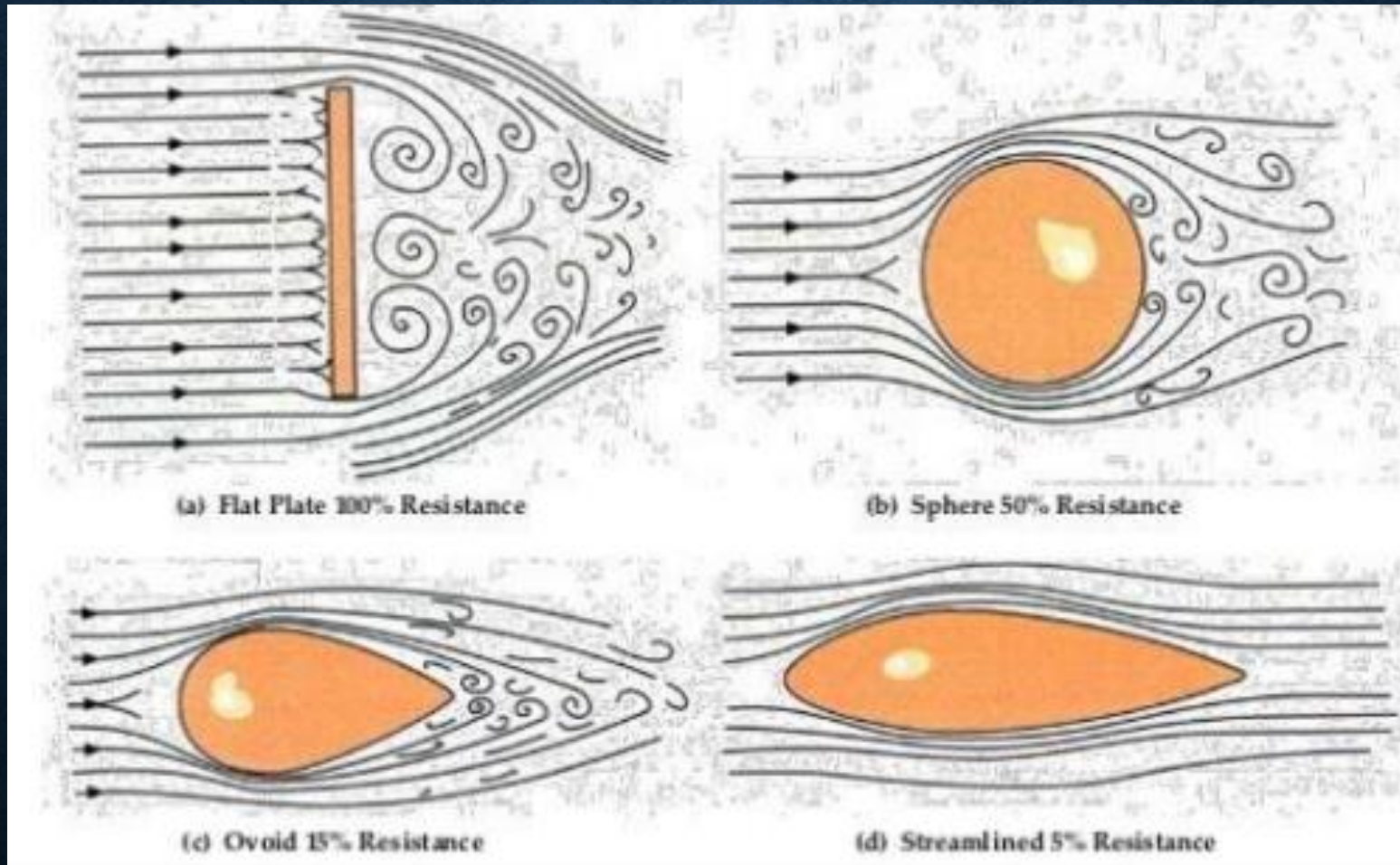
FIG. 8-18. La *placa plana normal a la corriente* es una forma aerodinámicamente *roma*. En el fluido real la configuración de la corriente es simétrica (a). La disimetría que se produce por el *desprendimiento* en el fluido real (b) produce una *resistencia de forma*.



RESISTENCIA DE FORMA. CONTORNOS ROMOS Y BIEN FUSELADOS



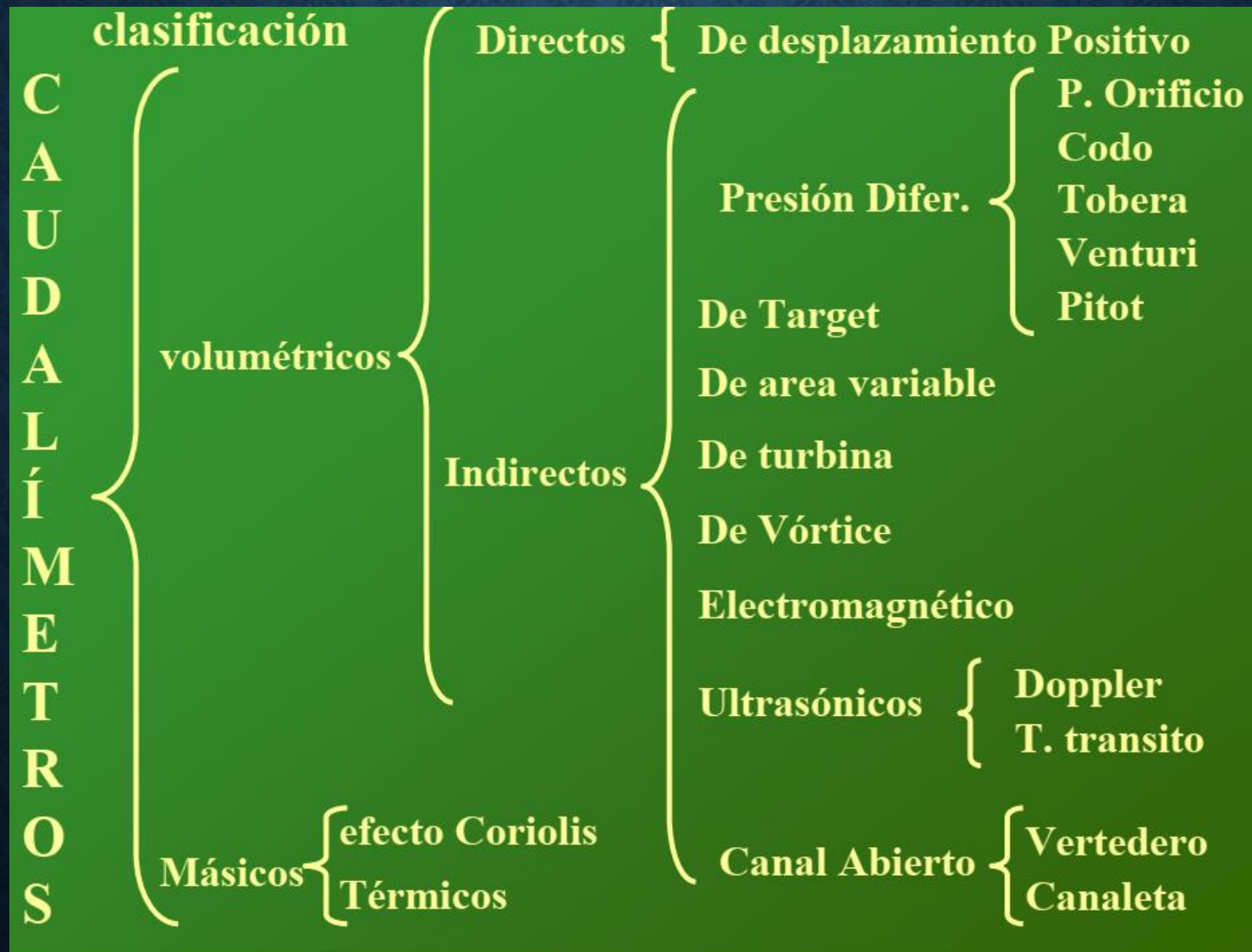
NÚMERO CRÍTICO DE REYNOLDS



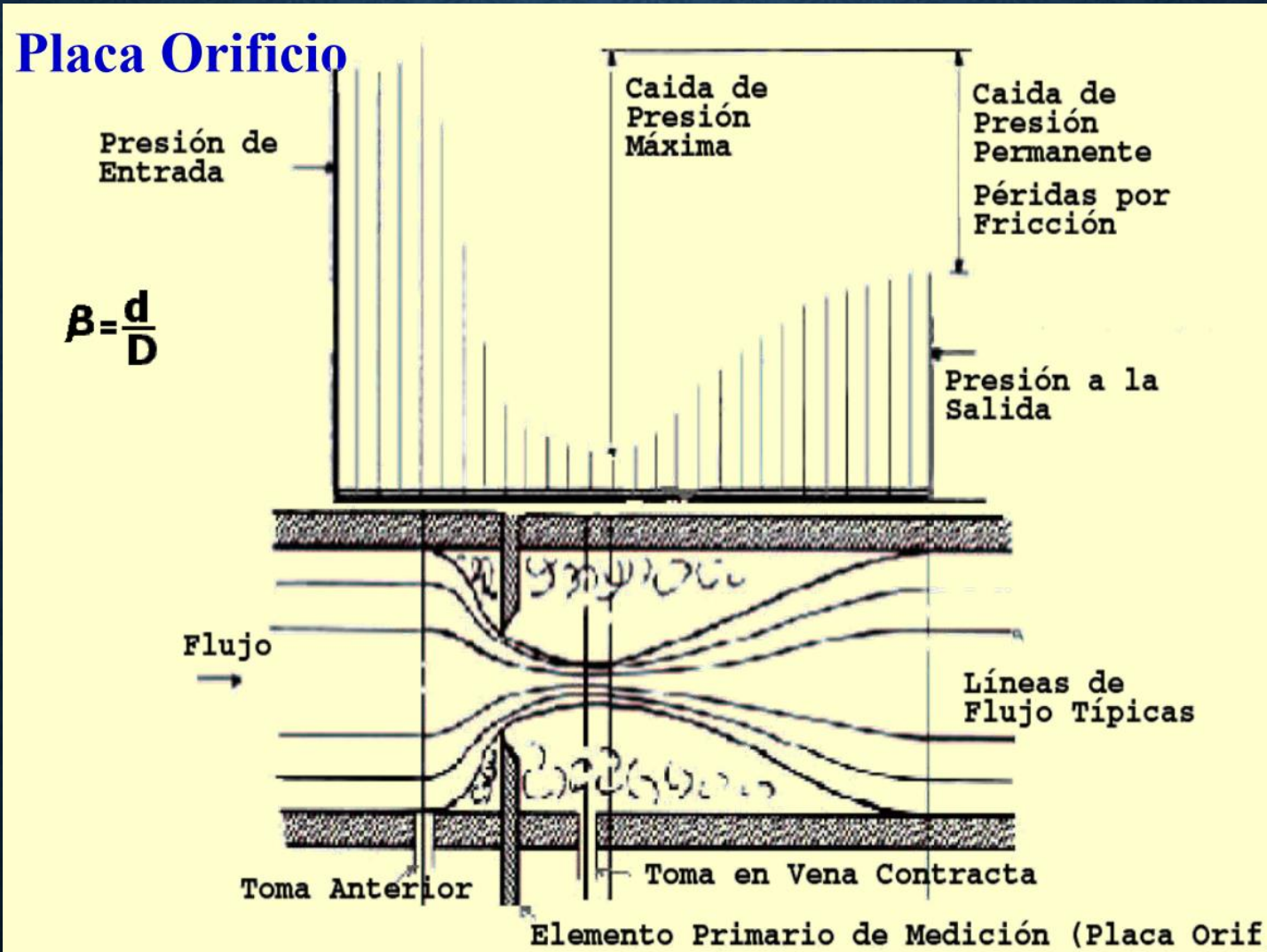
CAUDALIMETROS

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal masico. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es la importante.

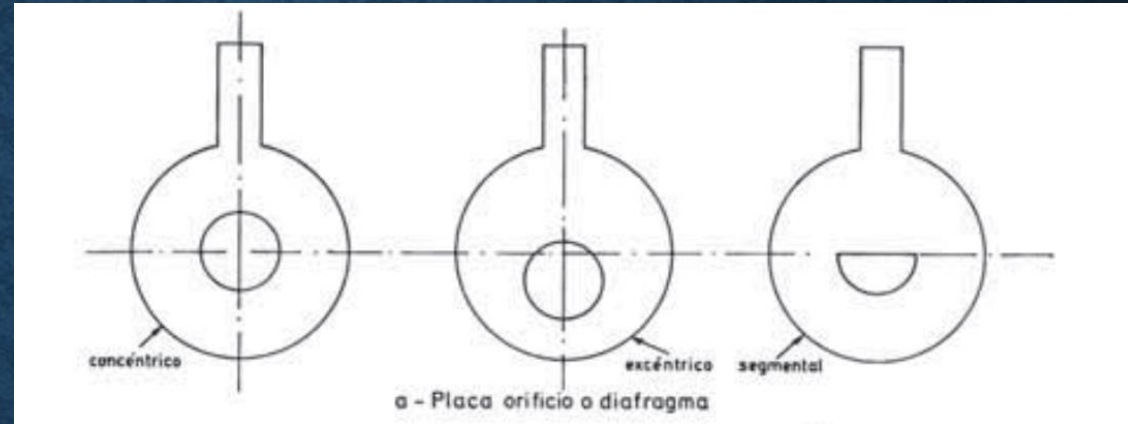
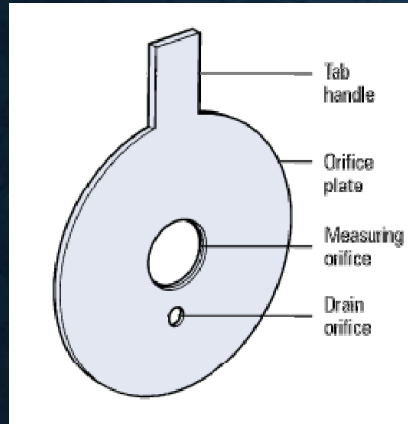
CLASIFICACIÓN DE CAUDALIMETROS



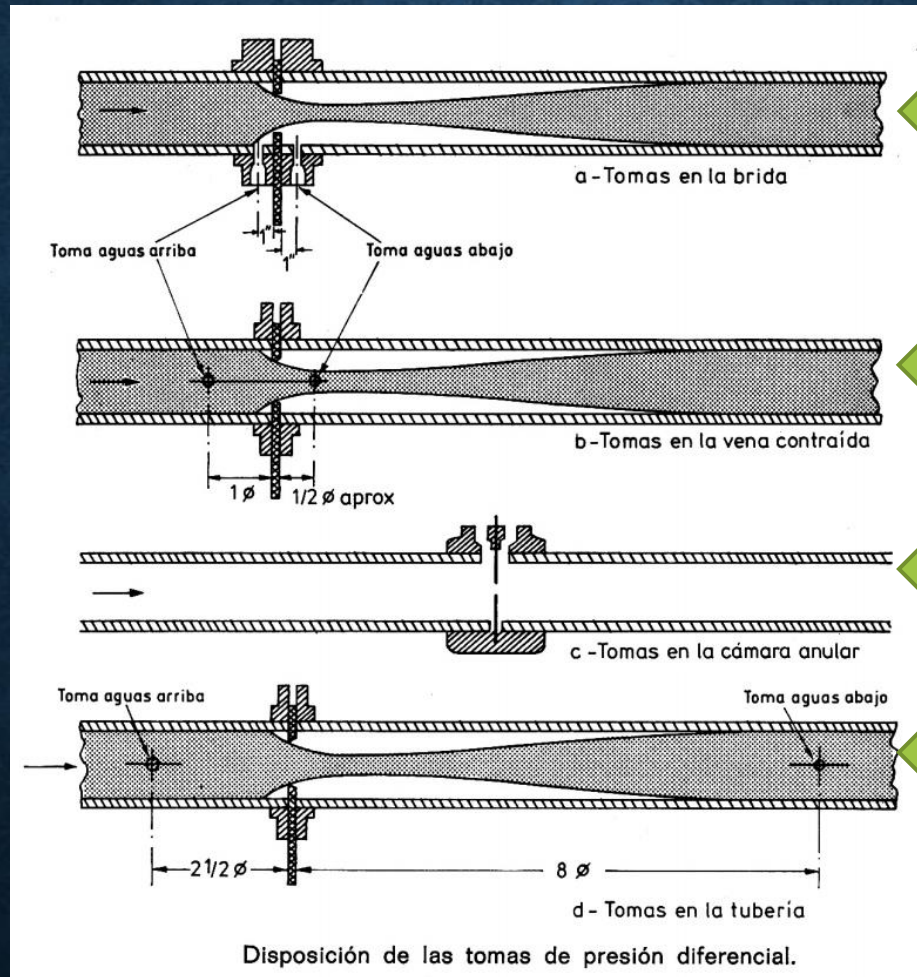
PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA



PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA



PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA



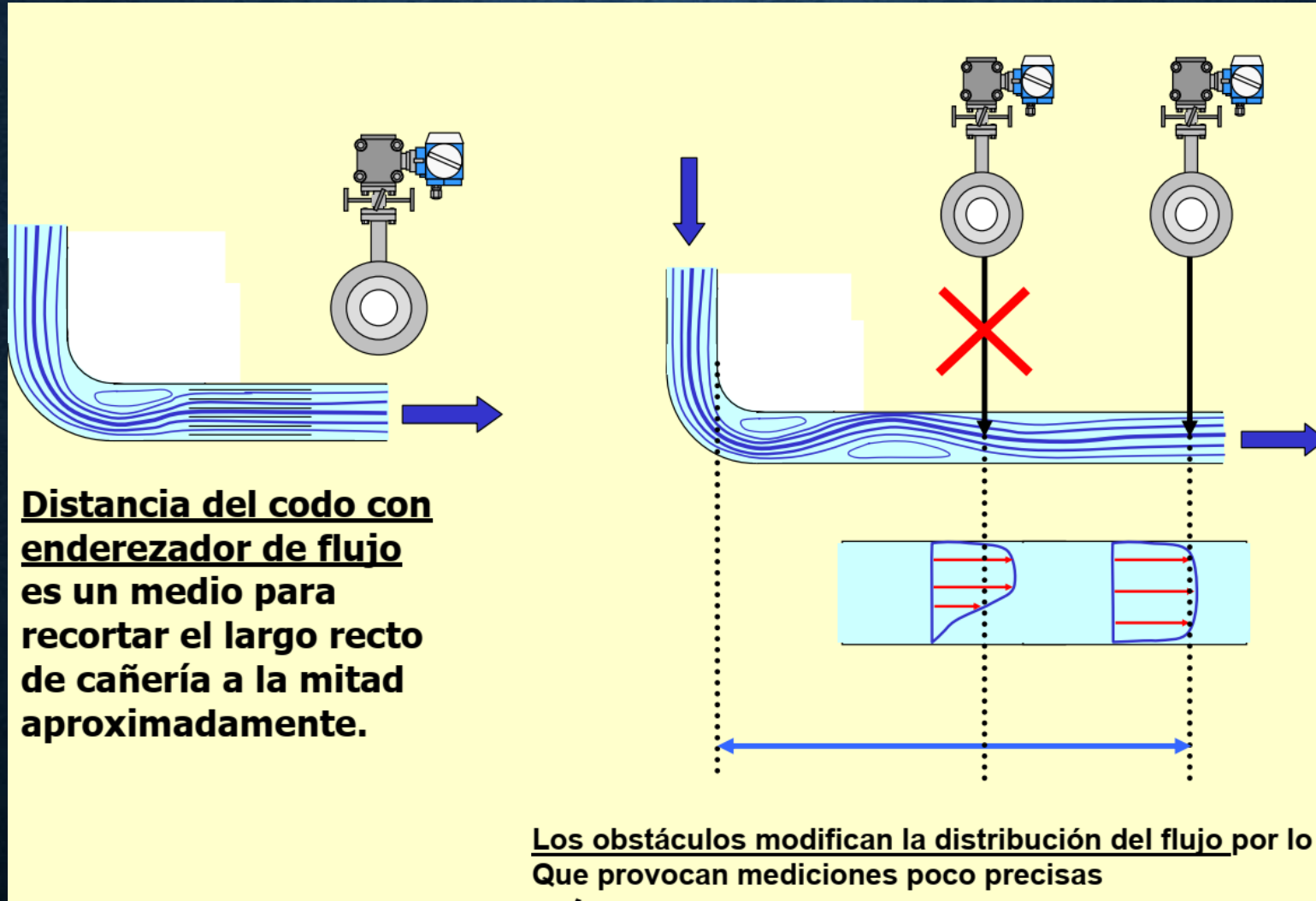
Tomas en la brida
(*flange taps*)

Tomas en la vena
contraída (*vena
contracta taps*)

Tomas en la cámara
anular (*corners taps*)

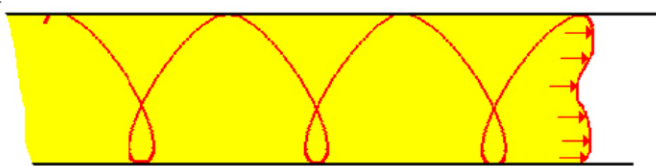
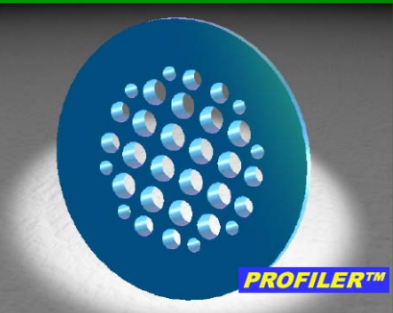
Tomas en la tubería
(*pipe taps*)

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

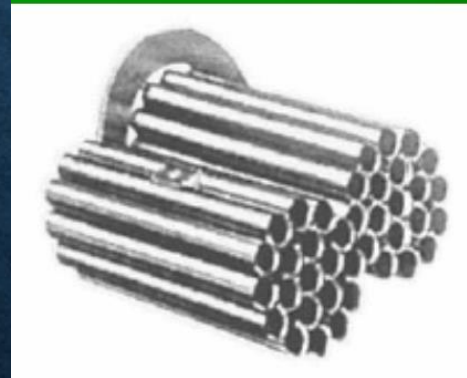
19 tubos concéntricos de igual tamaño

AGA 3 - 2000 no acepta

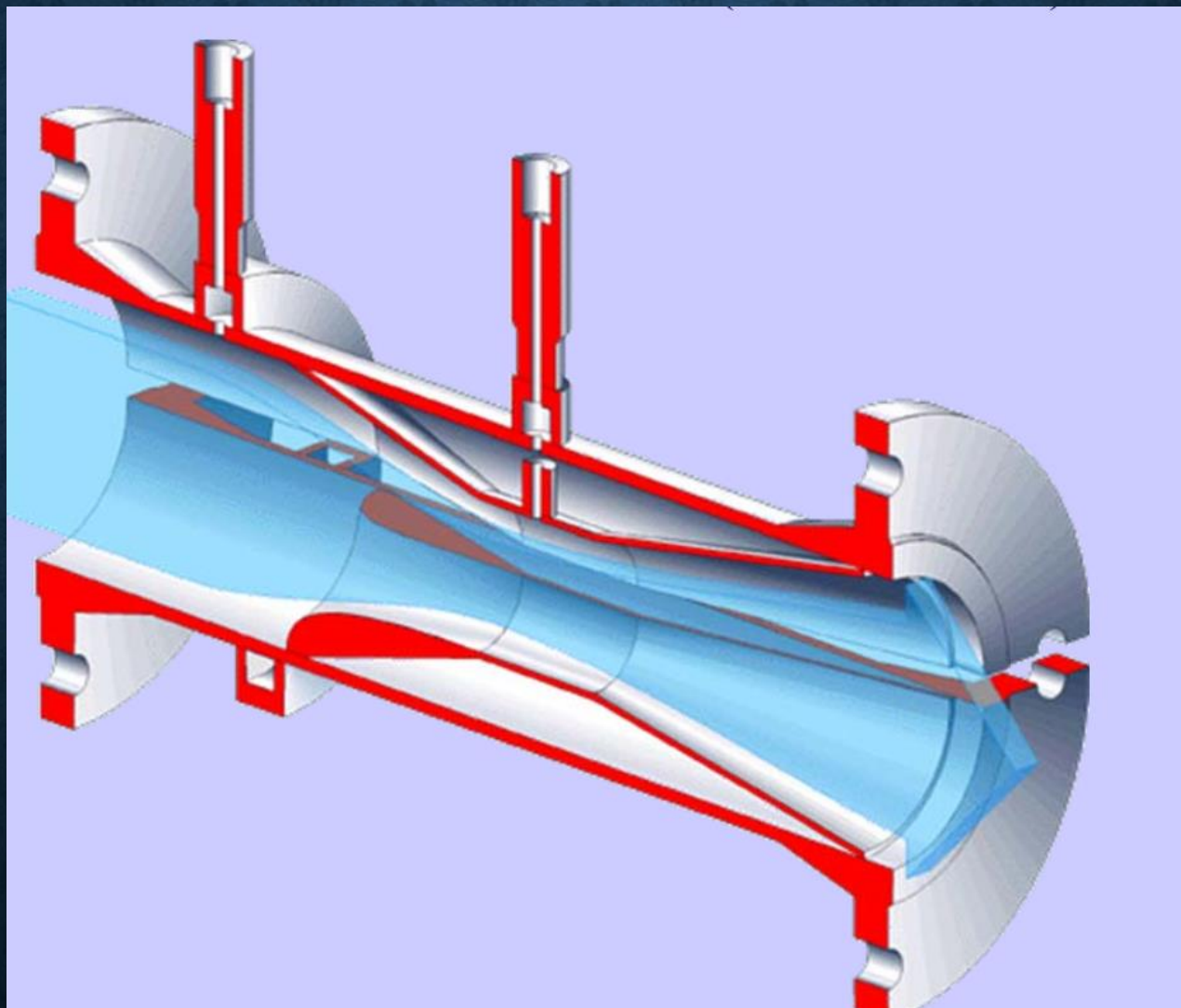
Diseño con bandas laterales de terminación

19 tubos de diseño exagonal

7 tubos concéntricos



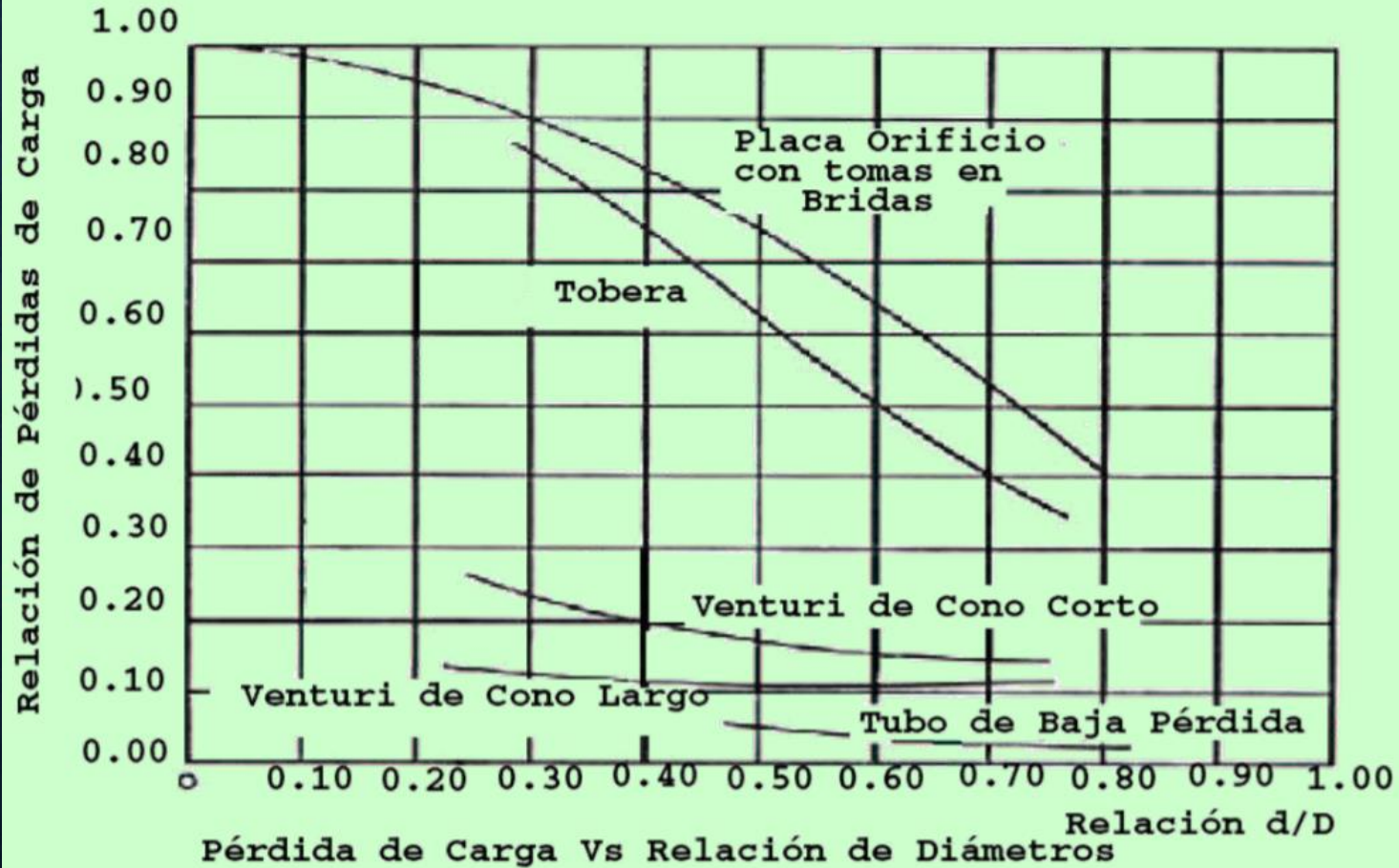
TUBO DE VENTURI



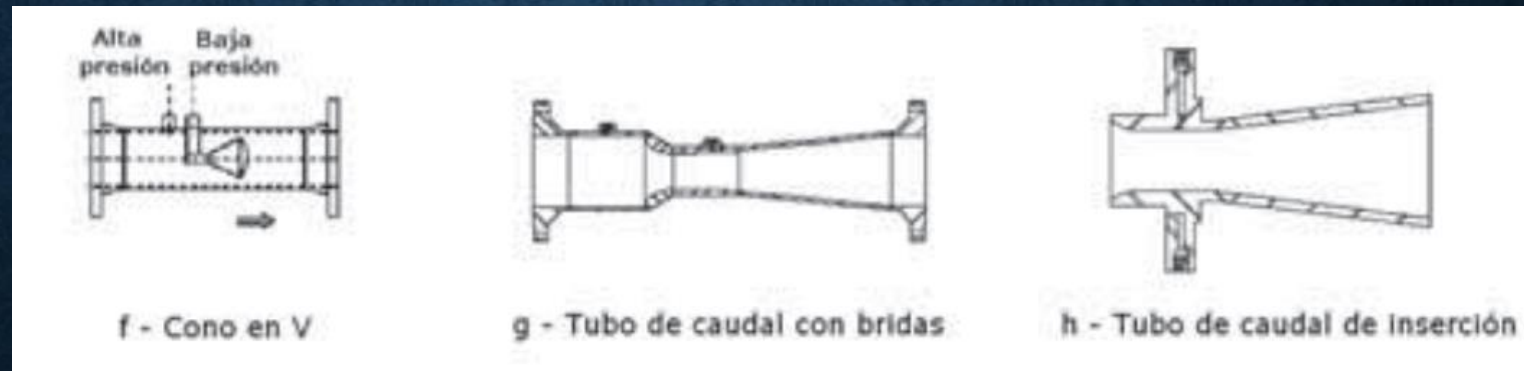
COMPARACIÓN

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

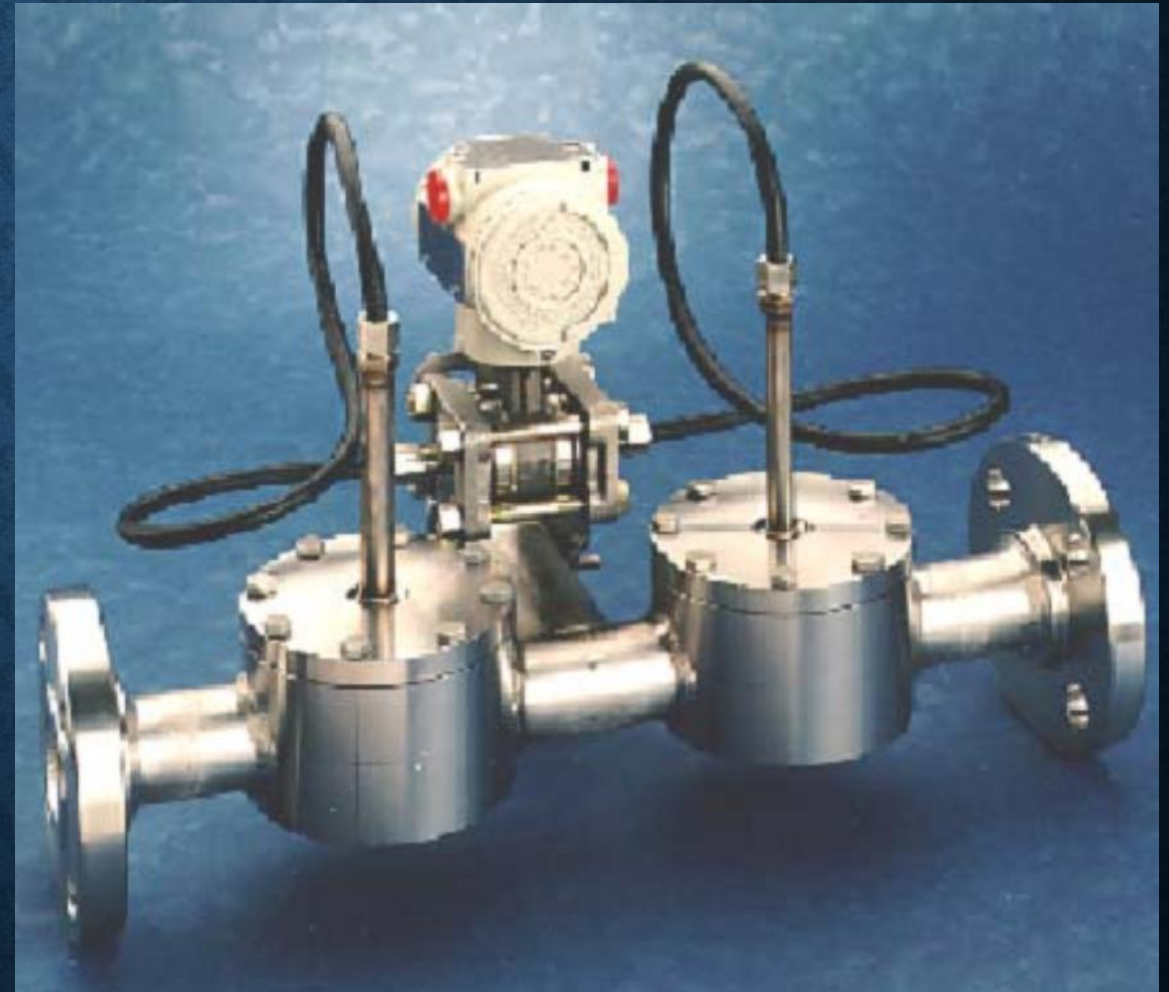
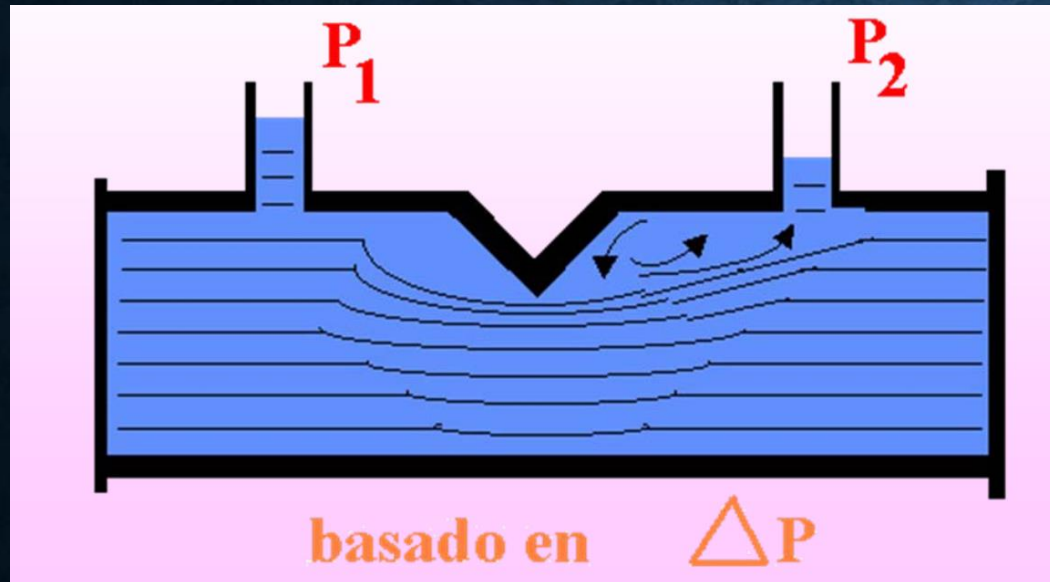
Detalles y Características de los Elementos Primarios



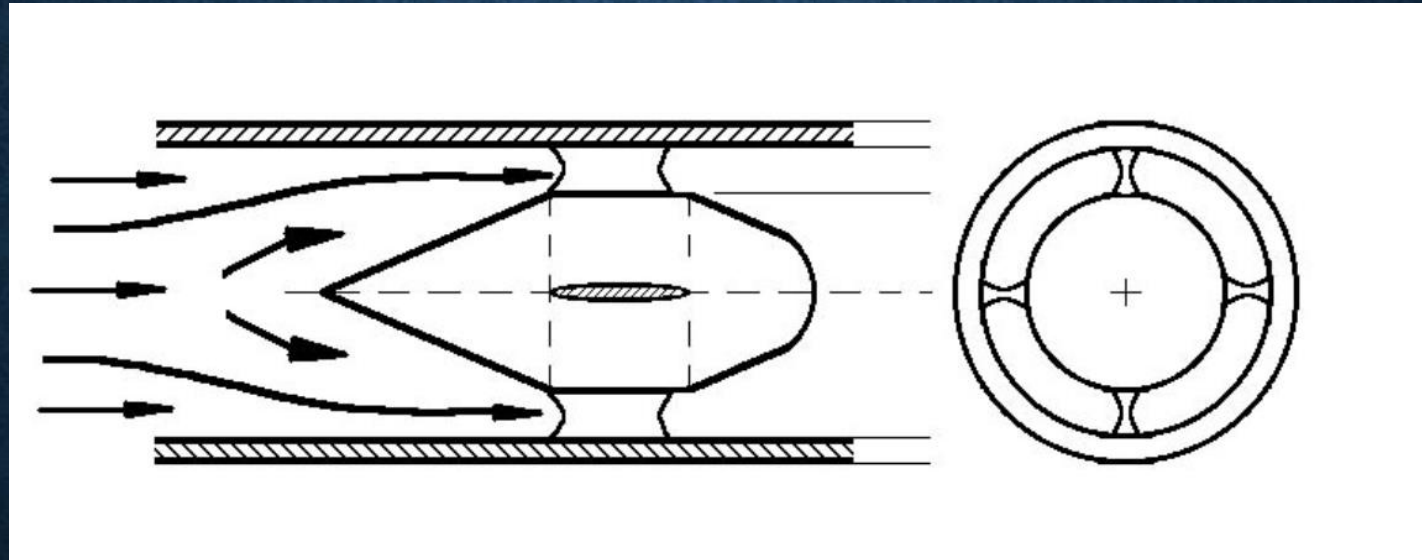
OTROS MEDIDORES VOLUMÉTRICOS



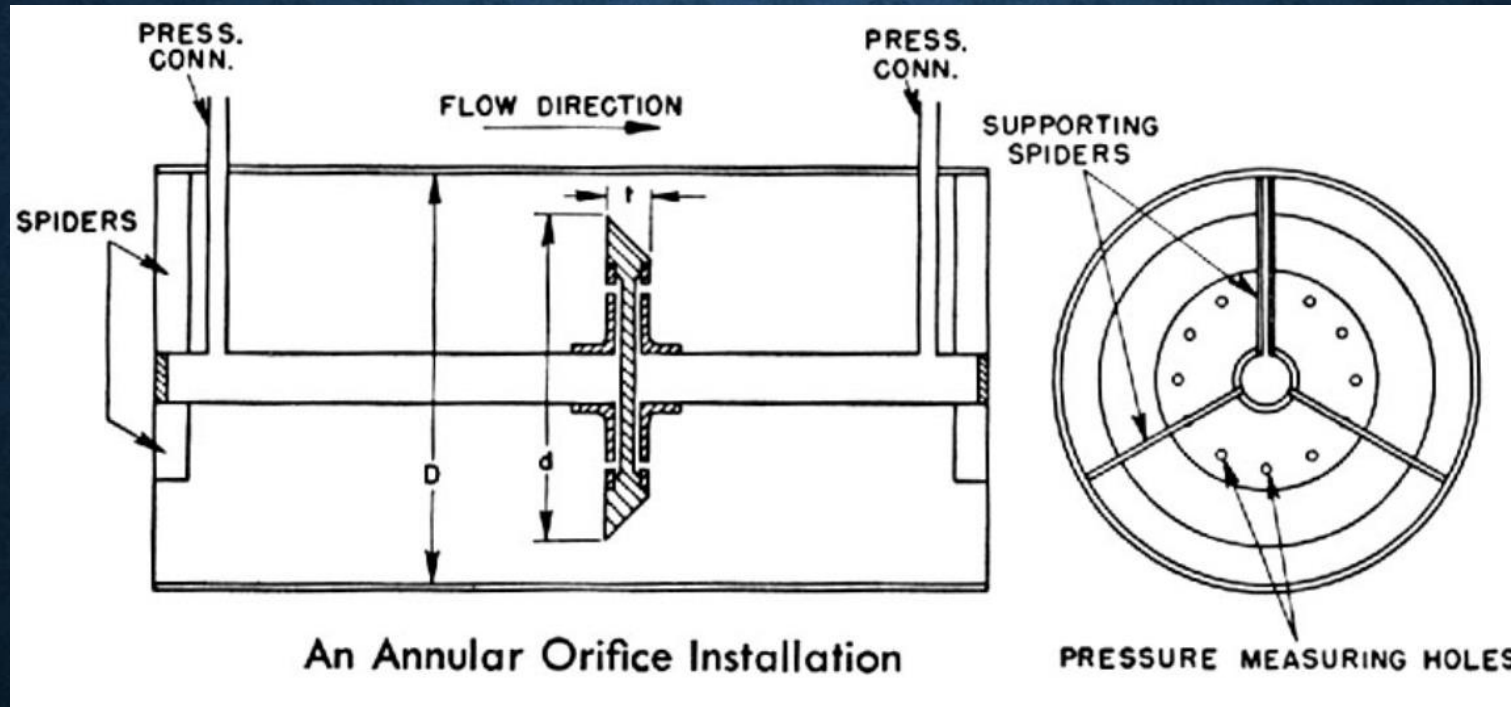
TUBO EN CUÑA



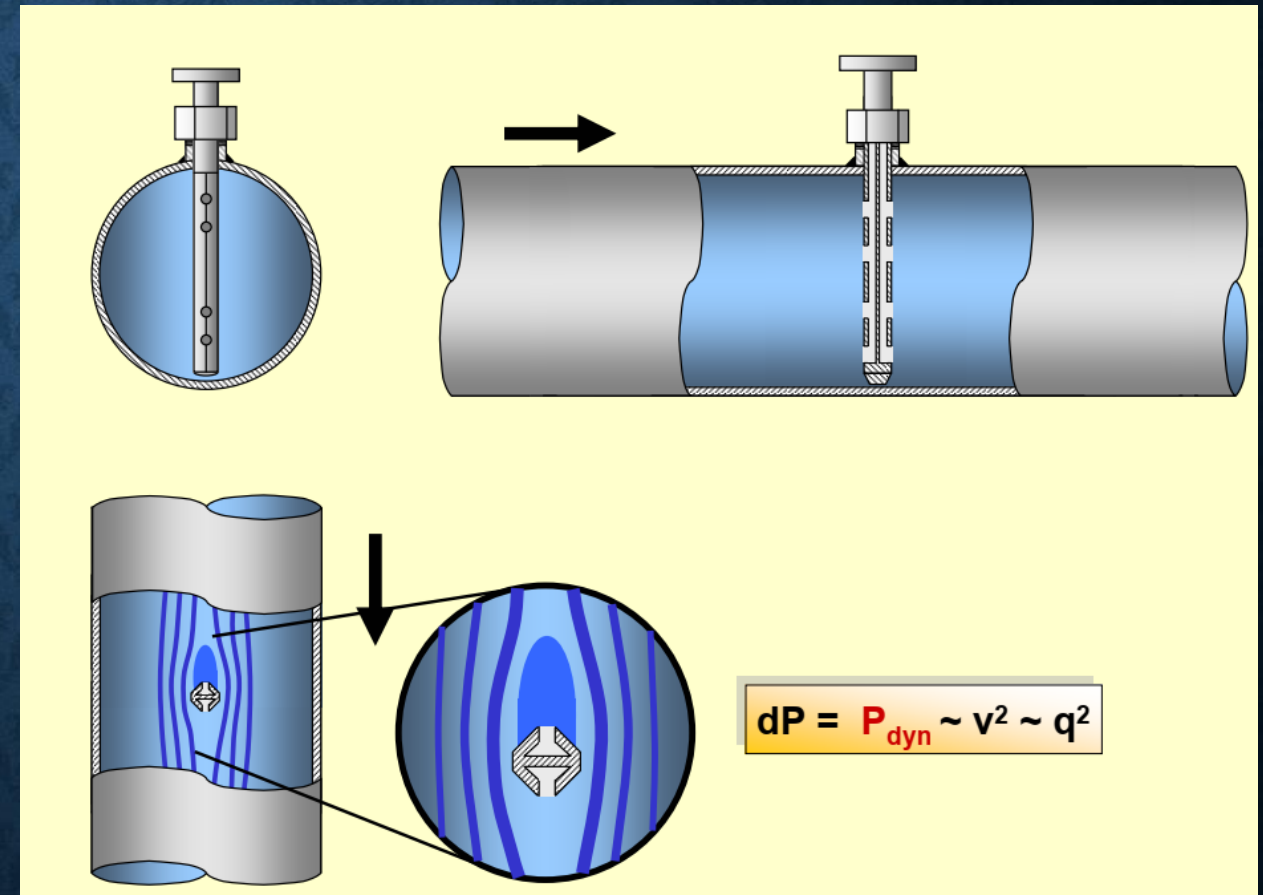
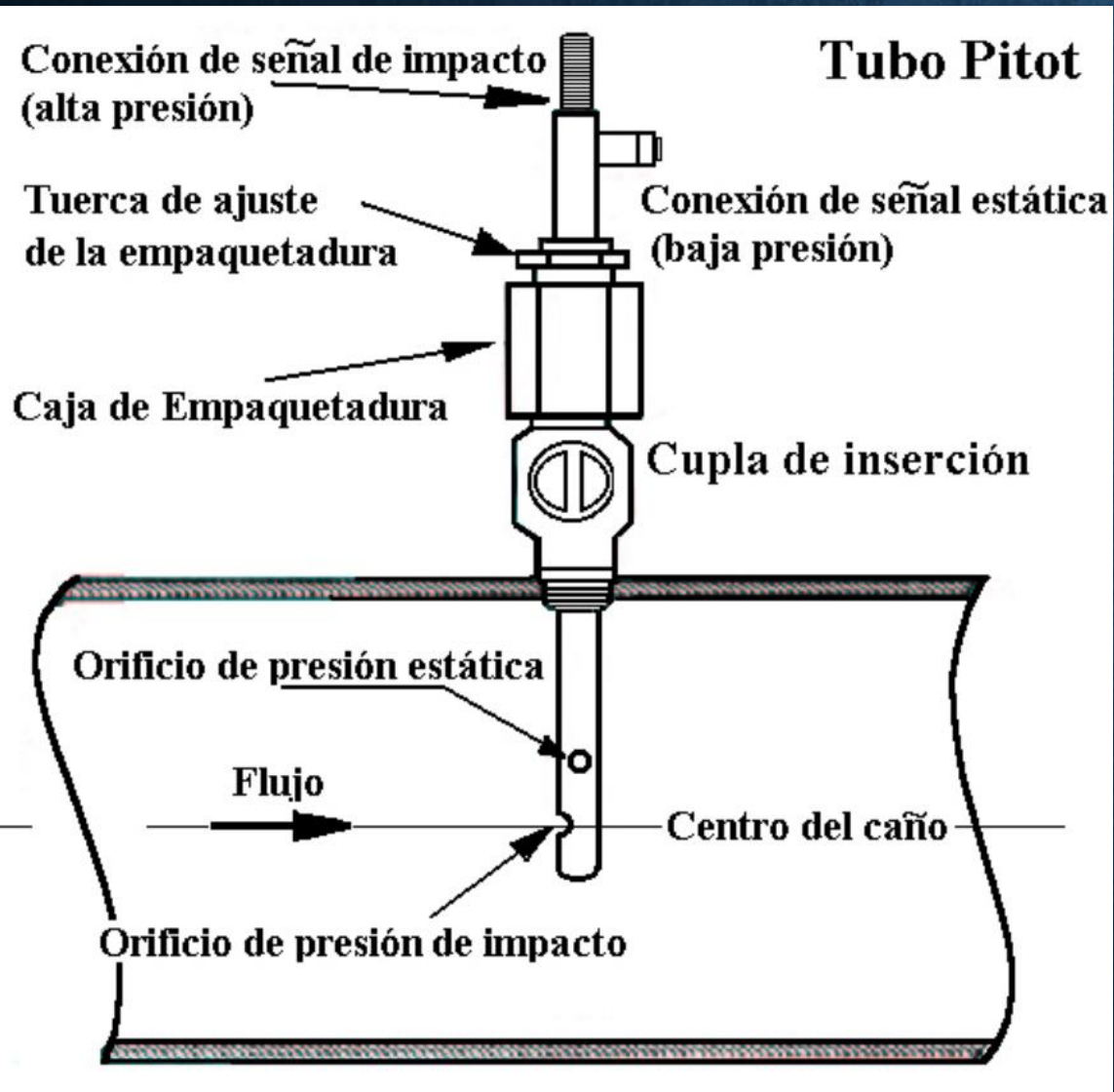
CONO EN V



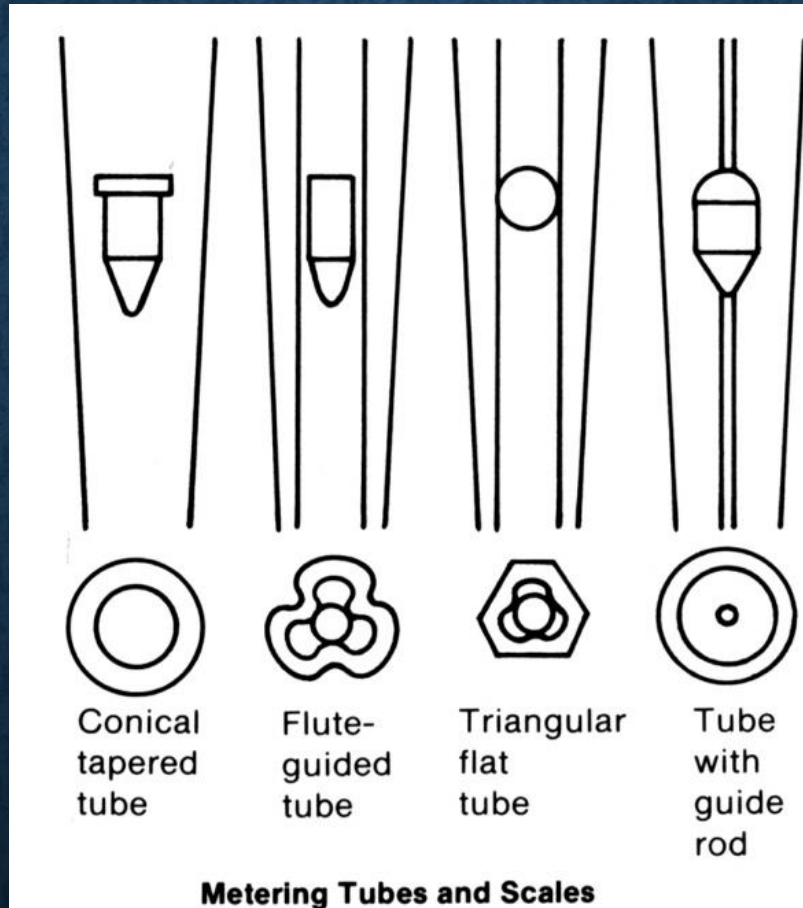
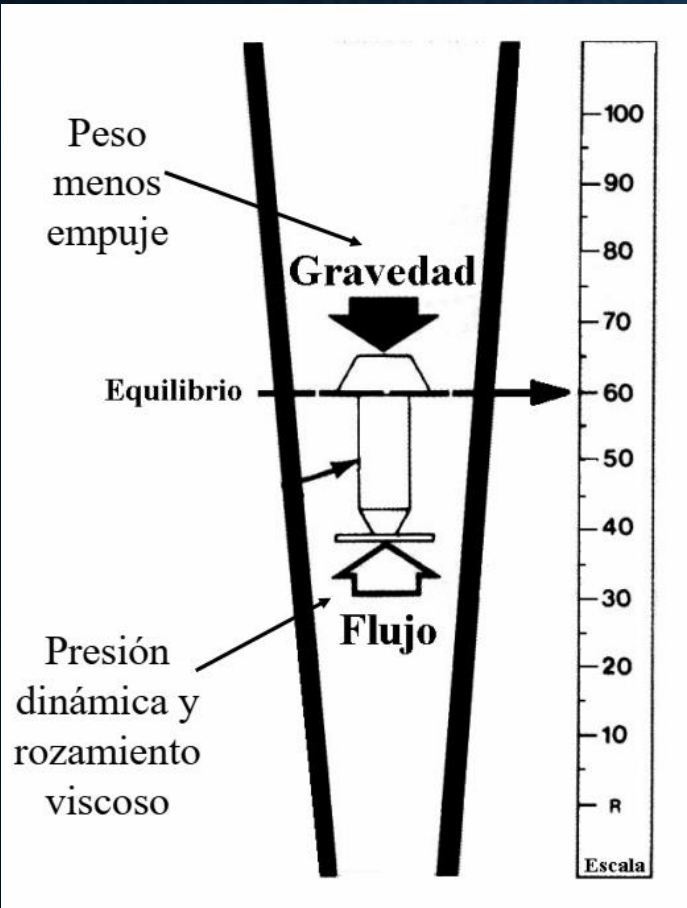
ANULAR



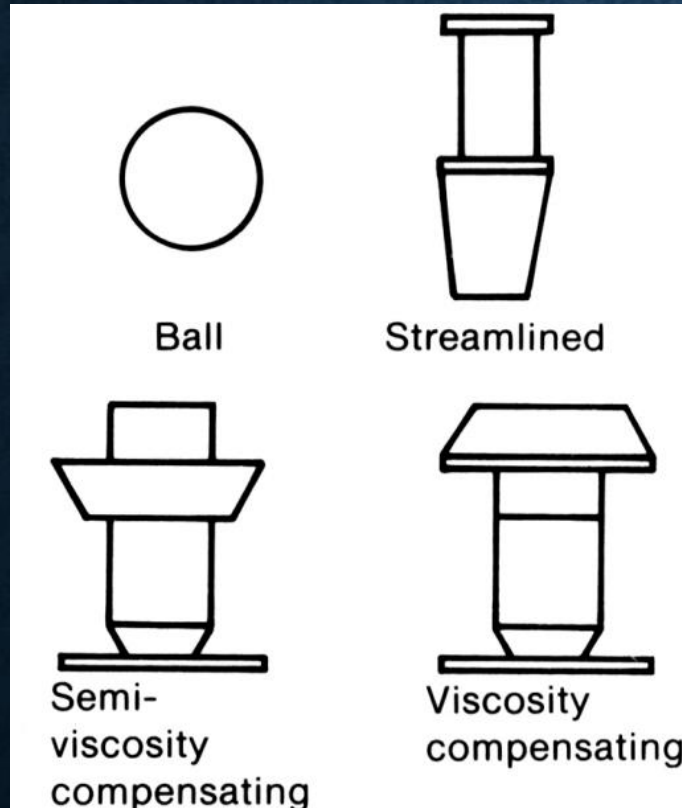
TUBO DE PITOT



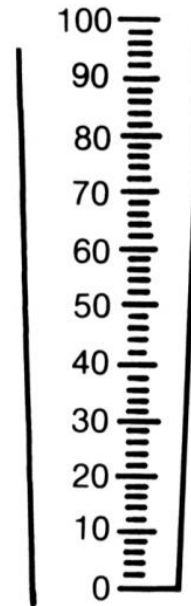
ROTÁMETRO



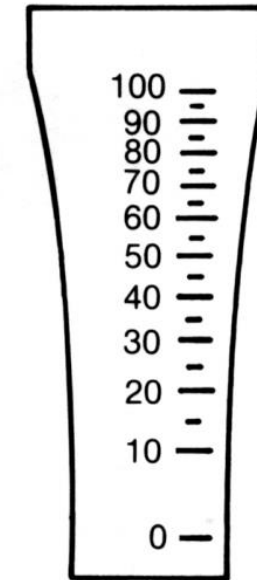
ROTÁMETRO



Variable Area Flowmeters

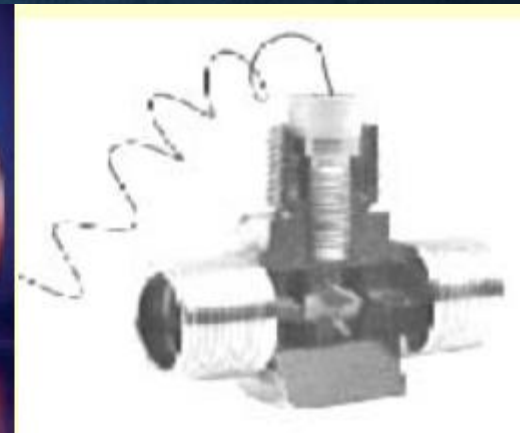
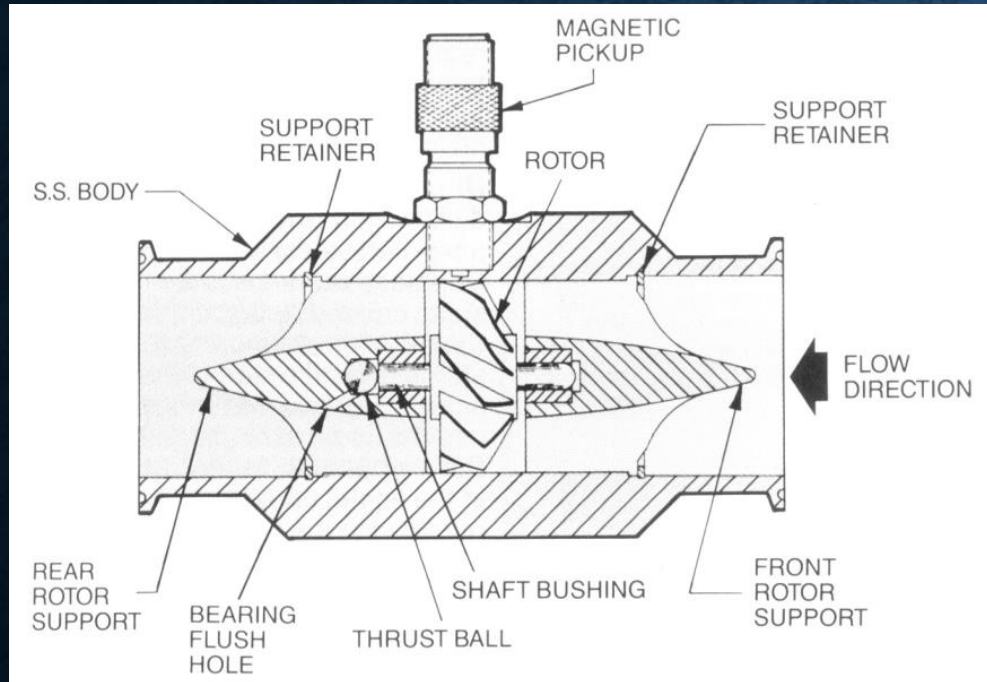


Linear rotameter scale



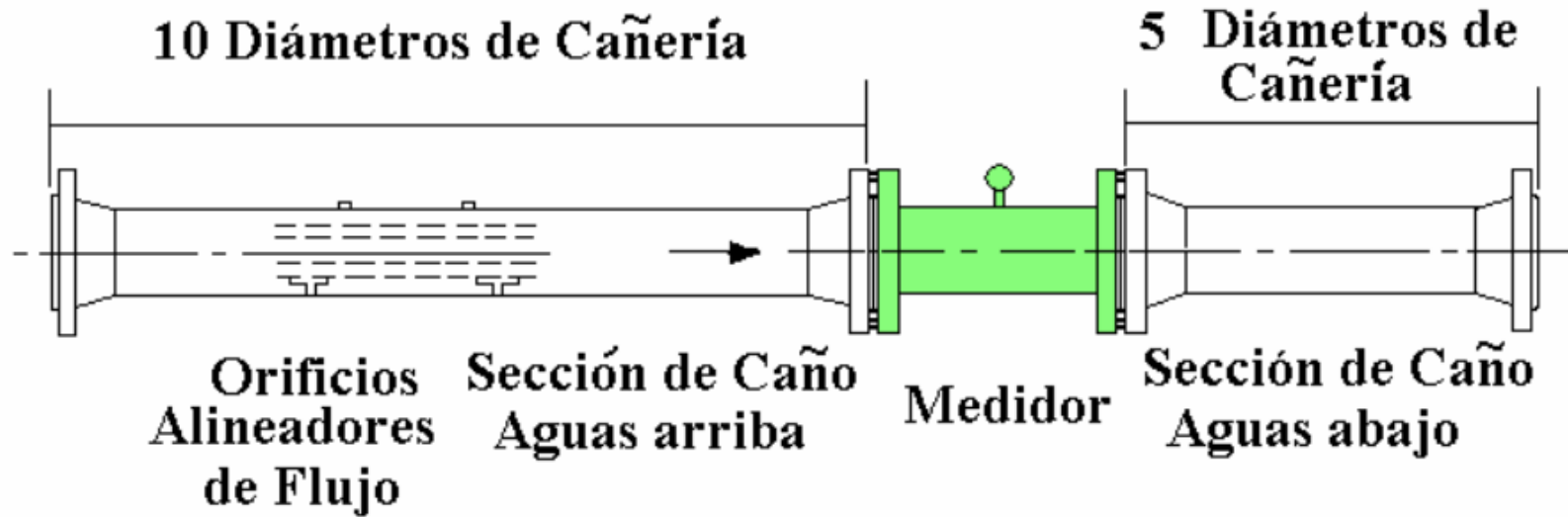
Logarithmic rotameter scale

MEDIDOR DE TURBINAS

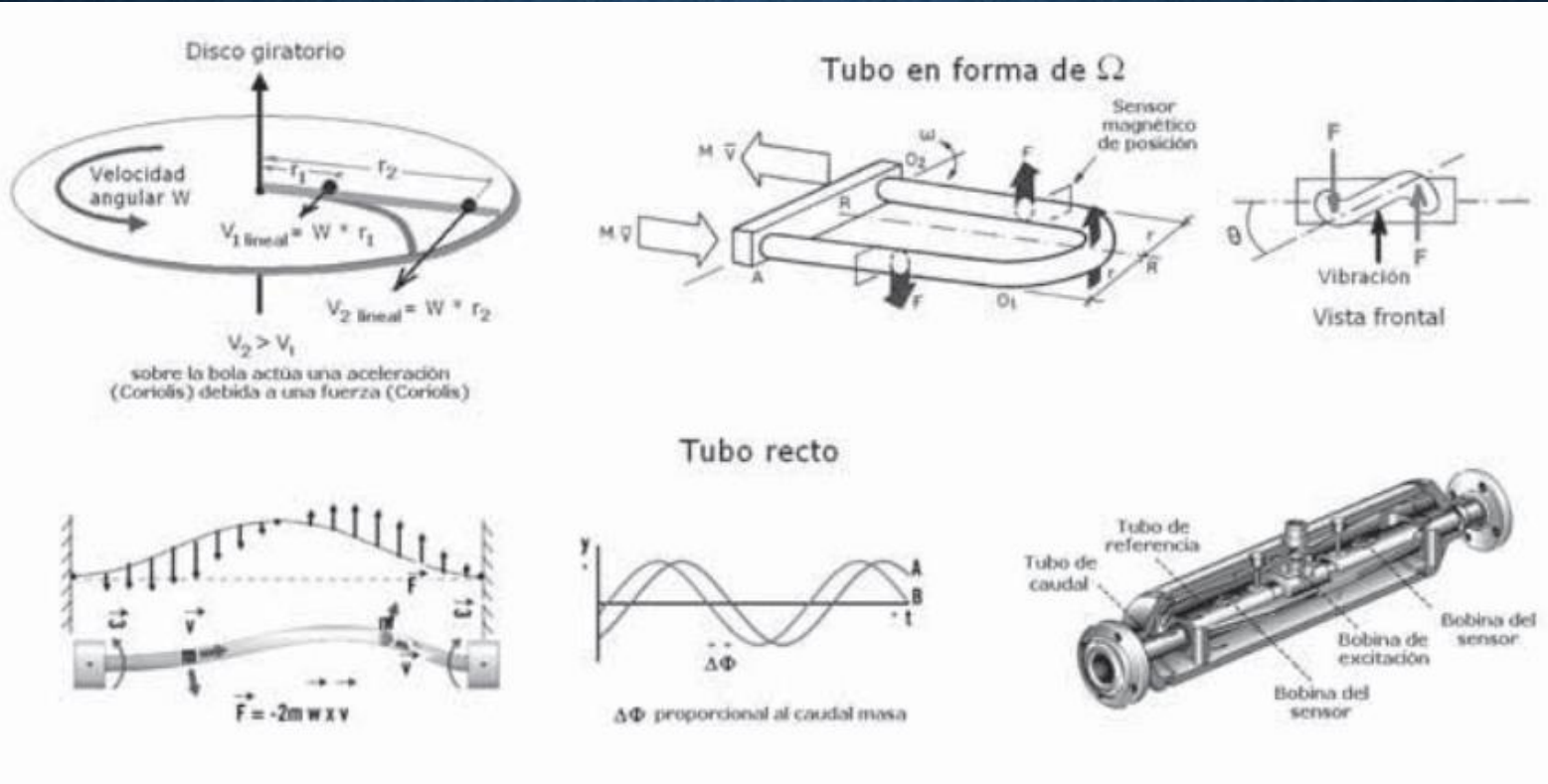


MEDIDOR DE TURBINAS

Recomendaciones de Acondicionamiento de Flujo API



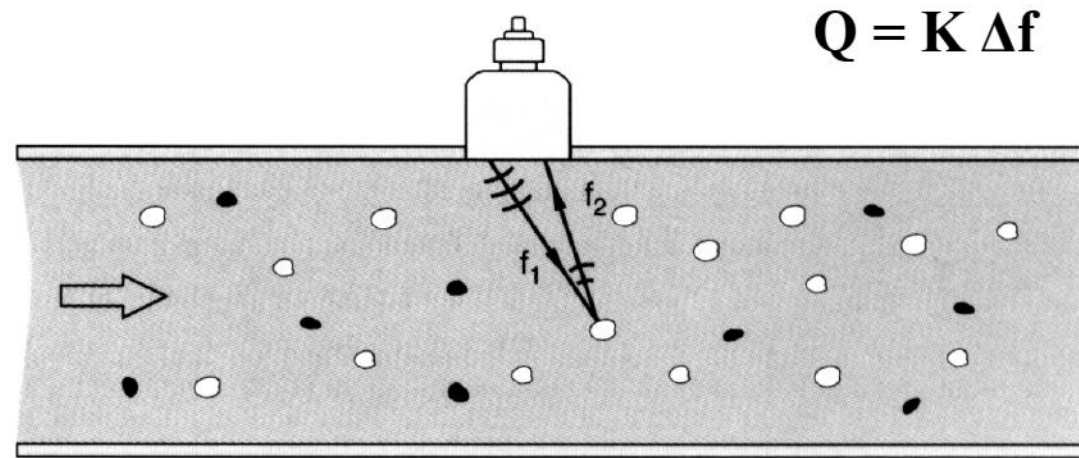
MEDIDOR DE CORIOLIS



MEDIDOR DE ULTRASONIDO

Ultrasonido Doppler

El fluido lleva partículas o burbujas que reflejan la señal

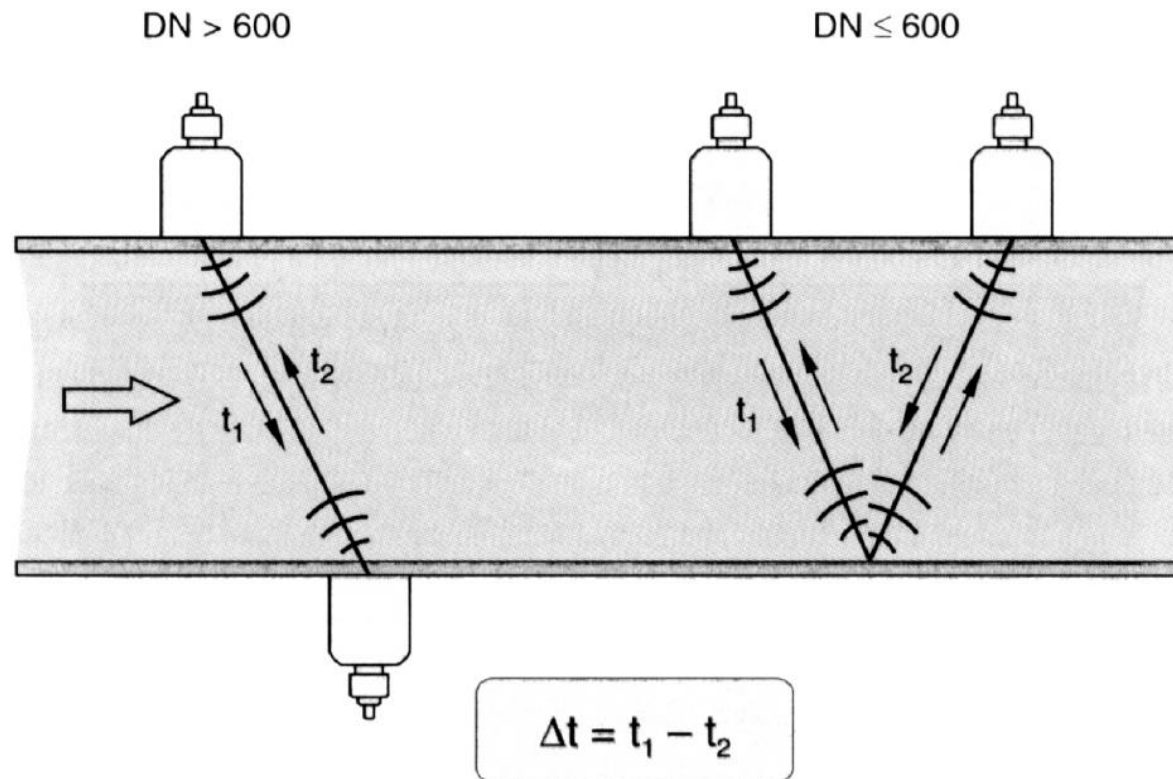


$$\Delta f = f_1 - f_2$$

Ultrasonic flow measurement using the Doppler effect. The frequencies of emitted (f_1) and reflected ultrasound waves (f_2) vary depending on the flow velocity of the transported particles/bubbles.

MEDIDOR DE ULTRASONIDO

Ultrasonido tiempo de vuelo



Ultrasonic flow measurement using the transit time difference. The speed at which sound waves propagate varies depending on the fluid velocity and its direction.

MEDIDOR TÉRMICO DE CAUDAL

Desventajas

Alta dependencia del perfil de velocidades (5 juegos)

Exactitud media a baja por su dependencia de las propiedades acusticas del fluido.

Los depósitos en caños o sensores (sarro etc) afectan la medición.

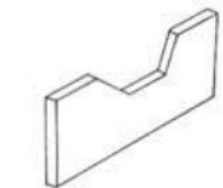
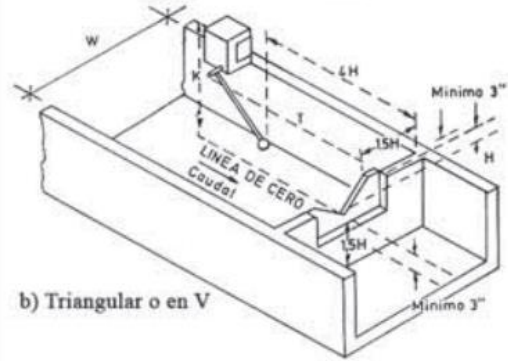
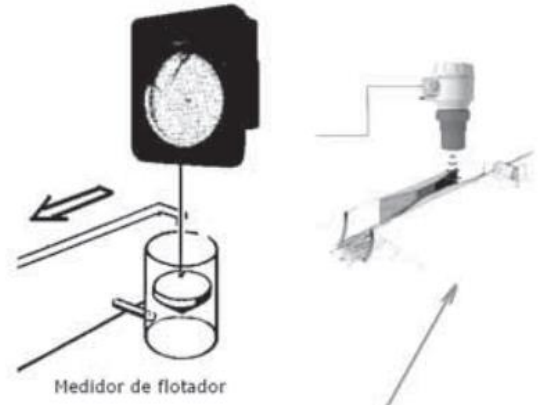
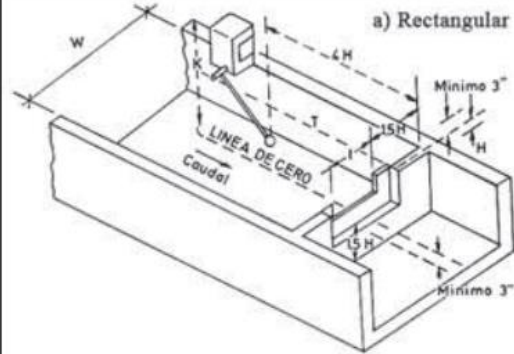
Doppler solo puede usarse para monitoreo.

Las temperaturas no pueden ser extremas

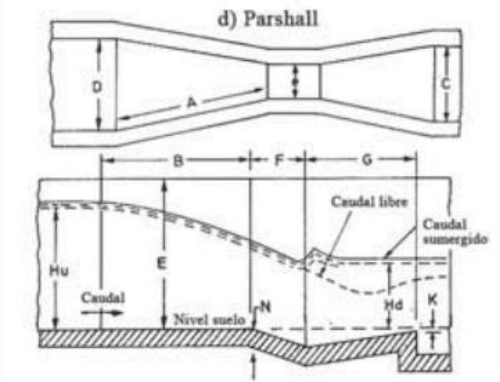
Si hay contaminación del fluido cambian las propiedades acusticas y hay errores.

Si se desacomoda el perfil usual de velocidades tiende a disminuir la exactitud.

VERTEDEROS



c) Cipolletti o trapezoidal



El Sr. Parshall tomando medidas (1946)



COMPARACIÓN

