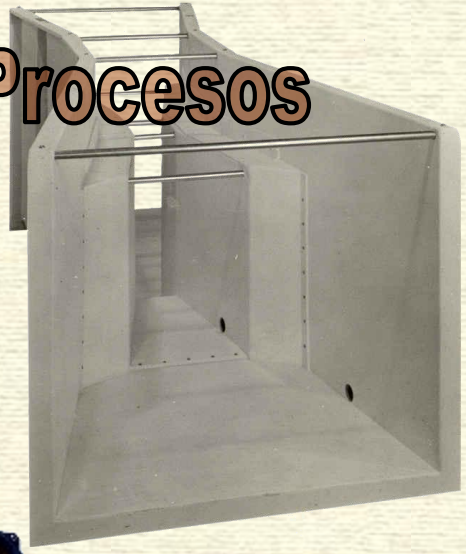
Instrumentación Industrial de Procesos



TEMA 5
ELEMENTOS DE CAUDAL

2DA. PARTE

Departamento de Ingeniería de Procesos
y Gestión Industrial

TEMA 5:
MEDICIÓN DE CAUDAL DE FLUIDOS

La variable caudal, tipos. Perfil de velocidades, factores que determinan el régimen de flujo, fluidos no newtonianos, distorsiones. Características especiales de caudalímetros: amplitud de rangos, totalización. Elementos diferenciales convencionales, de geometría fija y de flujo crítico. Medidores de área variable y de desplazamiento positivo. Caudalímetros a turbina, oscilatorios, electromagnéticos y ultrasónicos. Medición de caudal másico: directos, inferenciales, térmicos y con corrección por densidad. Caudalímetros para canales abiertos. Selección de caudalímetros: especificación y procedimiento.

TIPOS DE CAUDALÍMETROS (Norma BS-7405)

- Convencionales de presión diferencial
- Otros tipos de presión diferencial
- De desplazamiento positivo
- Rotatorios
- De Área variable
- Oscilatorios para fluidos
- Electromagnéticos
- Ultrasónicos
- Másicos directos e indirectos
- Térmicos
- Otros para fluidos en ductos cerrados
- De canal abierto
- Para sólidos

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

En una segunda categoría de medidores de presión diferencial (según la clasificación de la Norma BS 7405) están aquellos dispositivos que tienen una geometría fija y que por fenómenos hidrodinámicos, distintos al grupo anterior, infieren caudal a partir de la medición de diferencia de presiones.

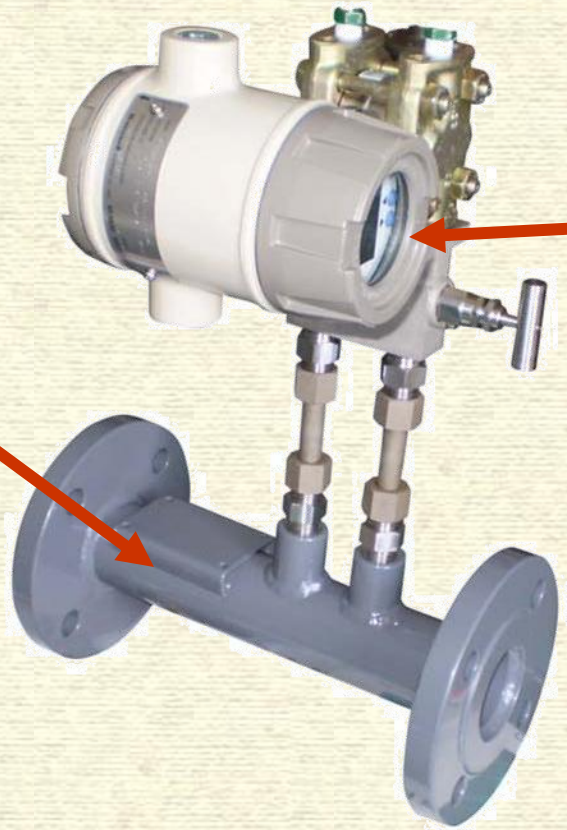
A este grupo pertenecen el Tubo de Pitot, Pitot Promediante, Medidor de Impacto, Cono en "V" y el de codo.

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Igual que los medidores anteriores, estos dispositivos son **elementos primarios** que requieren de un elemento secundario que es un **transmisor de diferencia de presión** que puede generar una señal estándar.

$$Q = K\sqrt{\Delta P}$$

Elemento primario (diferencial)



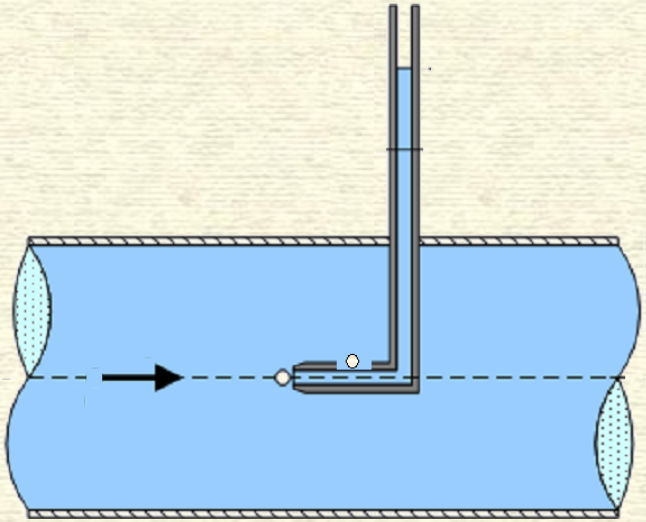
Elemento secundario (Transmisor)

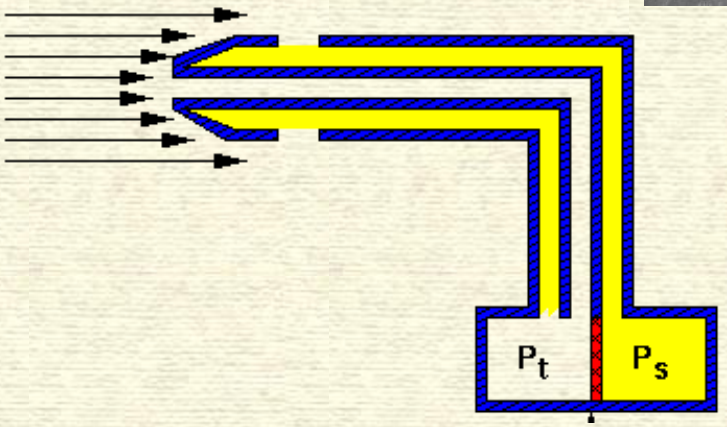
Como la **señal primaria no es lineal** con respecto al caudal, se deberá caracterizar la señal de salida en el transmisor.

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Tubo de Pitot (Tubo de Prandtl)

Es uno de los dispositivos más antiguos para medir caudal (velocidad del fluido). Consiste en un tubo con un orificio enfrentado a la corriente (punto estanco) y otro ubicado en la zona de circulación normal.

Ambas tomas se comunican con recintos separados. La diferencia de presión entre ambos es proporcional al cuadrado de la velocidad en el punto de impacto (estanco).





OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Tubo de Pitot

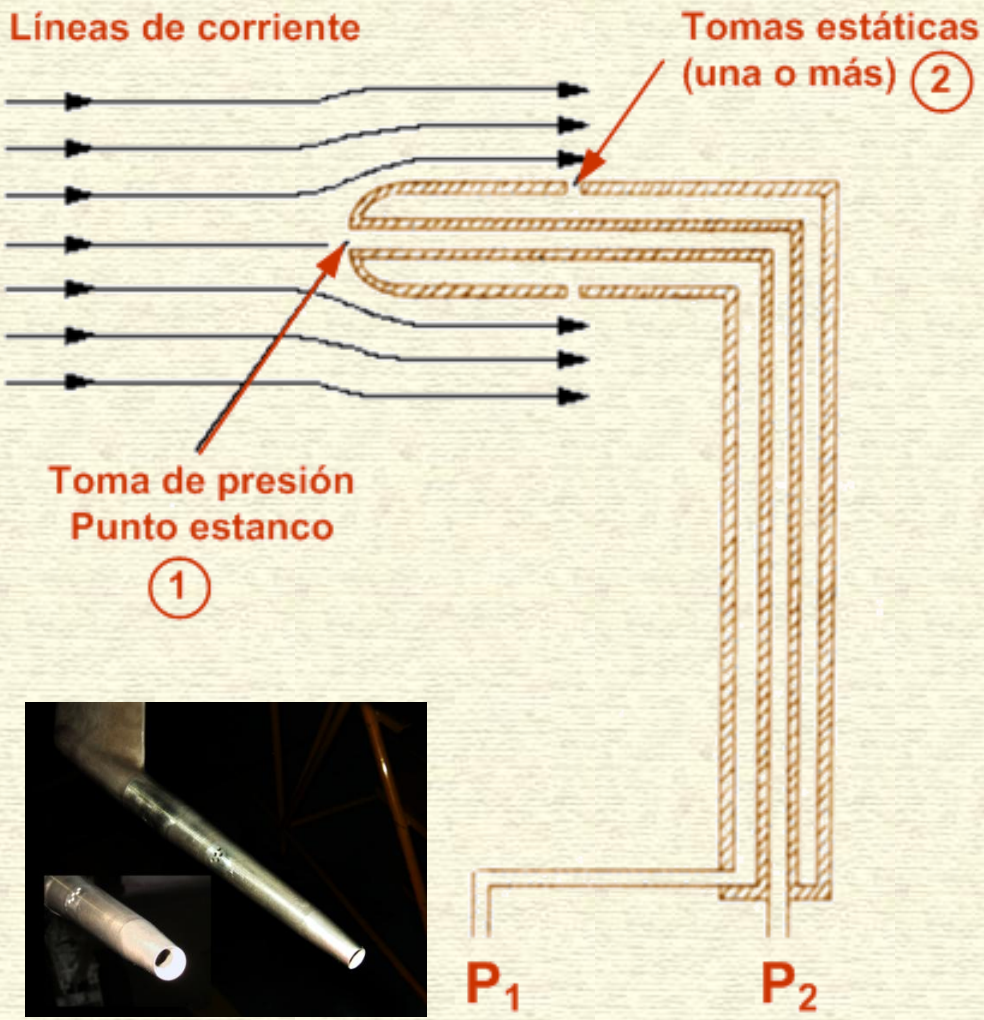
Aplicando el Teorema de Bernoulli en los puntos 1 y 2

$$\frac{1}{2}v_1^{\,2}+\frac{P_1}{\rho_1}=\frac{1}{2}v_2^{\,2}+\frac{P_2}{\rho_2}$$

Velocidad nula (zona estanca)

Con lo que se puede inferir la velocidad (puntal en la toma) a partir de la diferencia de presión:

$$v_2=\sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho}}$$

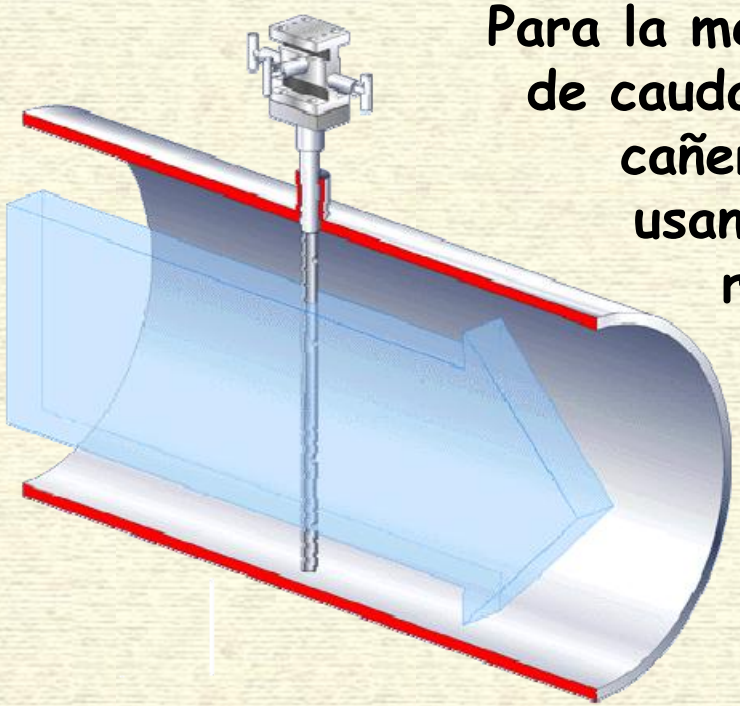


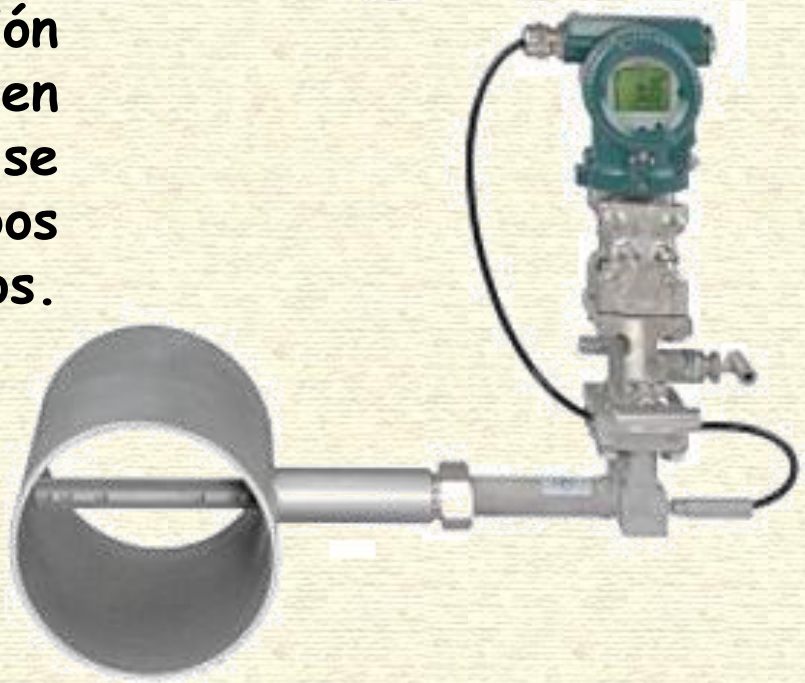
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Tubo de Pitot

La forma tradicional de los Tubos de Pitot se usan mucho en túneles de viento, en anemómetros y para registro de velocidad de aviones.

Para la medición de caudales en cañería, se usan tubos rectos.

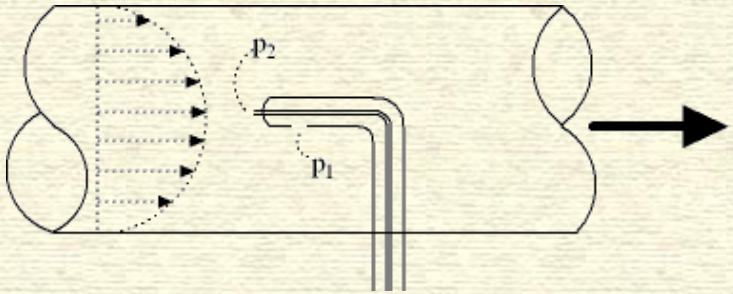


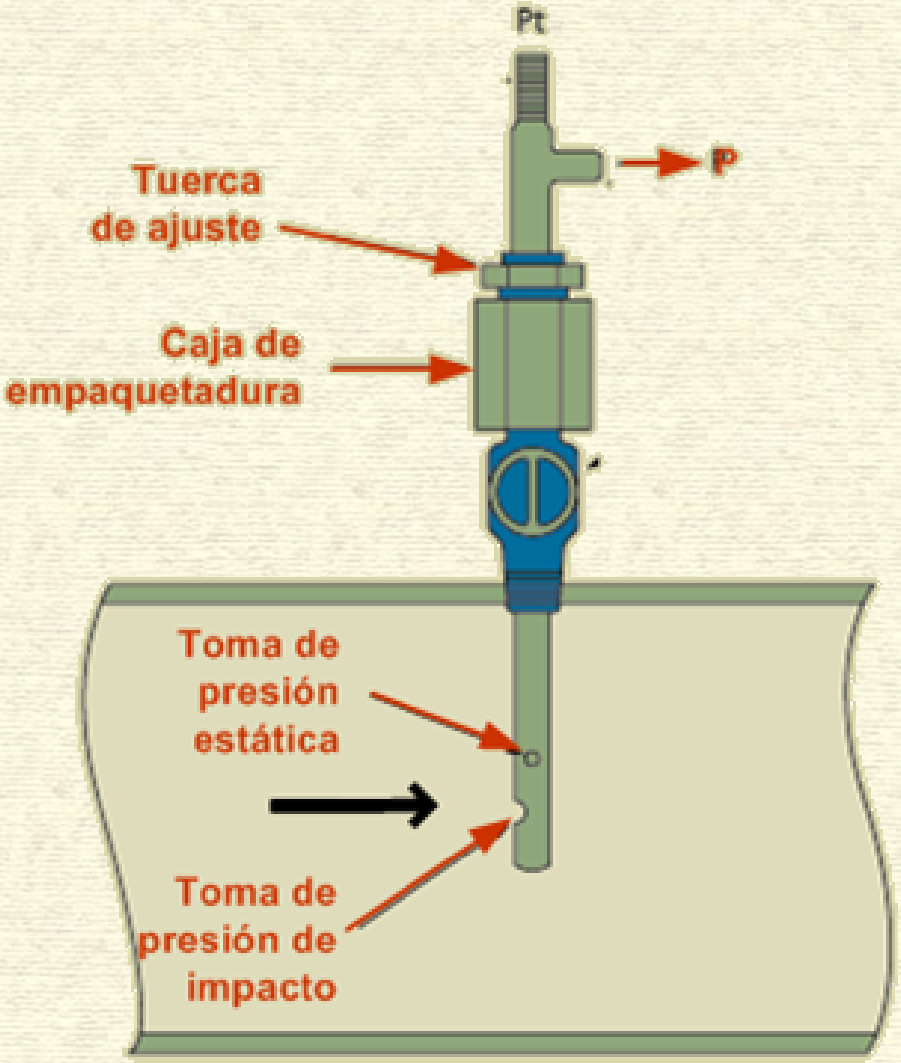


OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Tubo de Pitot

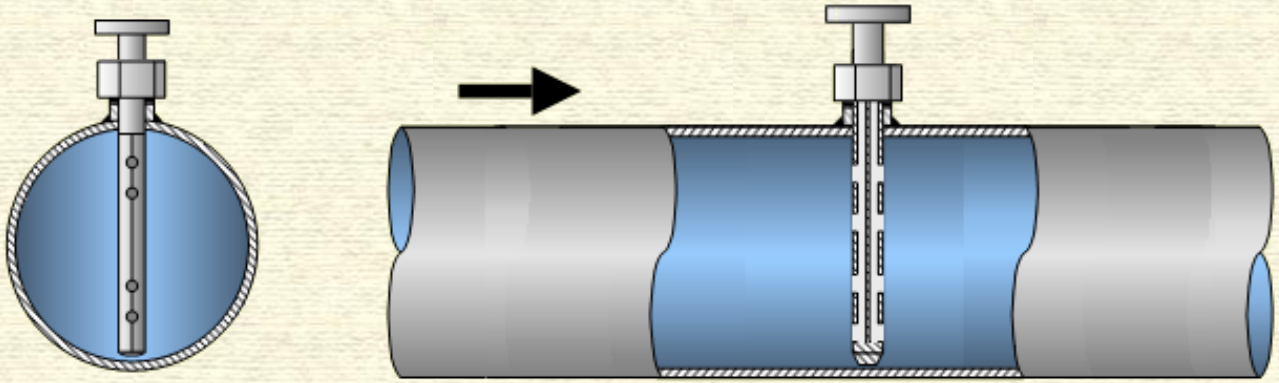
La principal limitación en la medición de caudal radica en que mide la **velocidad en un punto**, que puede no ser representativo de la velocidad media de acuerdo al perfil de velocidades.

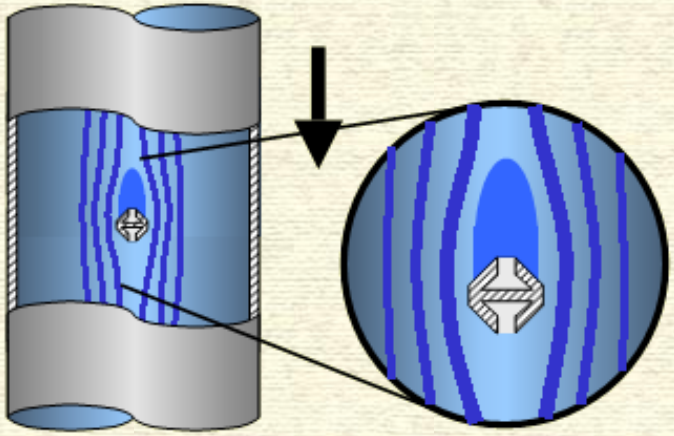




OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Tubo de Pitot Promediante (Annubar)



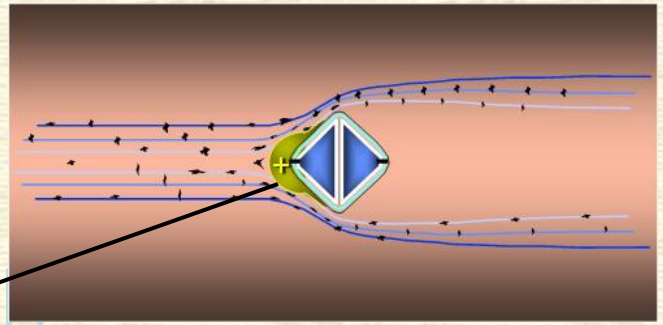


Para subsanar el problema de la medición puntal de velocidad, se crearon Tubos de Pitot con más de una toma de presión de impacto y conectadas a una misma cámara.

Así se logra una presión ponderada, más representativa de la velocidad media del fluido. Este dispositivo se conoce como **Tubo de Pitot Promediante**.

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Tubo de Pitot Promediante



Presión de Impacto

40%

Señal de alta presión

Presión estática en el caño

60%

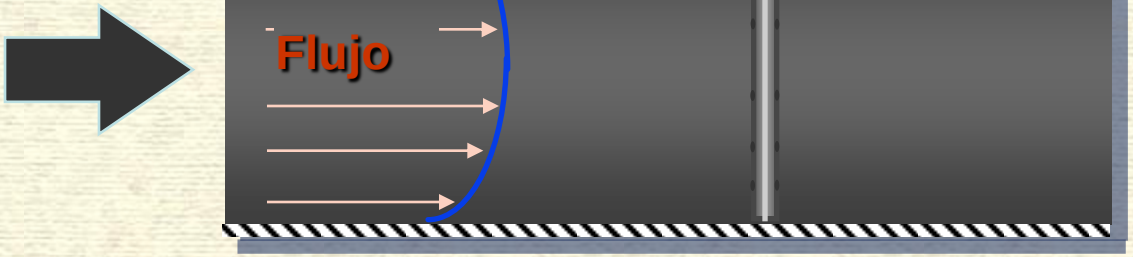
Presión de bloqueo y succión

ΔP

Señal de baja presión

HIGH

LOW

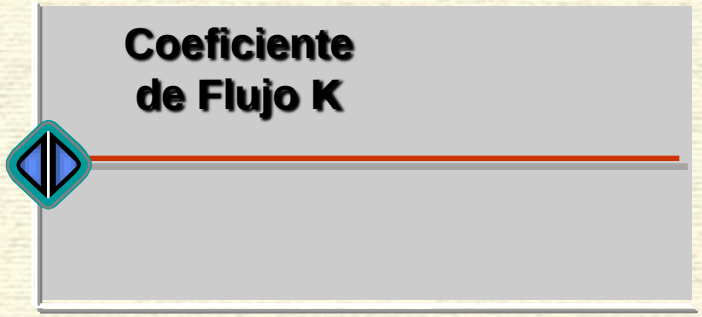


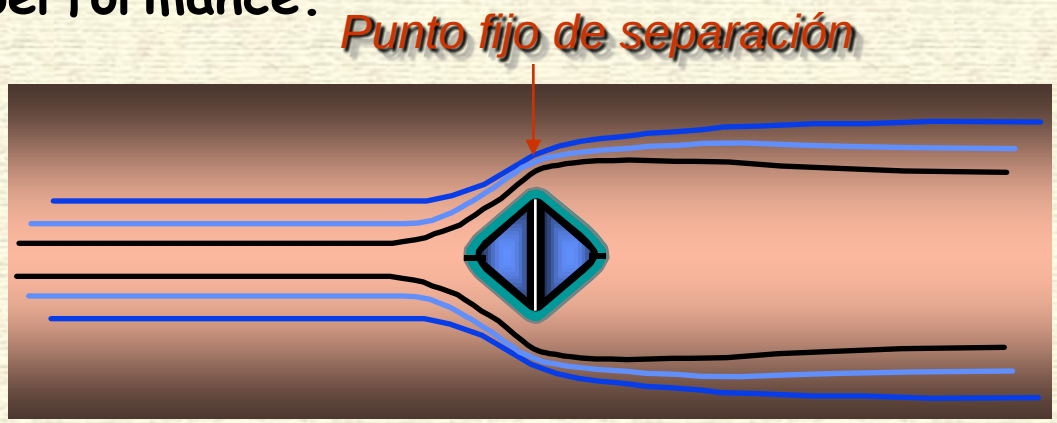
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

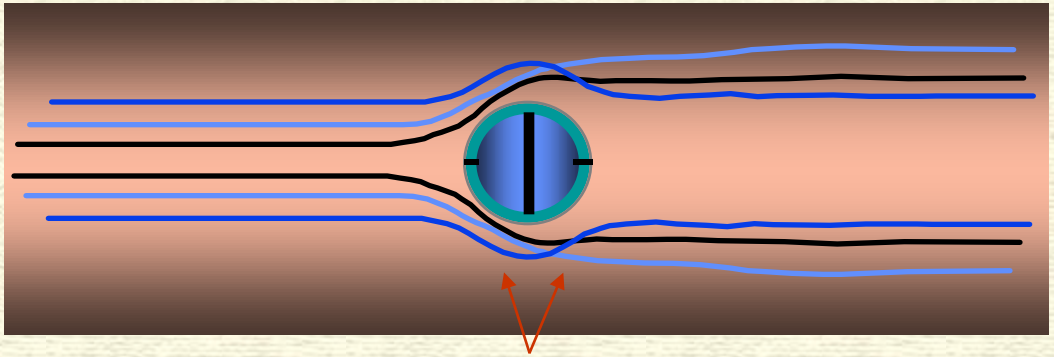
Tubo de Pitot Promediante (Annubar)

Los tubos se construyen con sección **circular** o en forma de **diamante**. Estos últimos con mucha mejor performance.

$$Q = K\sqrt{\Delta P}$$

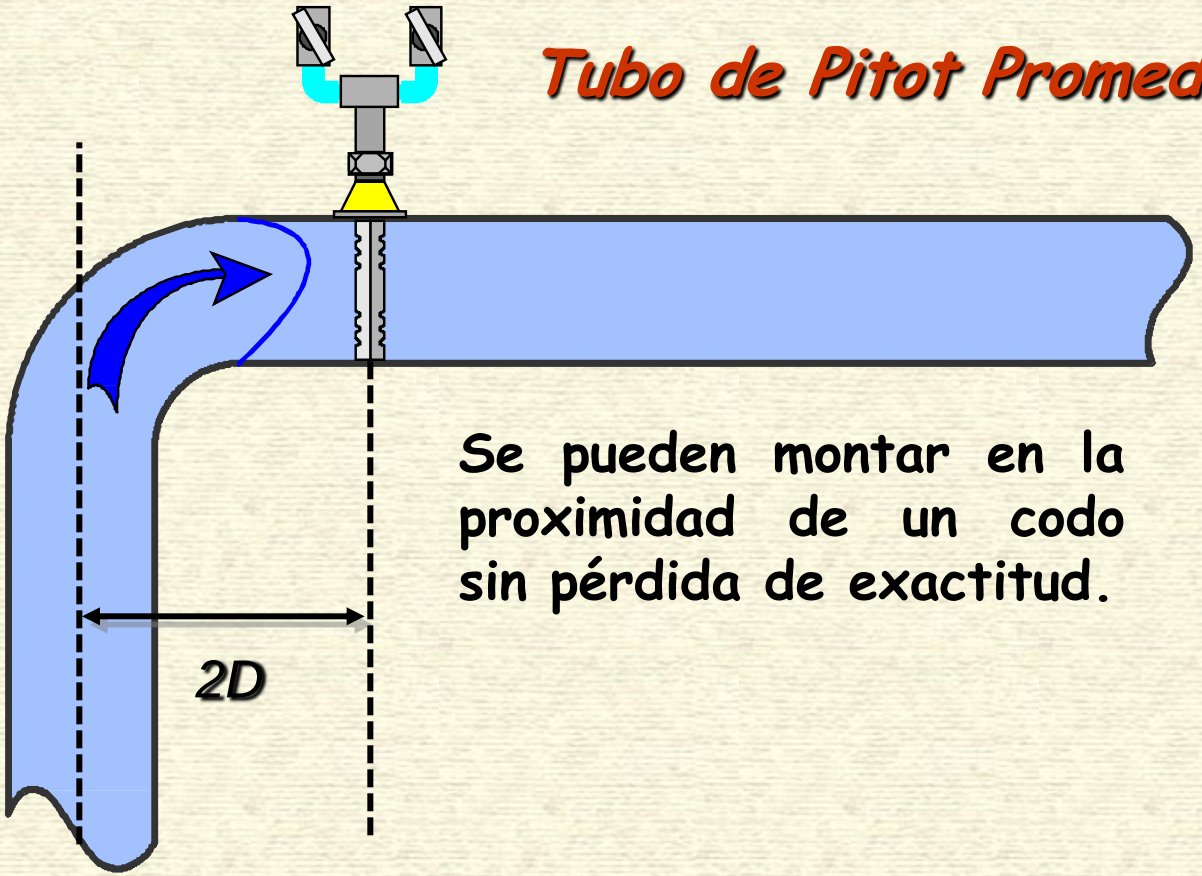






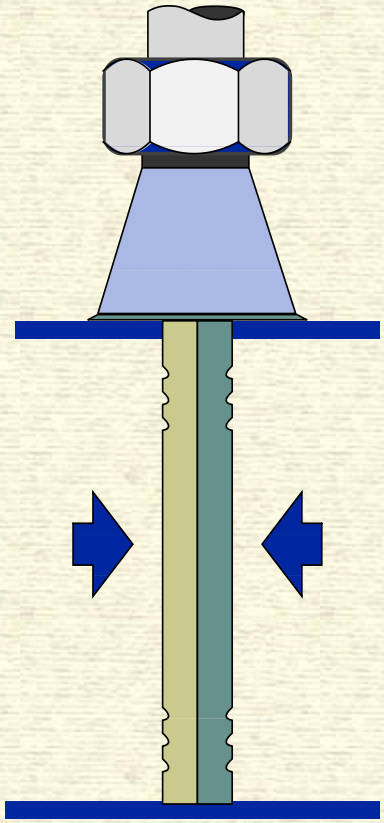
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Tubo de Pitot Promediante (Annubar)



Se pueden montar en la proximidad de un codo sin pérdida de exactitud.

Hay modelos que son para medición bi-direccional

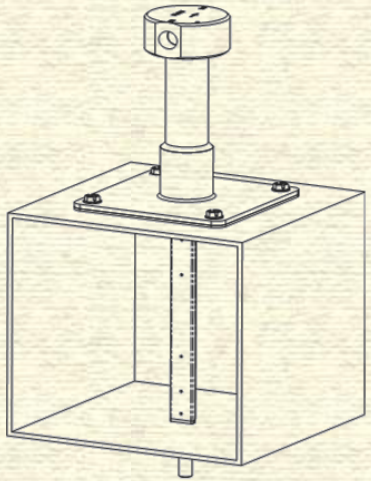


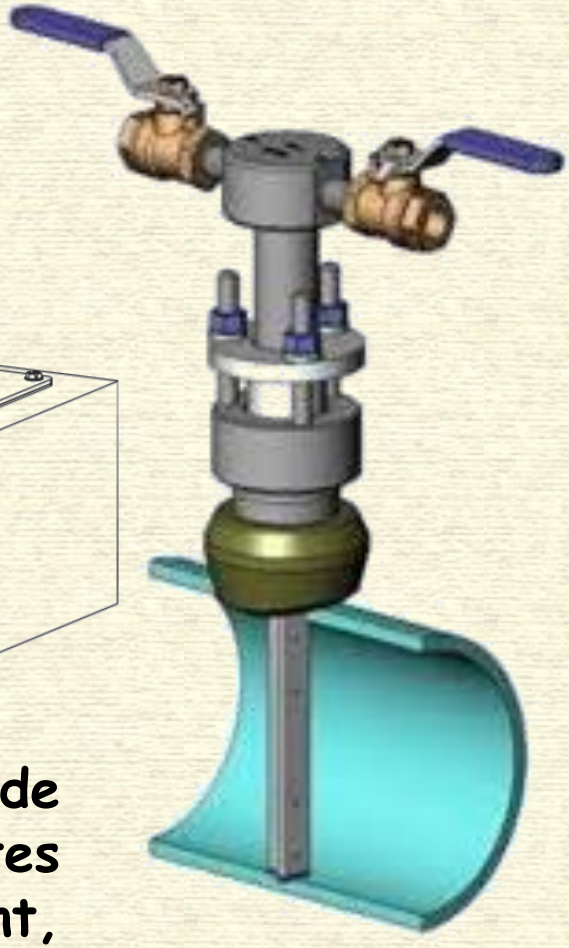
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Tubo de Pitot Promediante (Annubar)

Tienen 2, 4 ,6 u 8 orificios, dependiendo del diámetro.

El Pitot Promediante tiene una mayor exactitud (0.9 %) que el común (2 a 3 %) y un turndown importante (alrede-dor de 10:1).

Se construyen también para ductos de sección rectangular.

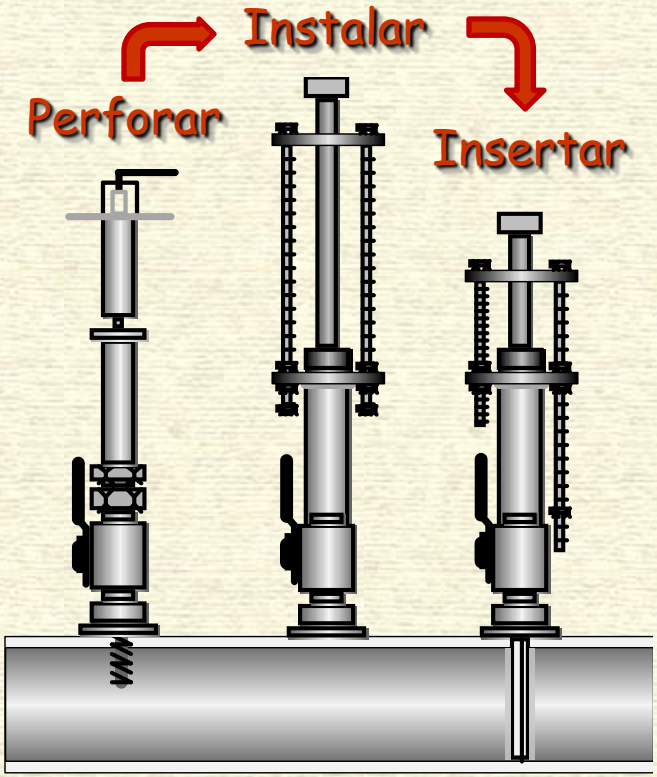




No hay estándares aceptados para tubos de Pitot. En particular, los Pitot Promediantes son tecnologías propietarias (Rosemount, ABB, etc.).

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Tubo de Pitot Promediante (Annubar)

La pérdida de carga permanente de estos dispositivos es relativamente baja (diez veces menos que una placa de orificio), por que son muy útiles en la medición de gases y vapores.

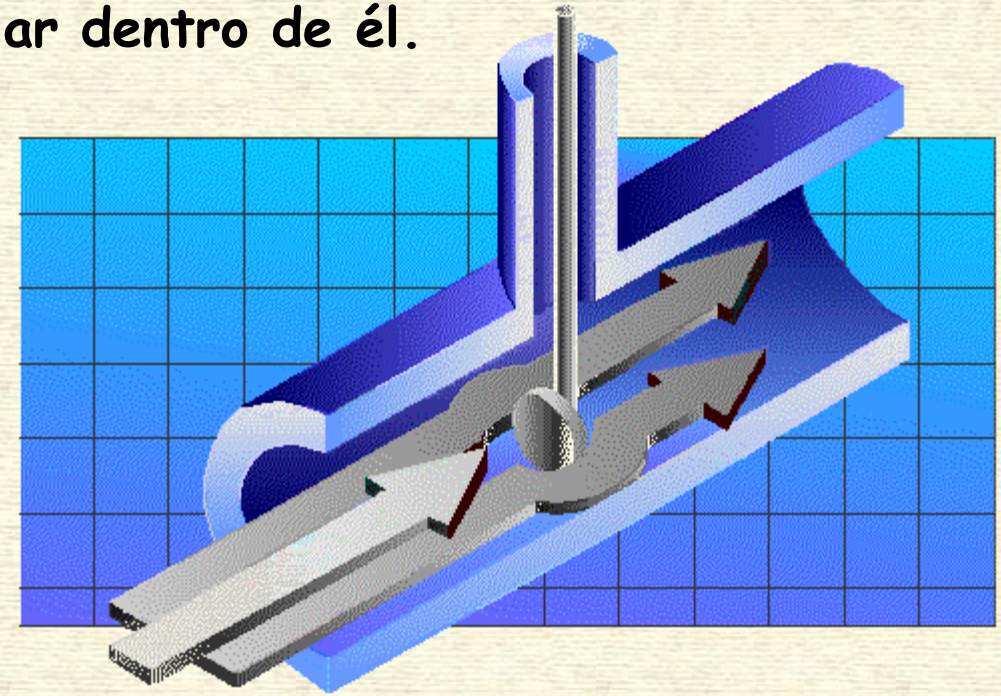


Estos son caudalímetros de inserción. Pueden ser instalados sin desmontar la cañería. (hot taps)

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Medidor de impacto (Taget)

Los medidores de impacto consisten en un blanco (circular, rectangular, etc) colocado en el centro de la cañería sobre la que impacta el fluido al circular dentro de él.



Los caudalímetros de impacto se pueden usar para gran variedad de líquidos, gases y vapores, incluyendo suspensiones de viscosidad media.

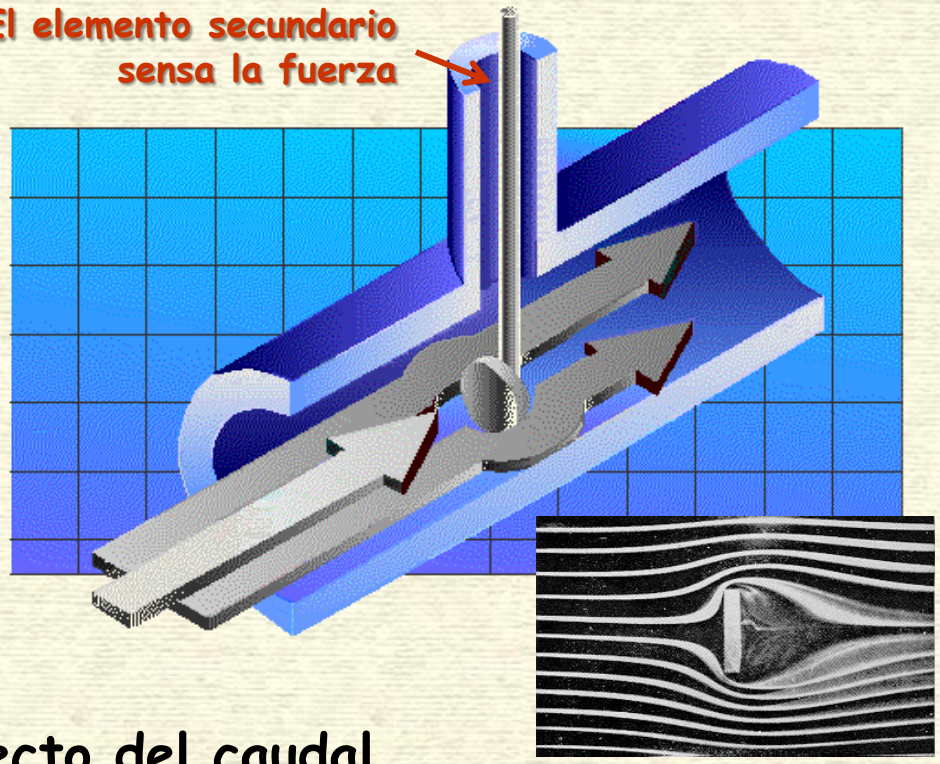
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Medidor de impacto (Taget)

La fuerza que produce el impacto del fluido sobre el blanco viene dado por:

$$F = C_D A \rho \frac{v^2}{2g}$$

El transmisor transforma la fuerza en una señal estándar, de modo que:

$$\boxed{Q = k\sqrt{F}}$$

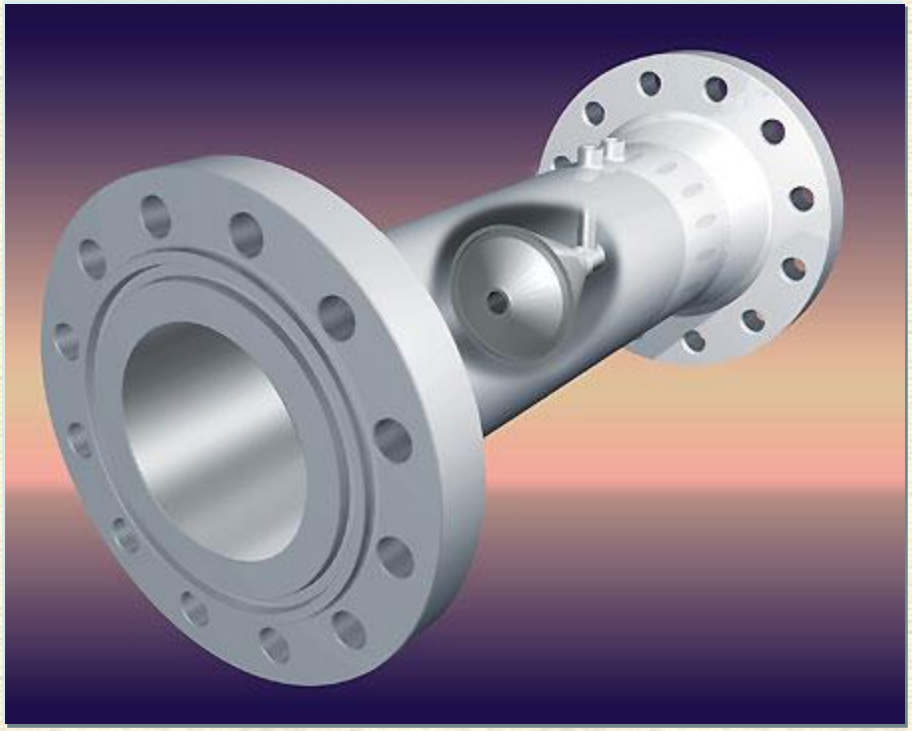


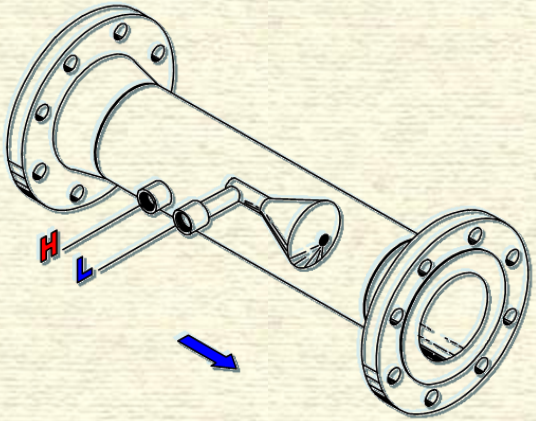
La salida es cuadrática respecto del caudal.

La exactitud varía entre 1 % y 5 % R, dependiendo del fabricante. La rangebilidad (turndown) está entre 10:1 a 15:1. Puede trabajar con NRe relativamente bajos (hasta 100).

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Caudalímetro con cono en V (V-cone)

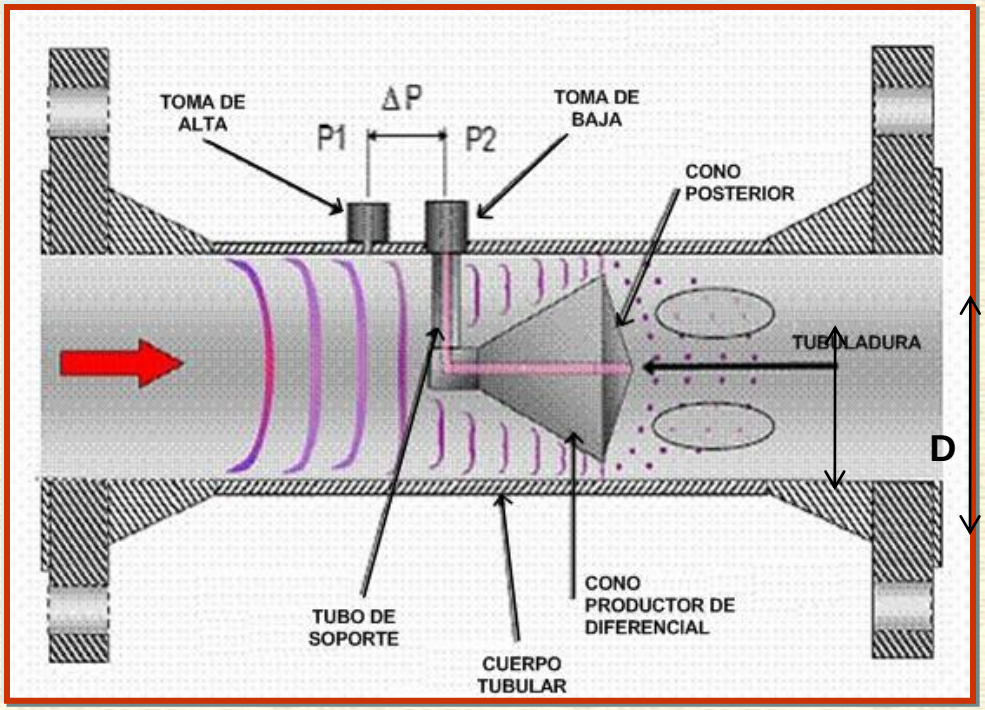
En este tipo de caudalímetro utiliza el mismo principio físico que otros medidores de presión diferencial: el teorema de conservación de la energía del flujo de fluidos a través de una tubería (Bernoulli). Se trata de una tecnología patentada de medición de flujos (McCrometer).





El dispositivo consta de un cono central en el interior del tubo y dos tomas ubicadas en zonas de condiciones hidrodinámicas bien definidas.

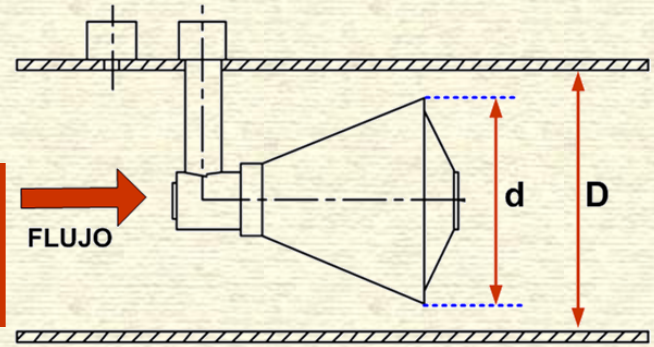
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Caudalímetro con cono en V (V-cone)



El cono interactúa con el fluido, modificando su perfil de velocidad para crear una región de baja presión inmediatamente aguas abajo del cono. La diferencia entre la presión estática de la línea (P1) y la presión aguas abajo del cono (P2) se vincula con la velocidad media de flujo. Las ecuaciones de diseño son similares a las de placas.

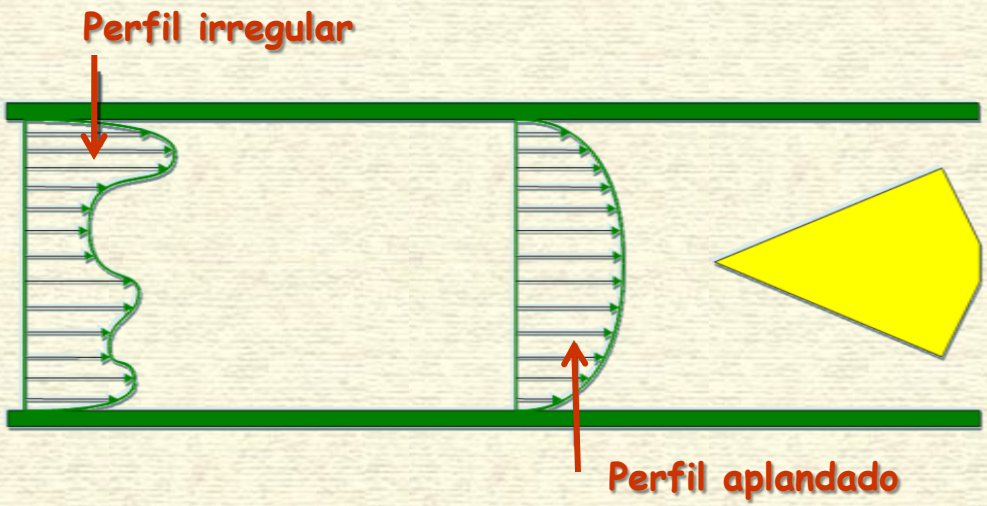
El diferencial aumenta y disminuye en forma exponencial con la velocidad del flujo. Cuanto mayor sea el estre-chamiento de la sección trans-versal (mayor beta), mayor será la presión diferencial.

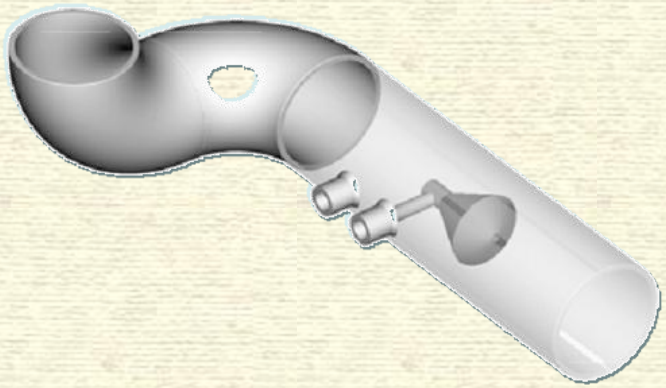
$$\beta = \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}}$$



OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Caudalímetro con cono en V (V-cone)

Accesorios (codos, válvulas, reductores, etc.), bombas y derivaciones distorsionan el perfil de velocidades y causan errores en los dispositivos diferenciales. Para resolver este problema, el Cono en V-Cone modifica el perfil aguas arriba transformándolo en un perfil bien desarrollado.



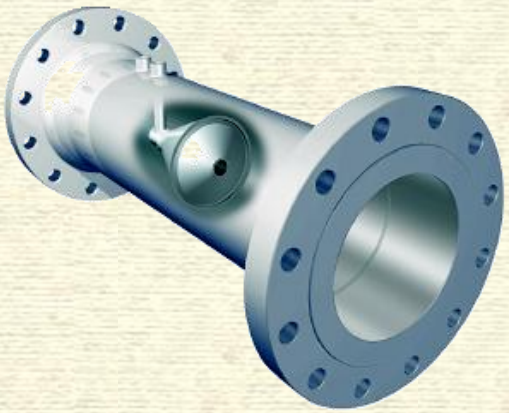


El medidor se puede colocar mucho más cerca de los accesorios. Se recomienda dejar de cero a tres diámetros de cañería recta aguas arriba y de cero a un diámetro aguas abajo del dispositivo.

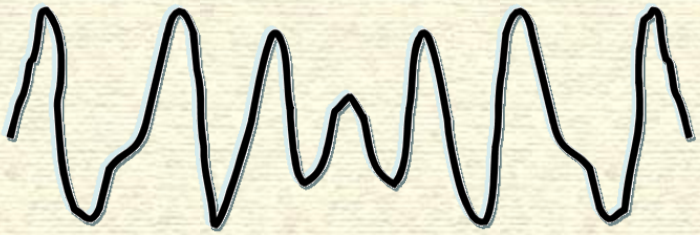
OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Caudalímetro con cono en V (V-cone)

La **precisión** del elemento primario puede ser de hasta ±0.5% **Span** (en el nivel de la instrumentación secundaria). El turndown es alto: 10:1.

Las placas de orificio y otros dispositivos similares producen fluctuaciones debido a vórtices que se forman inmediatamente después del dispositivo. Estos vórtices producen señales de alta amplitud y baja frecuencia, mientras que en el cono en V los vórtices son menores y la señal presenta fluctuaciones de baja amplitud y alta frecuencia.



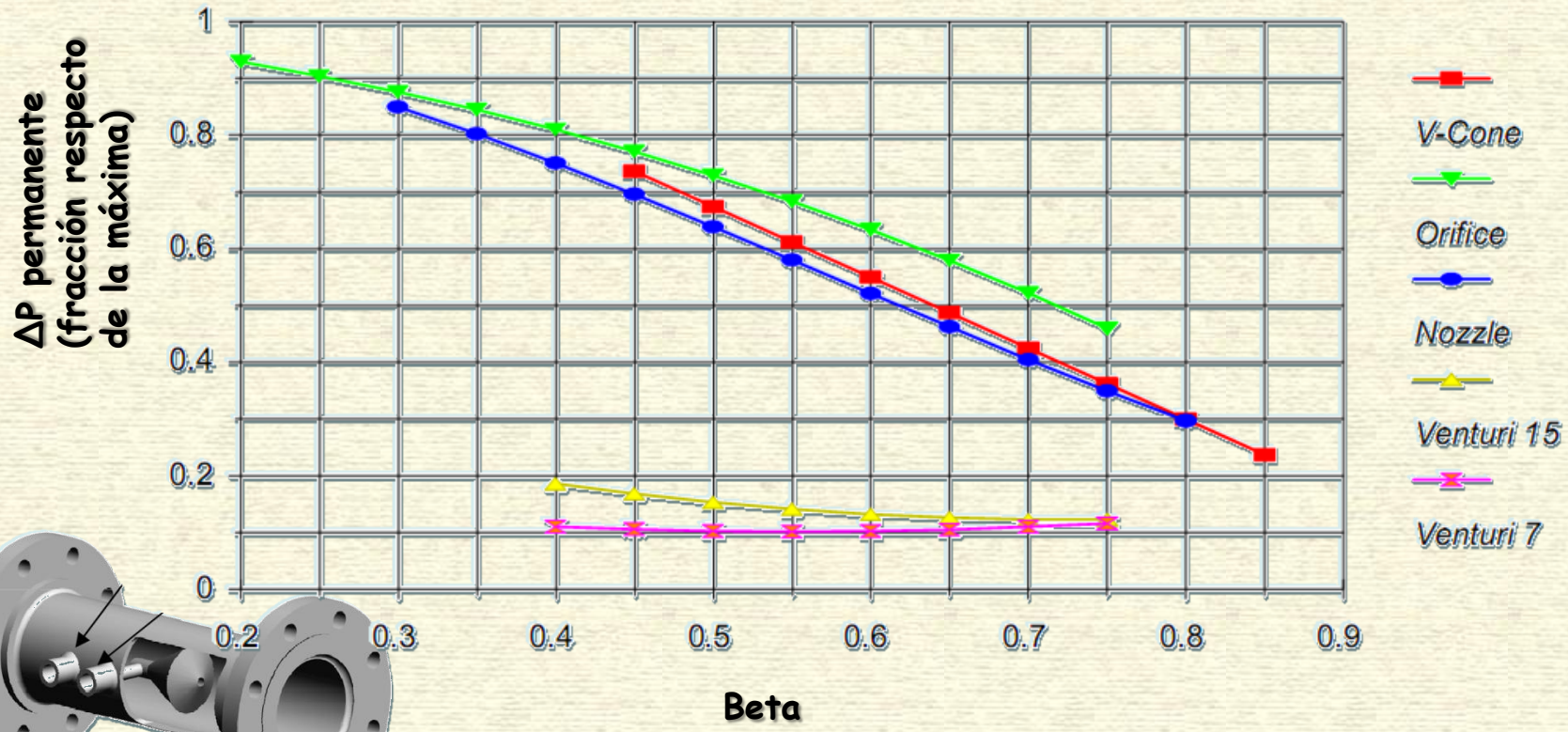
Señal estacionaria de un Cono en V

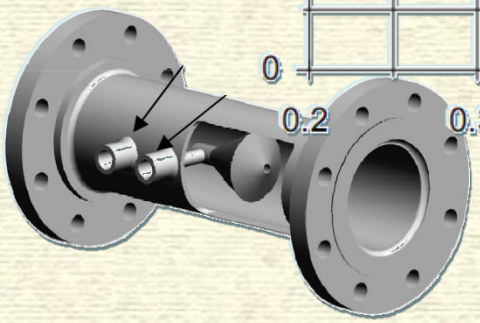


Señal estacionaria de un a Placa de orificio

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL
Caudalímetro con cono en V (V-cone)

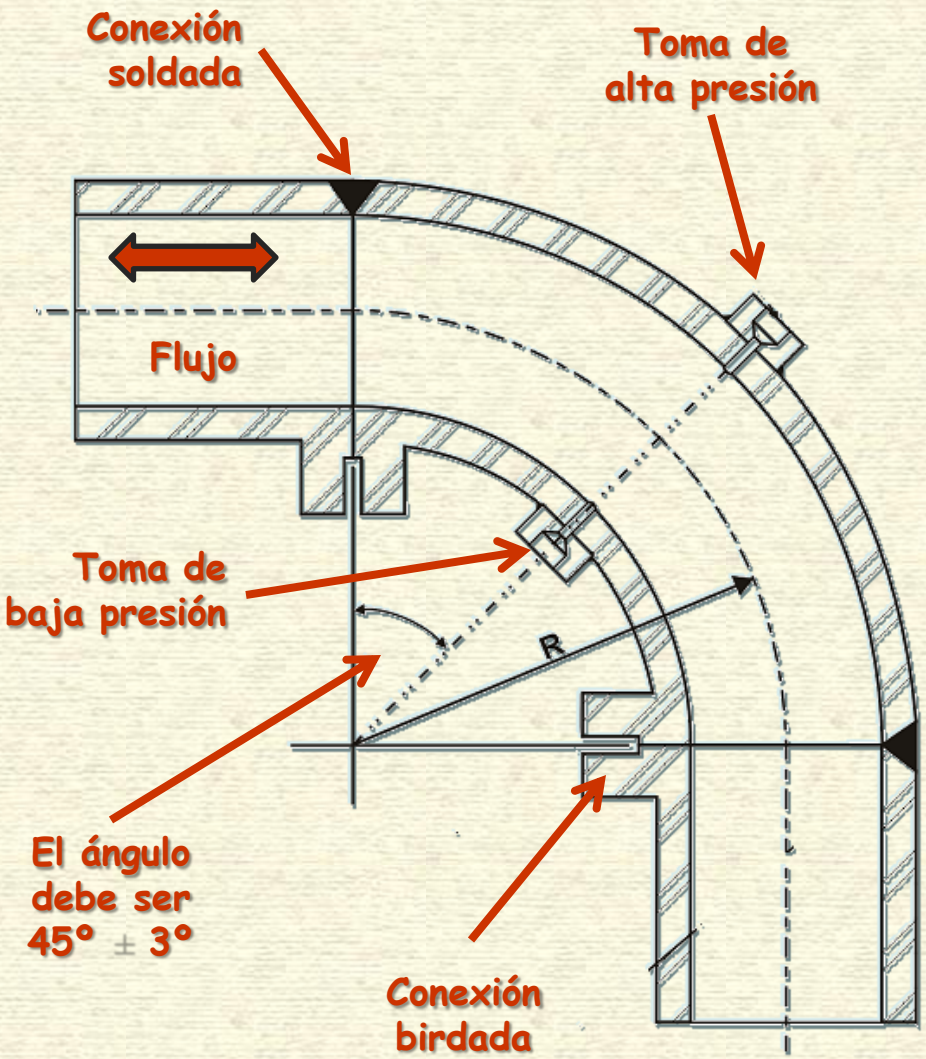
Al no producirse impacto abrupto contra una superficie, la pérdida de presión permanente es inferior a la de un medidor de placa orificio, pero superiores a dispositivos tipo Venturi





OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Caudalímetro de codo

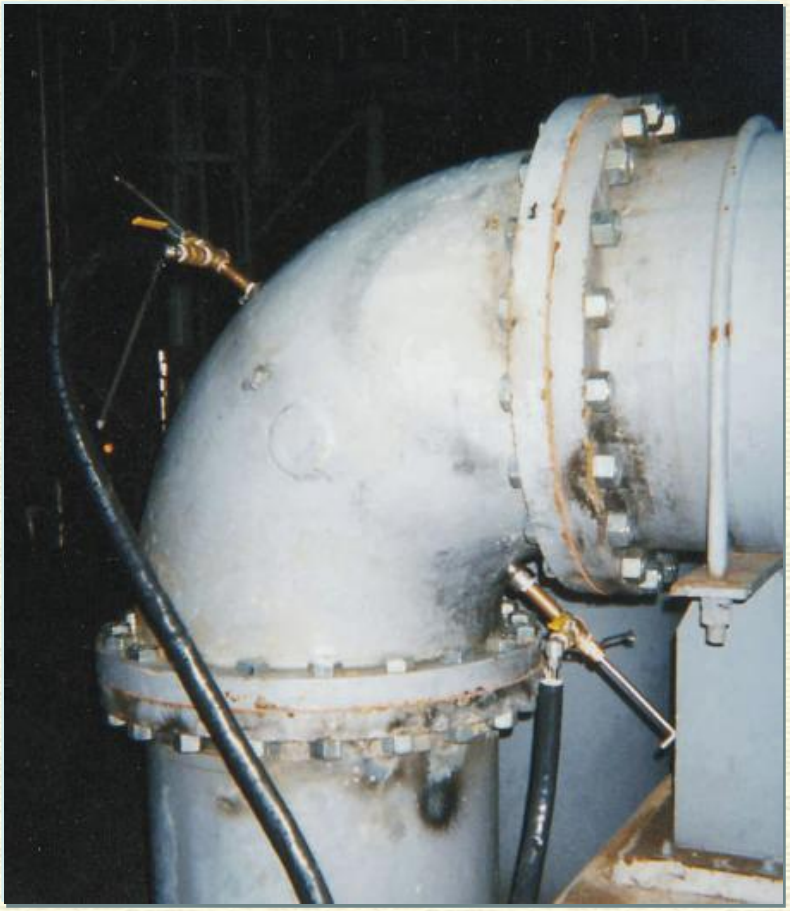


Al circular un fluido por un codo, se produce un cambio de dirección en el flujo generando una **diferencia de presión resultante de la fuerza centrífuga**. Esta diferencia es proporcional al cuadrado de la velocidad media del fluido.

OTROS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Caudalímetro de codo

Como en las plantas de procesos se dispone de codos, el costo de estos medidores es muy bajo. Sin embargo la **exactitud es muy pobre** (por encima de 4 % Span), por lo que se debería usar sólo cuando no se pueden emplear otros dispositivos por razones de espacio o económicas.



Hay un estándar publicado por ASME. El procedimiento de diseño es análogo al de placas.

Se requiere que en NRe sea superior a 50000. Los diferenciales son mucho menores que los producidos por los otros dispositivos de la familia. Son bi-direcionales.

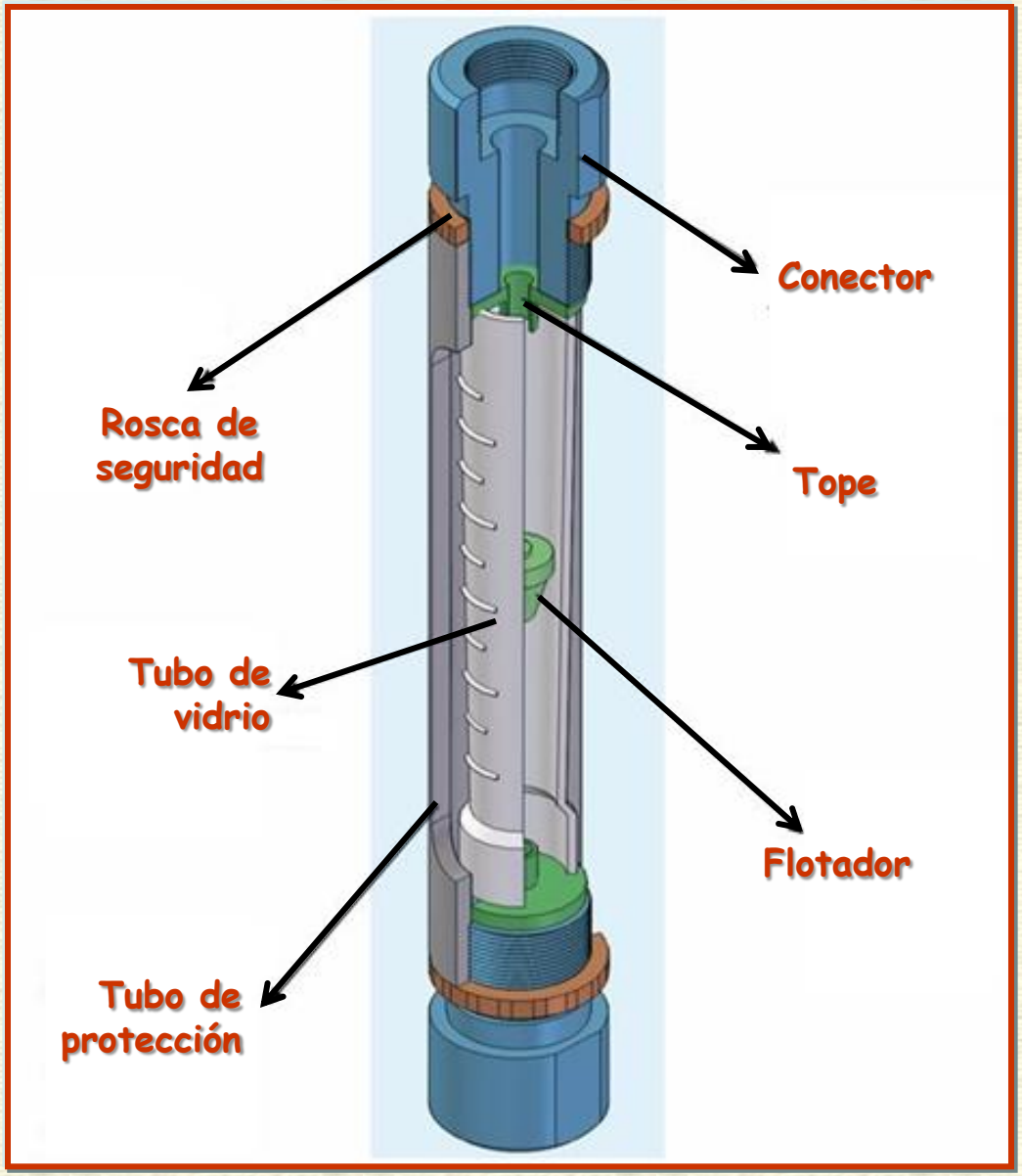
TIPOS DE CAUDALÍMETROS (Norma BS-7405)

- Convencionales de presión diferencial
- Otros tipos de presión diferencial
- De desplazamiento positivo
- Rotatorios
- De Área variable
- Oscilatorios para fluidos
- Electromagnéticos
- Ultrasónicos
- Másicos directos e indirectos
- Térmicos
- Otros para fluidos en ductos cerrados
- De canal abierto
- Para sólidos

MEDIDORES DE ÁREA VARIABLE (rotámetro)

Los rotámetros son medidores simples y baratos para aplicaciones con gases y líquidos. Tienen una exactitud en torno del 2 % Span. Es ideal en aplicaciones industriales y de laboratorio donde se precisa solo indicación local.

Consta de un **tubo tronco cónico vertical** en que se desplaza un **flotador**. La posición en la que permanece el flotador depende del caudal.



MEDIDORES DE ÁREA VARIABLE (rotámetro)

El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que fuerza de arrastre sea suficiente para equilibrar el peso efectivo del flotador.

En equilibrio:

Peso = Empuje + Arrastre

$$\rho_F V_F g = \rho_L V_F g + C_D A_F \rho_L \frac{v^2}{2g}$$

La velocidad del fluido es constante

MEDIDORES DE ÁREA VARIABLE (rotámetro)

La velocidad vale:

$$v = g\sqrt{\frac{2V_F(\rho_F - \rho_L)}{C_D A_F \rho_L}}$$

El caudal que circula será:

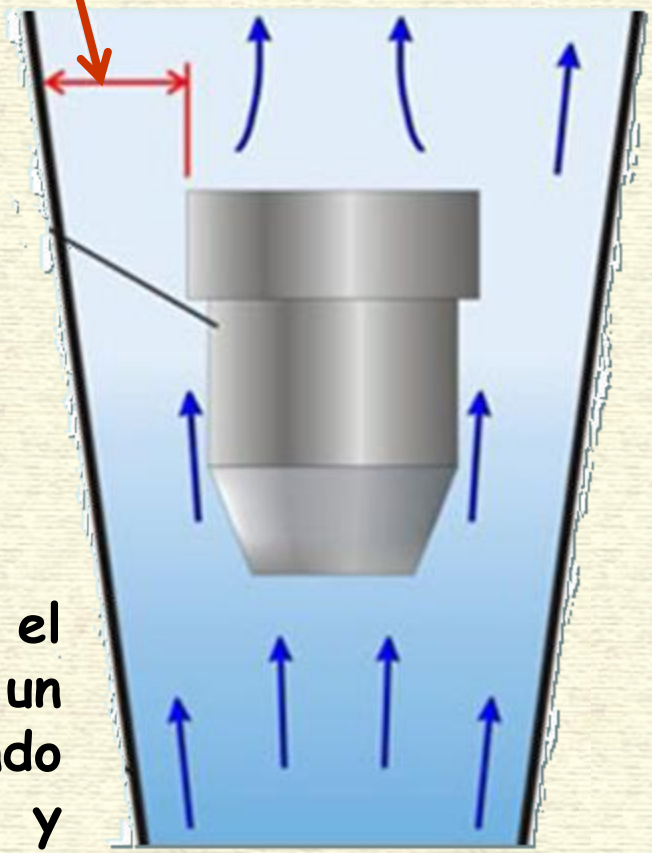
$$Q = v\,A = g\,A\sqrt{\frac{2V_F}{C_D A_F}}\sqrt{\frac{\rho_F - \rho_L}{\rho_L}}$$

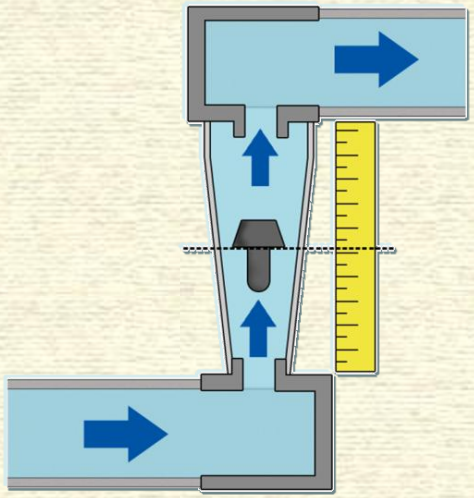
Sección de pasaje vinculada a la posición (escala)

Depende de la geometría del flotador

Relaciona densidad de fluido y del flotador

Cuando el caudal aumenta, el área anular A debe aumentar y el flotador se posiciona más arriba

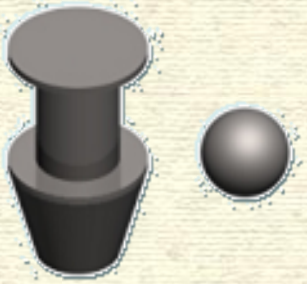




Se puede cambiar el alcance de un rotámetro cambiando el flotador (forma y densidad).

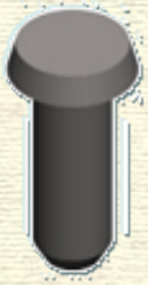
MEDIDORES DE ÁREA VARIABLE (rotámetro)

Se puede cambiar la aplicación cambiando el flotador.



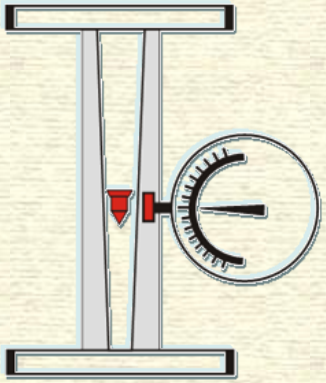
Para gases

Para líquidos no viscosos

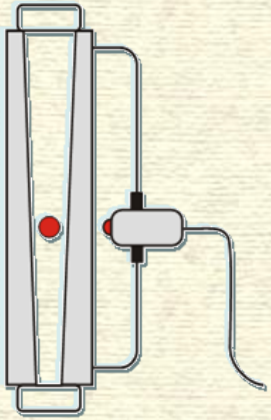


Para líquidos viscosos

Hay modelos con mecanismos de alarma:



Alarma Inductiva



Alarma Óptica

MEDIDORES DE ÁREA VARIABLE

Rotámetro en by-pass

El sistema consta de una placa de orificio como elemento primario y un rotámetro como elemento indicador, que se conecta entre las tomas de alta y de baja. La presión diferencial hace circular un determinado caudal a través del rotámetro. El nivel vertical del flotador indica el caudal.

Especialmente apto para cañerías de gran diámetro para la que no se puede emplear directamente un rotamétro.

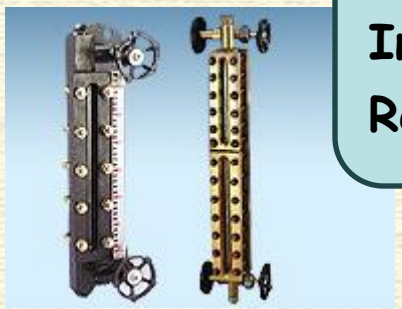
MEDIDORES DE ÁREA VARIABLE (rotámetro)

VENTAJAS

- Es económico para caudales bajos y cañerías con diámetros menores a 2".
- Cubre un rango amplio de caudales.
- Sirve para líquidos y gases.
- Provee una información visual directa.
- La caída de presión es baja y constante.
- Instalación y mantenimiento simple.

DESVENTAJAS

- No es sencillo ni económico obtener señal eléctrica a partir de la indicación.
- No aplicable a cañerías grandes.
- Instalación solo vertical
- Relativamente baja precisión



TIPOS DE CAUDALÍMETROS (Norma BS-7405)

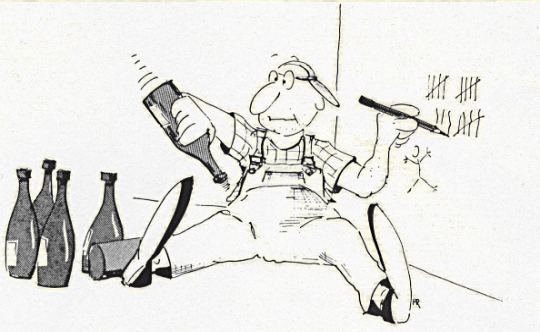
- Convencionales de presión diferencial
- Otros tipos de presión diferencial
- De desplazamiento positivo
  - Rotatorios
  - De Área variable
  - Oscilatorios para fluidos
  - Electromagnéticos
  - Ultrasónicos
- Másicos directos e indirectos
- Térmicos
- Otros para fluidos en ductos cerrados
- De canal abierto
- Para sólidos

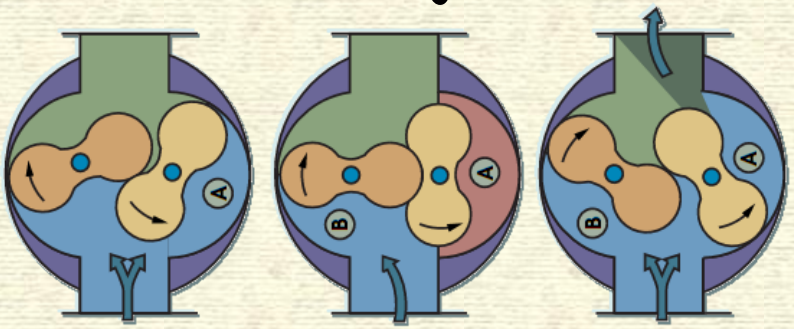
MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO

Los medidores de desplazamiento positivo **miden la cantidad de fluido** que circula por un conducto, dividiendo el flujo en volúmenes separados. Después **cada porción es contada** para medir el caudal.

Se pueden destacar tres componentes comunes:

- **Cámara**, que se encuentra llena de fluido,
- **Desplazador**, que transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente
- **Mecanismo indicador, totalizador o transmisor** conectado al desplazador, que cuenta el número de veces que el desplazador se mueve en la cámara de trabajo.





MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO

Estos dispositivos deben tener una **buena estanqueidad** de las partes móviles, evitando un par de rozamiento inaceptable y que las fugas de fluido sean mínimas.

Son **calibrados** a varios caudales, dentro del margen de utilización, con un fluido de viscosidad conocida (referencia).

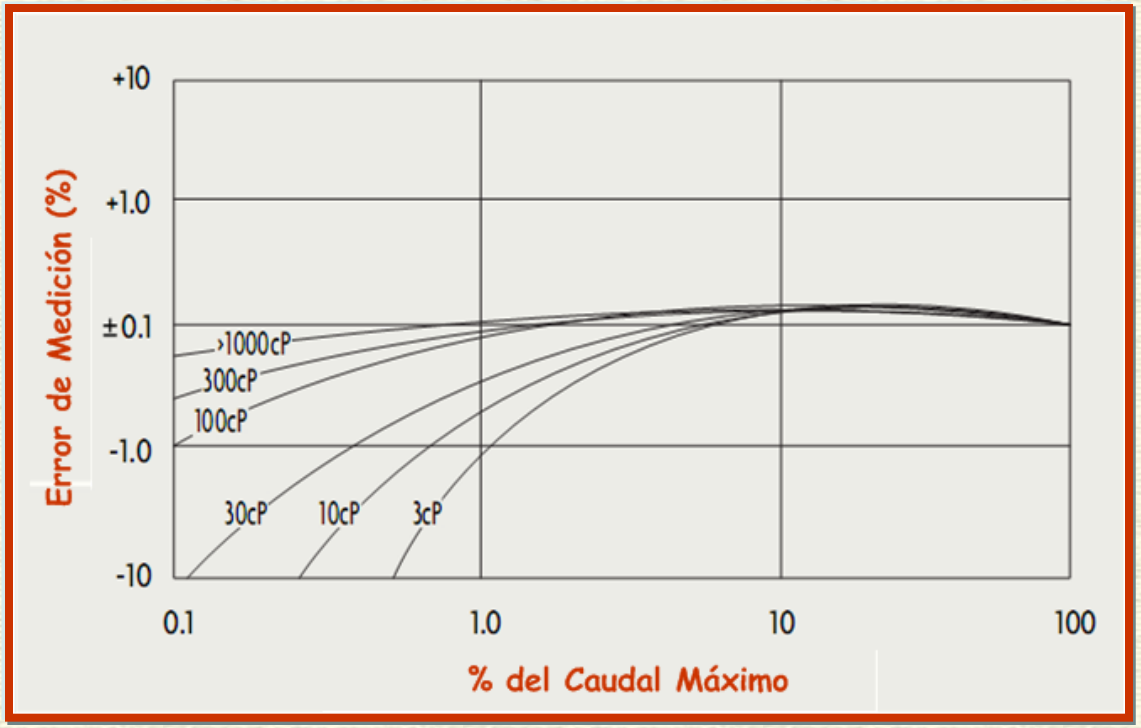
Están muy difundidos en trabajos de fiscalización y transferencia de custodia fundamentalmente por que totalizan en vez de dar medición puntual de caudal.

MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO

Los medidores de desplazamiento positivo se usan con fluidos limpios. Proporcionan alta exactitud (entre 0.1 y 0.5 %). Son **robustos y relativamente caros**.

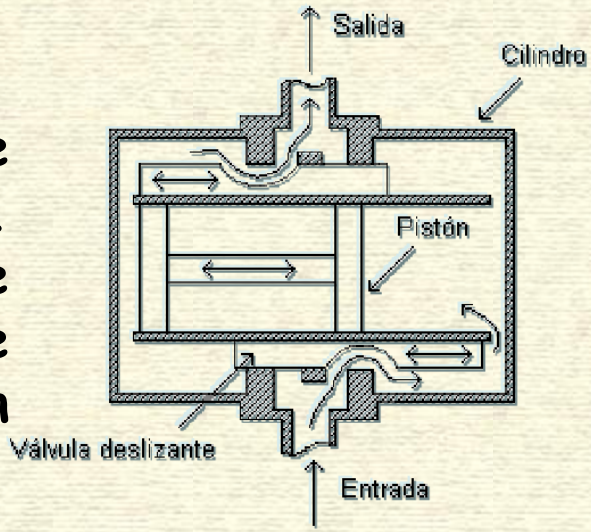
No son afectados generalmente por las distorsiones en los perfiles de velocidad.

Son especialmente aptos para medir con fluidos de **alta viscosidad**.



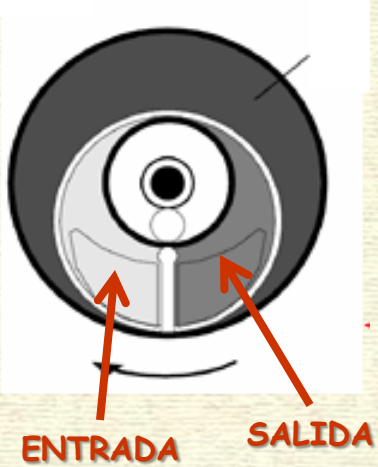
MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO

Medidores de Pistón

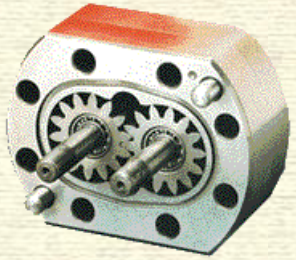


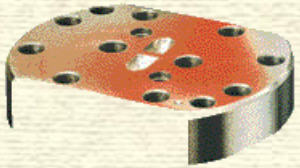
Pistón alternativo. Es el más antiguo de los medidores de desplazamiento positivo. Está compuesto por un cilindro en donde se aloja el pistón y las válvulas que permiten la entrada y salida del líquido en su interior.

Pistón Oscilante. Más usados en la actualidad. Consiste de un pistón hueco montado excéntri-camente dentro de un cilindro. El cilindro y el pistón tienen la misma longitud, pero el pistón, tiene un diámetro más pequeño. El pistón oscila alrededor de un puente divisor que separa la entrada de la salida de líquido.



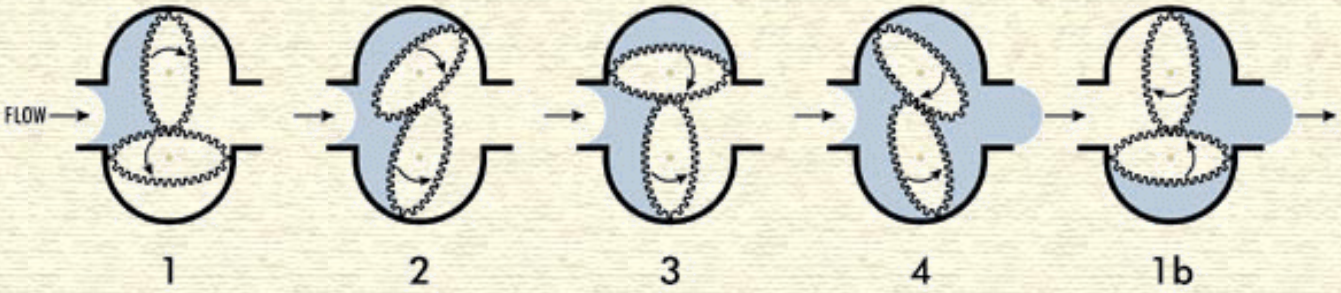
MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO
Medidores de Engranaje





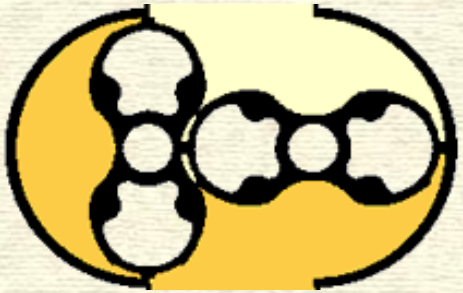
Constan de dos ruedas circulares u ovales que **engranan entre sí** y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el flujo de líquido.

La principal ventaja de estos medidores es que la **medida realizada es prácticamente independiente de variaciones en la densidad y en la viscosidad del líquido**.

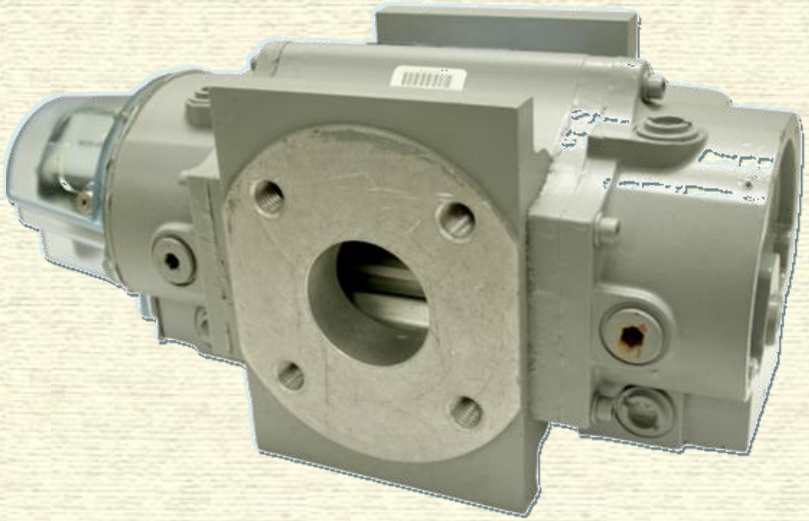


MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO
Medidores de Lóbulos y helicoidal

Similares a la de engranajes, pero con lóbulos y tornillos.



Se emplean cuando se deben medir grandes volúmenes desplazados (por ejemplo gas natural).



MEDIDORES DE DEPLAZAMIENTO POSITIVO

Medidor de disco nutante

Está compuesto por una cámara circular con un disco plano móvil que posee una ranura en la que está intercalada una placa fija. Esta placa separa la entrada de la salida e impide el giro del disco durante el paso del fluido.

La cara baja del disco está siempre en contacto con la parte inferior de la cámara, mientras que su parte superior roza con la parte superior de la cámara en el lado opuesto. De este modo la cámara está dividida en compartimientos separados de volumen conocido.

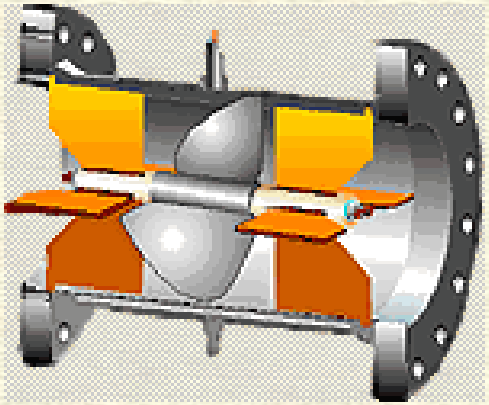
Se utiliza en aplicaciones domésticas para la medición de **consumo de agua**, y en la industria en la medición de gasto de agua, aceite y líquidos alimenticios. La precisión es de **±1% a ± 2%.**

TIPOS DE CAUDALÍMETROS (Norma BS-7405)

- Convencionales de presión diferencial
- Otros tipos de presión diferencial
- De desplazamiento positivo

- Rotatorios
- De Área variable
- Oscilatorios para fluidos
- Electromagnéticos
- Ultrasónicos
- Másicos directos e indirectos
- Térmicos
- Otros para fluidos en ductos cerrados
- De canal abierto
- Para sólidos

MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas



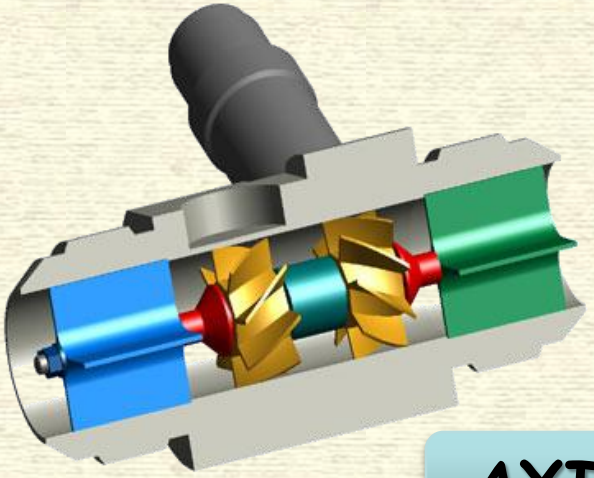
Los caudalímetros de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal.

Es uno de los más **precisos y repetibles** caudalímetros tanto para líquidos como para gases, con altísima linealidad por encima del 10 % del caudal máximo de calibración.

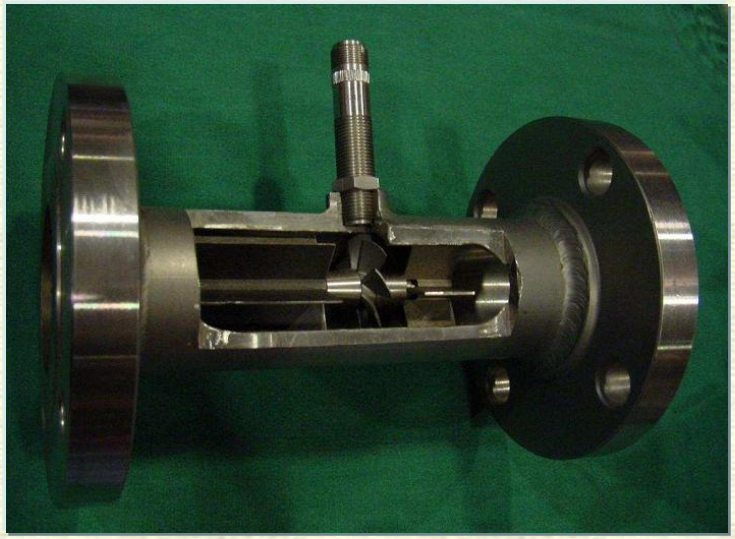
Su **rápida respuesta** y **buena repetibilidad**, los hacen aptos para un amplio espectro de aplicaciones que van desde la fiscalización o transferencia de custodia de líquidos y gases, hasta el control de procesos.

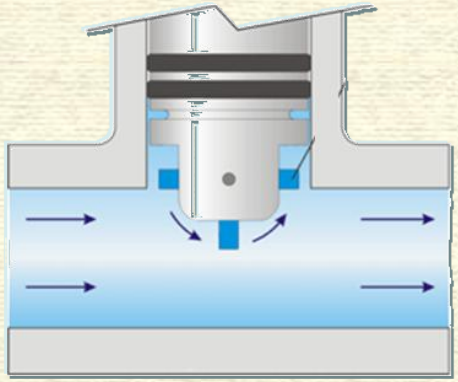
La viscosidad del fluido restringe su aplicación, siendo de 30 cSt el máximo admisible. Son **sensibles a la viscosidad**, **perfil de flujo**, y **pulsaciones**.

MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas
Tipos



AXIAL



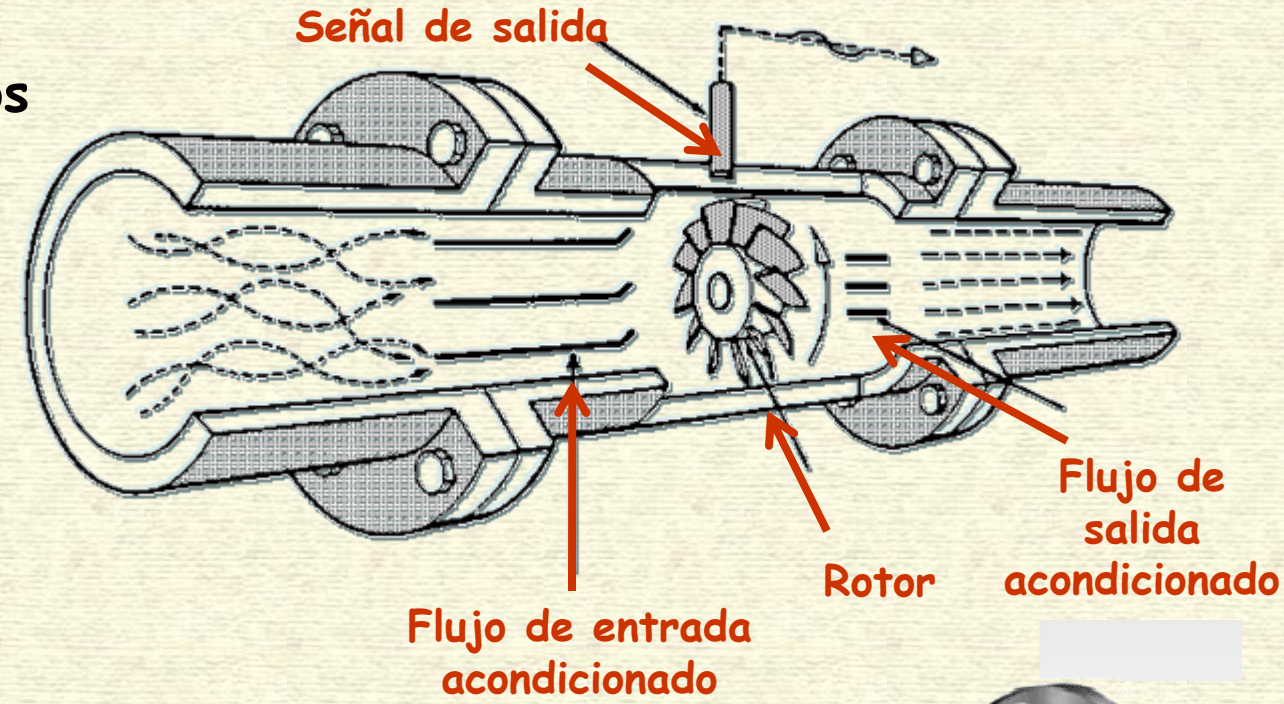


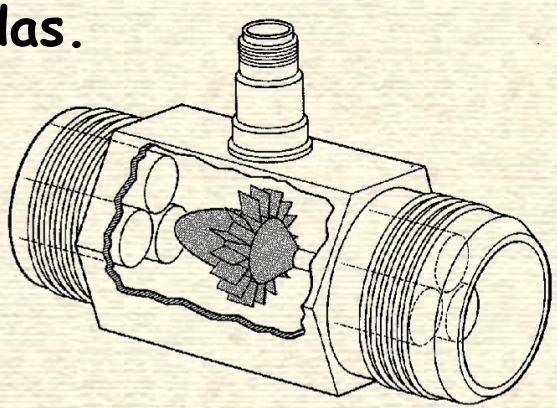
TANGENCIAL

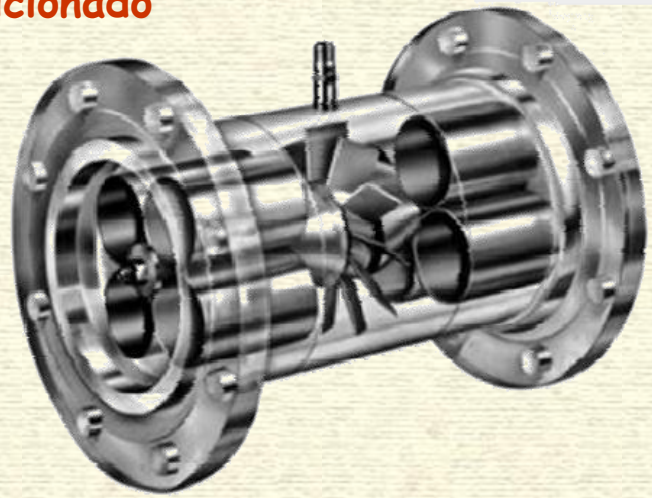
MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas Axiales

Los caudalímetros de turbina axial suelen tener incorporado elementos que acondicionan el flujo de entrada y salida.

Se fabrican de diámetros entre $\frac{3}{4}$ y 16 pulgadas.



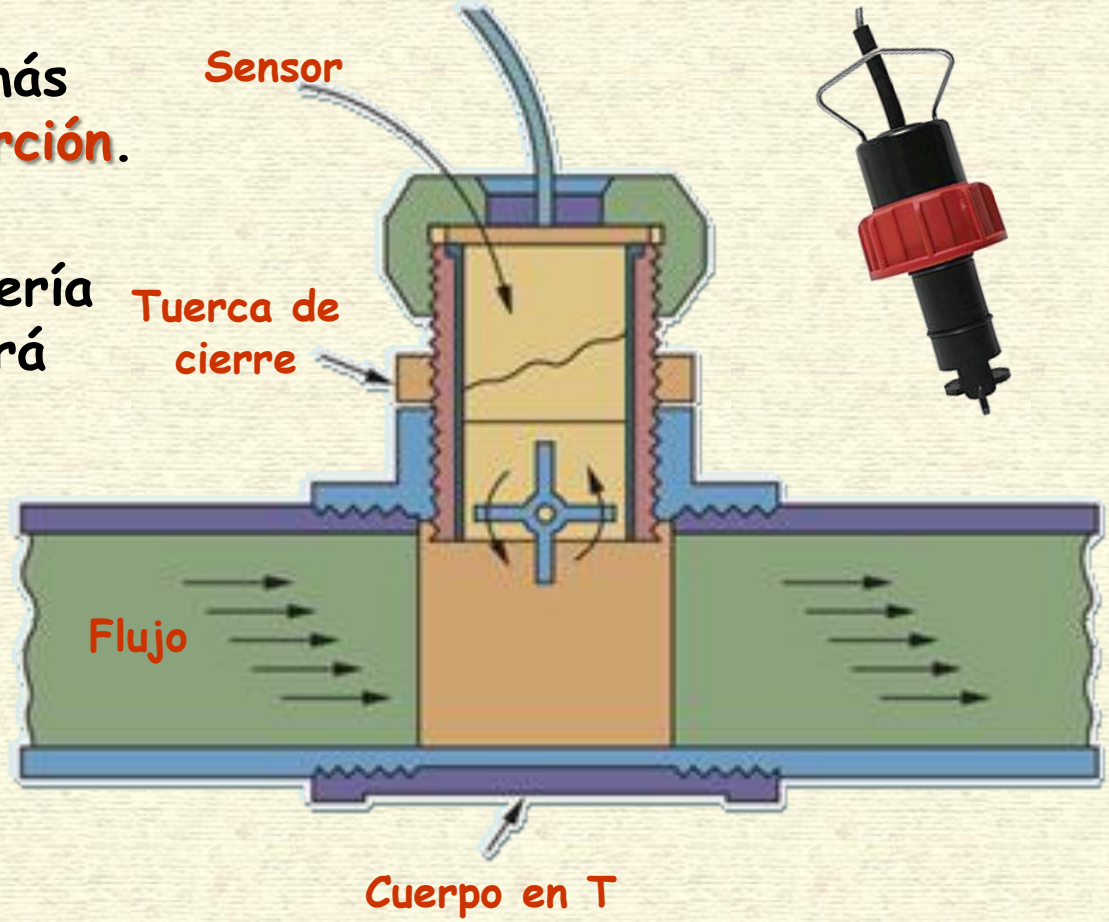




MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas Tangenciales

Hay varios de Turbinas Tangenciales, pero la más difundida es la de **inserción**.

Se pueden insertar directamente en la cañería sobre la que se realizará la medición.

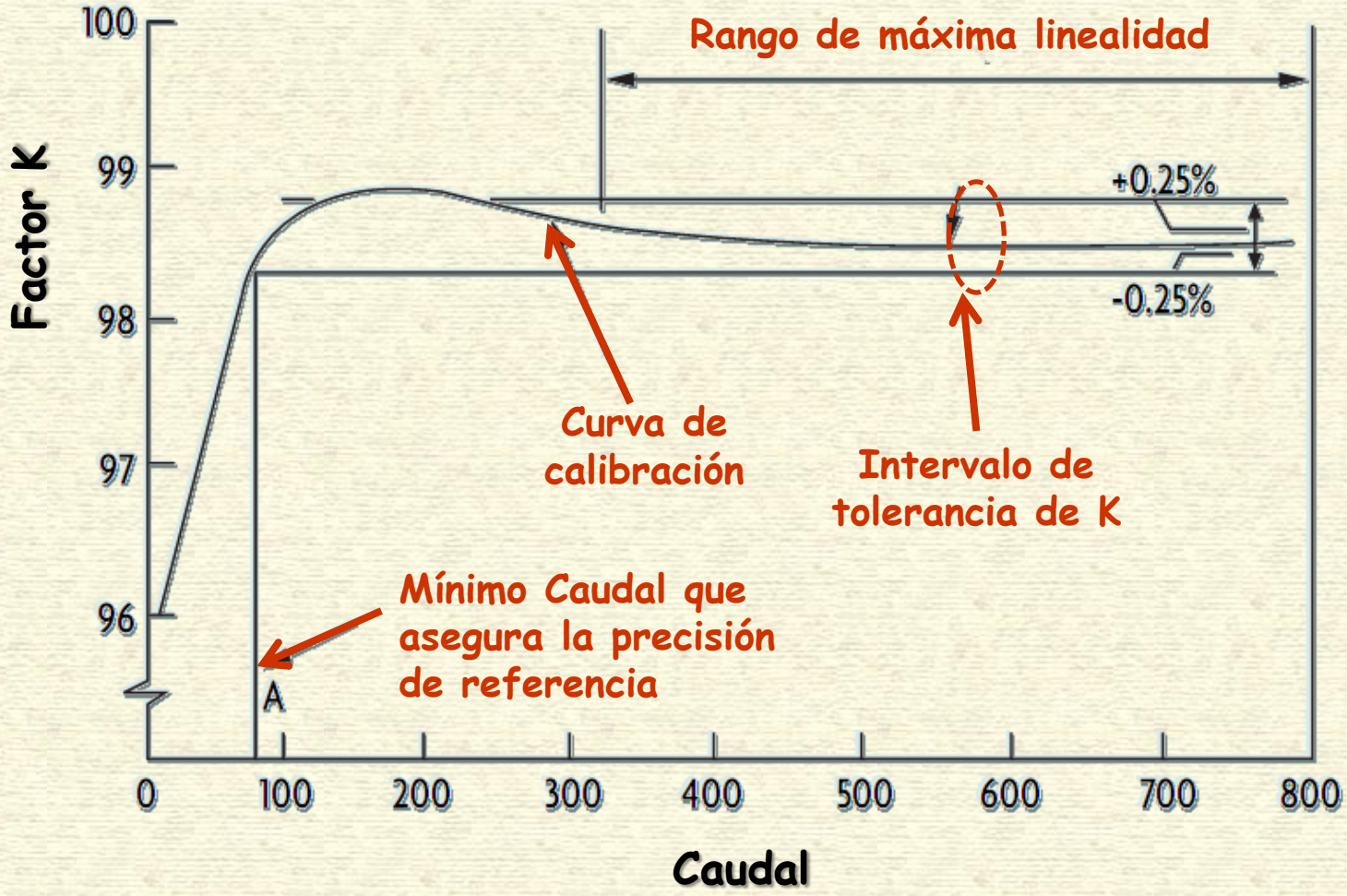


Son dispositivos **relativamente baratos** si se toma en consideración el diámetro de cañería y los caudales que se miden.

MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas

El fabricante informa el valor del **factor K**.
que relaciona caudal con frecuencia.

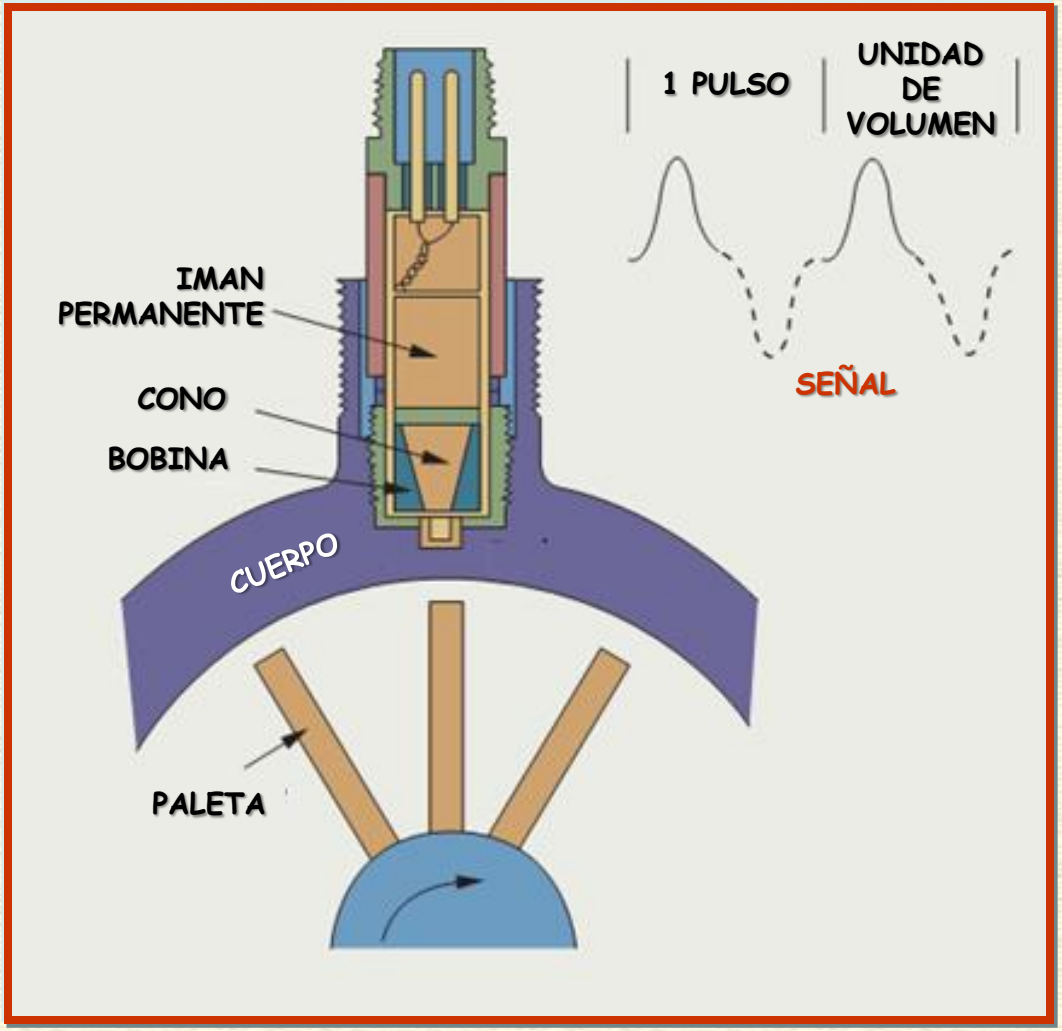
$$Q = K\,f$$



MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas

Las turbinas se dividen según los tipos de convertidores de la señal para captar la señal de velocidad.

Los del tipo **reluctancia**, un bobina exterior capta la interacción de las paletas sobre un imán exterior permanente. El paso de las paletas cambia el circuito magnético, provocando un campo eléctrico en la bobina proporcional al giro de las paletas.

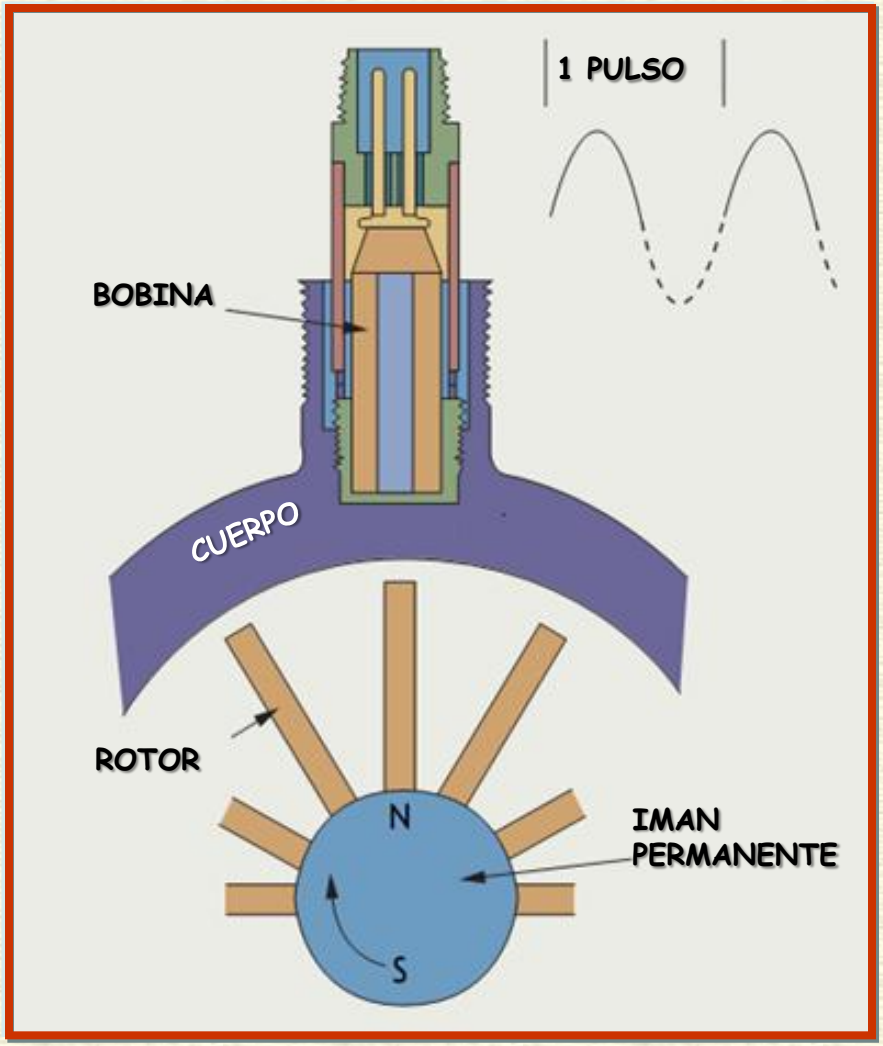


MEDIDORES ROTARORIOS - Turbinas

En las turbinas del tipo **inductivo**, es el rotor el que lleva incorporado un imán permanente. El campo magnético giratorio origina una corriente en la bobina exterior, proporcional al giro.

En los dos casos, la señal resulta un tren de pulsos (uno por cada giro o sea una unidad de volumen).

La salida puede ser continua, en cuyo caso, es proporcional a la frecuencia **f**.
También permite hacer una totalización si se cuenta el número de ciclos **N**.



$$V = k\,N$$

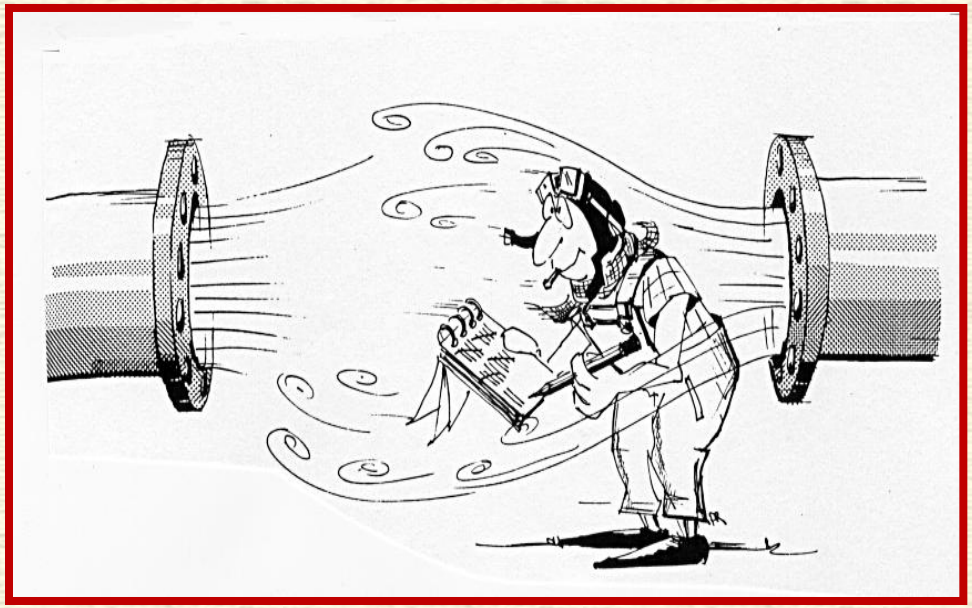
TIPOS DE CAUDALÍMETROS (Norma BS-7405)

- Convencionales de presión diferencial
  - Otros tipos de presión diferencial
    - De desplazamiento positivo
      - Rotatorios
      - De Área variable
      - **Oscilatorios para fluidos**
        - Electromagnéticos
        - Ultrasónicos
      - Másicos directos e indirectos
      - Térmicos
    - Otros para fluidos en ductos cerrados
    - De canal abierto
    - Para sólidos

MEDIDORES OSCILATORIOS

Son elementos que emplean fenómenos físicos que generan **pulsaciones** en el fluido.

Casualmente, la **frecuencia** de esas pulsaciones son las que están en relación directa con la velocidad del fluido.



Los principios de funcionamiento en los que se basan son tres y definen los tipos de estos caudalímetros:

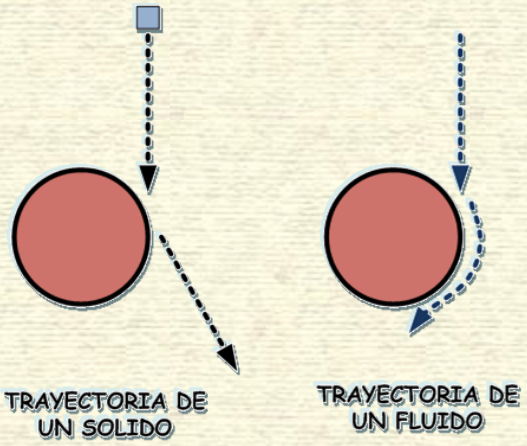
- De oscilación fluídica **(efecto Coanda)**
- De remolinos (de precesión) – **Swirl meter**
- De desprendimiento de vórtices - **Vortex**

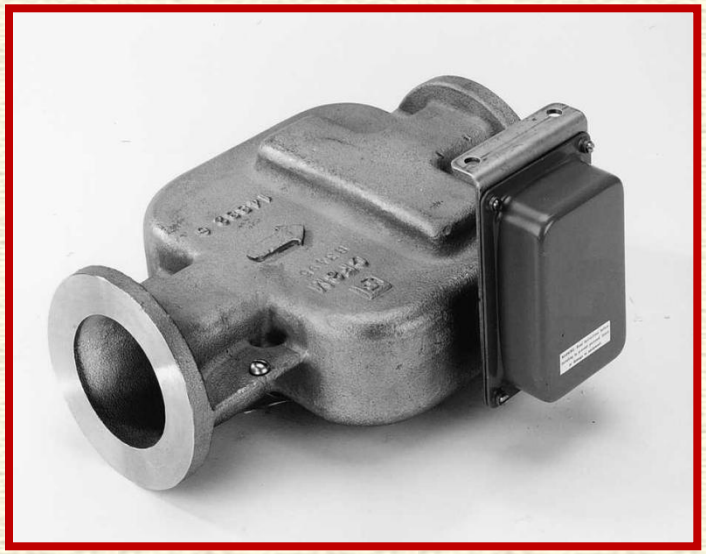
MEDIDORES OSCILATORIOS – De efecto Coanda

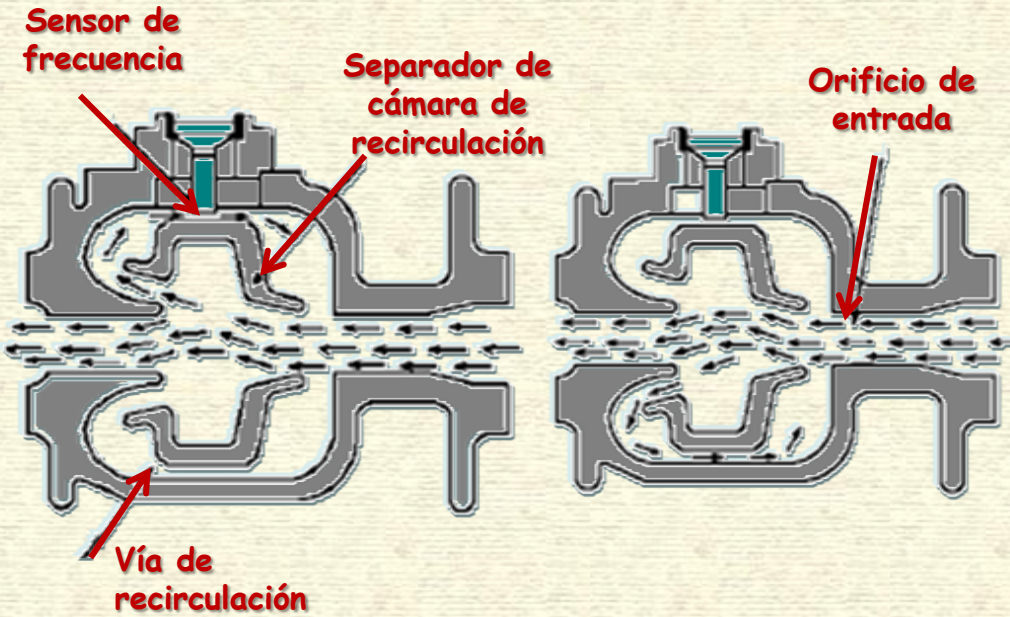
El efecto **Coanda** se aprecia cuando un fluido se encuentra en su camino con un sólido, tiende a pegarse (lo contrario sucede con un sólido)

Los caudalímetros de este tipo tienen dos cámaras laterales para recirculación.

El fluido cambia de cámara (oscila) con una frecuencia que es proporcional al caudal volumétrico.



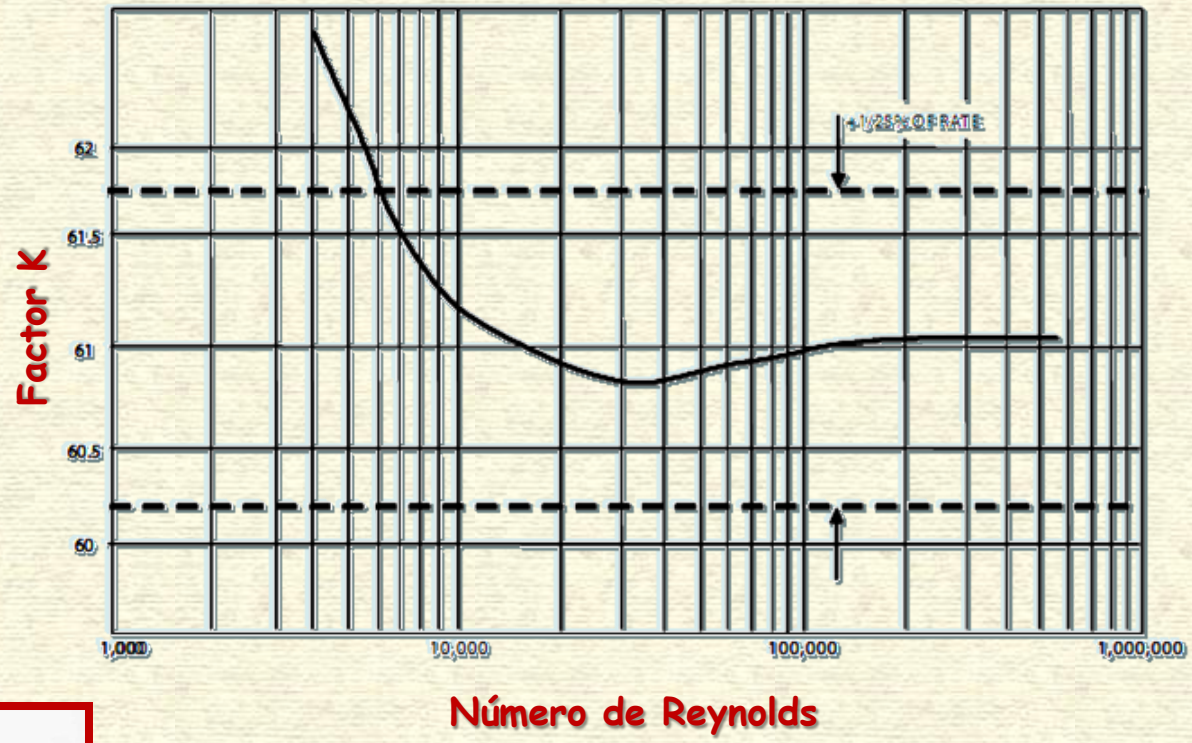




MEDIDORES OSCILATORIOS – De efecto Coanda

Los caudalímetros de efecto **Coanda** están disponibles para diámetros no muy grandes. El **régimen debe ser turbulento**, Nre superior a 2000.

$$Q = K\,f$$



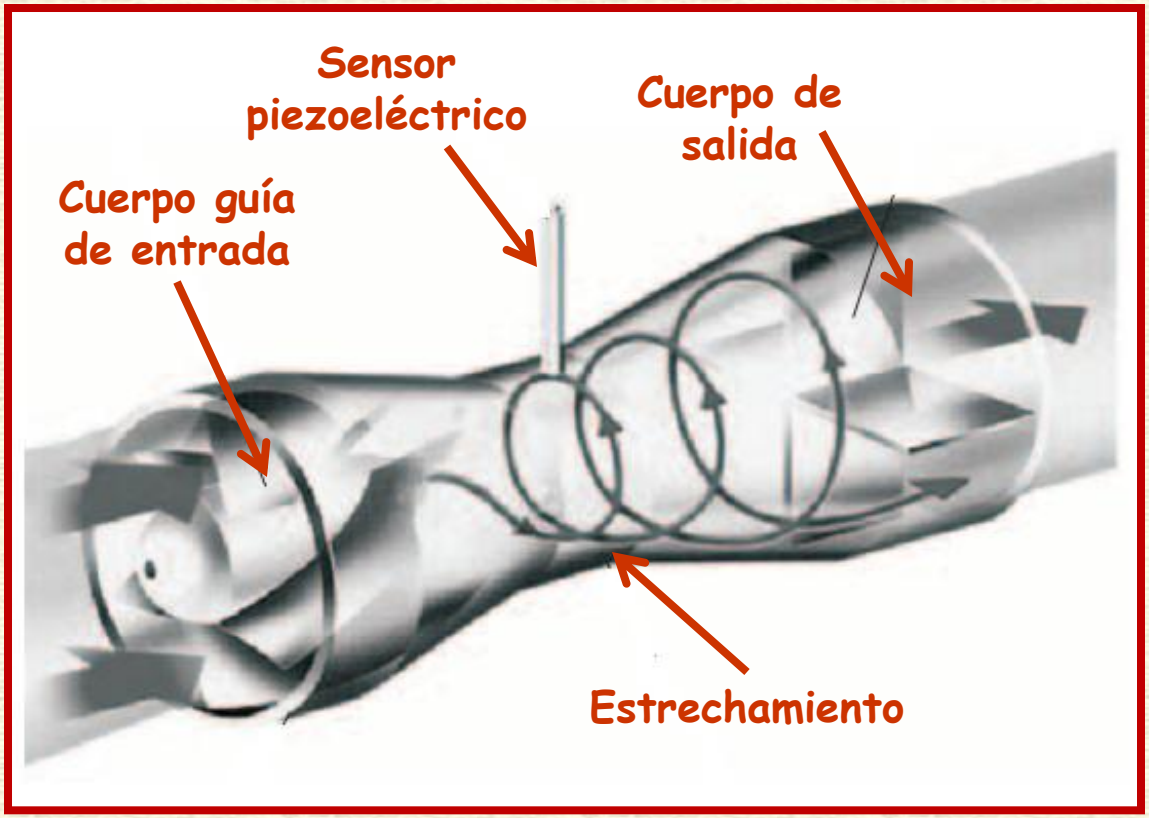
Presenta **Turndown alto** (12:1 o más) y una exactitud típica de alrededor del **2 %**. Se usa con líquidos. Es muy **sensible a la distorsión del perfil de velocidades**.

No posee partes móviles. Es inmune a golpes y a vibraciones.

MEDIDORES OSCILATORIOS – De remolinos

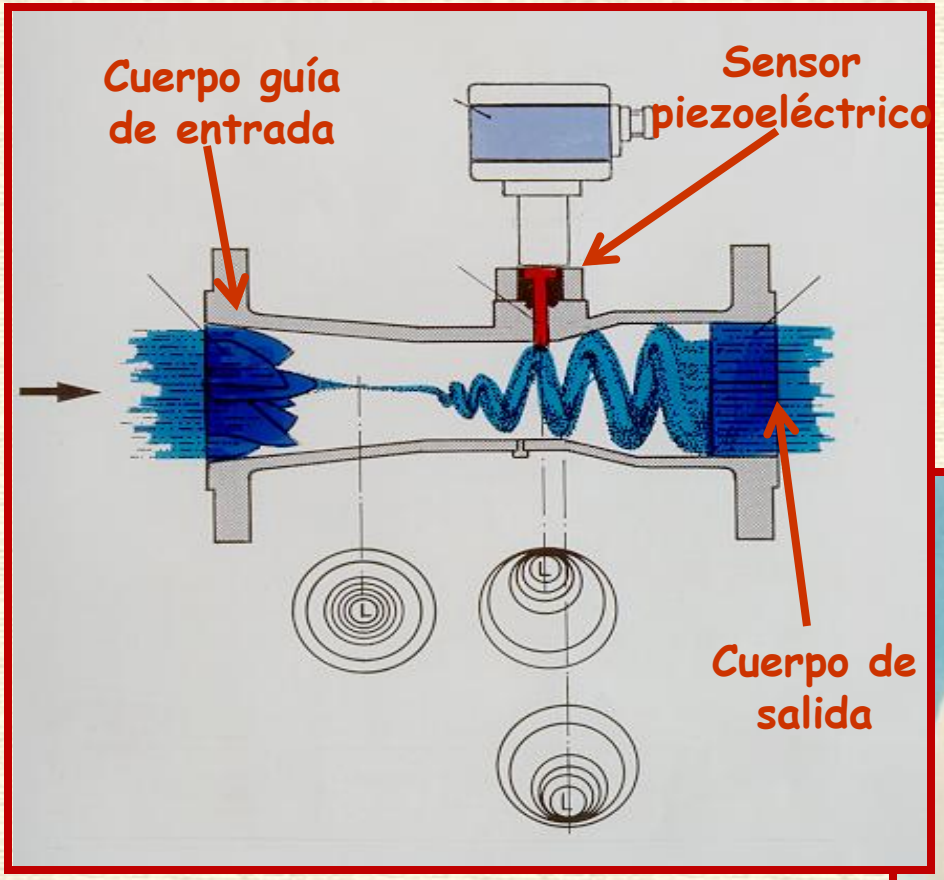
El cuerpo guía de entrada perturba la corriente de fluido que entra axialmente en el tubo de medida, poniéndola en movimiento de rotación.

En el centro de rotación se forma un núcleo de remolino que es forzado, por medio de una corriente inversa, a efectuar una rotación secundaria espiral.

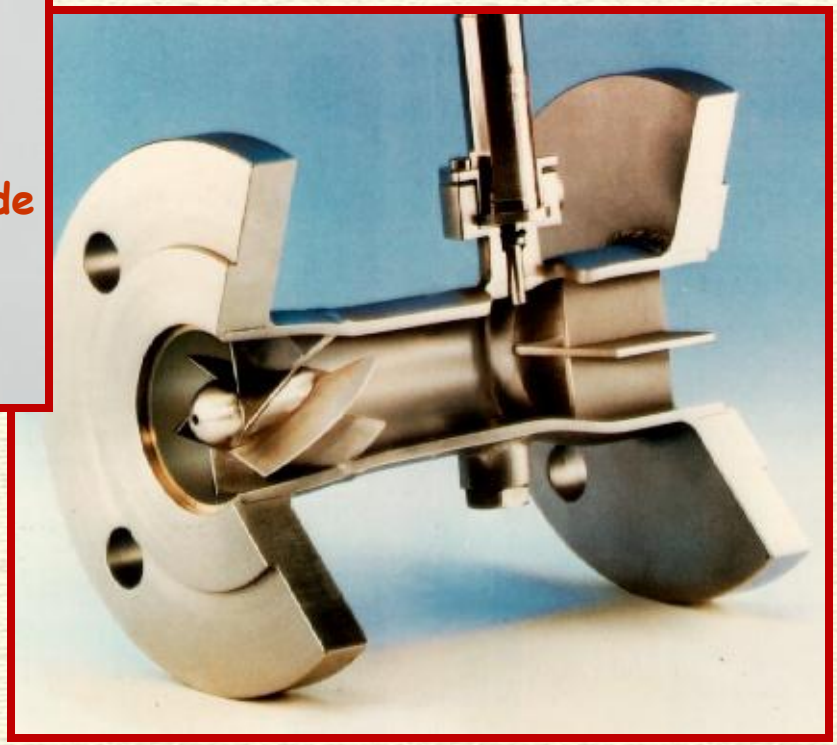


La frecuencia de la rotación secundaria es proporcional al caudal y permanece lineal dentro de un rango de medida muy amplio si el medidor dispone de una geometría interna optimizada. Esta frecuencia se registra mediante un sensor piezoeléctrico.

MEDIDORES OSCILATORIOS – De remolinos



La señal de frecuencia proporcional al caudal emitida por el sensor de caudal se transmite para su procesamiento ulterior al transmisor de medida.



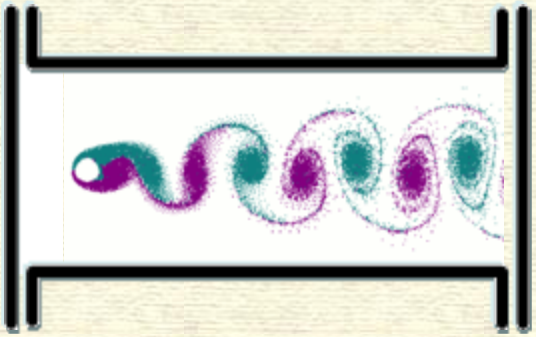
MEDIDORES OSCILATORIOS – De remolinos

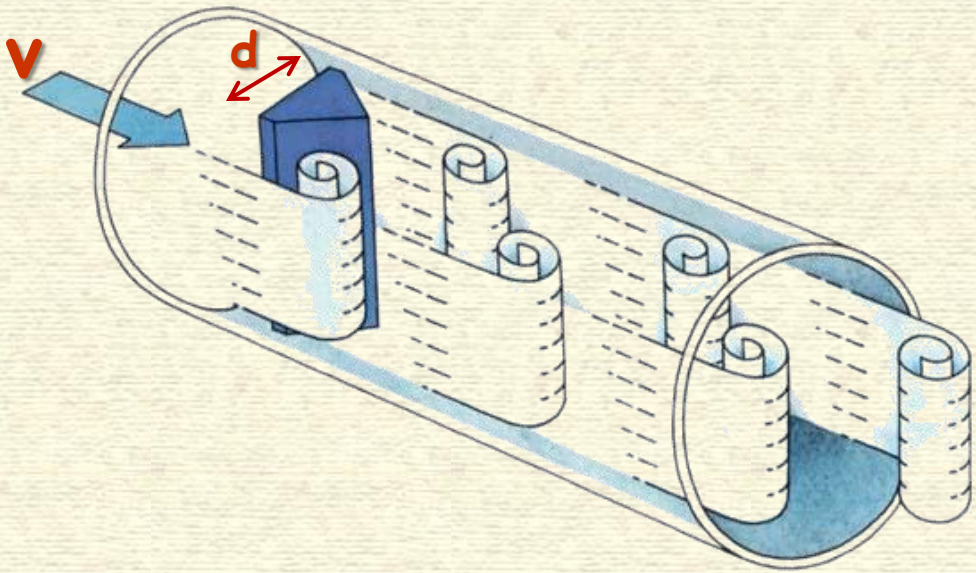
Características:

- Se usan con líquidos, gases y vapor de agua.
- Disponible con indicación local, switch o transmisión.
- Exactitud típica 0.50 % R
- Tamaños entre $\frac{3}{4}$ y 16 pulgadas
- Se requieren tramos de cañería recta aguas abajo.

MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)

Para Reynolds moderados y elevados, si el fluido pasa por un obstáculo, produce **remolinos** a su paso, alternativamente de un lado y del otro del obstáculo. La frecuencia con la que se producen estos torbellinos está relacionada con la velocidad del fluido (von Karman).

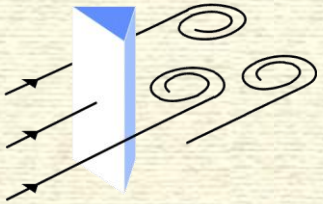




La frecuencia **f** del desprendimiento de torbellinos es proporcional a la velocidad de flujo **v** e inversamente proporcional al ancho del cuerpo perturbador **d**. El **Número de Strouhal** (adimensional) relaciona los parámetros:

$$NSt = \frac{f\,d}{v}$$

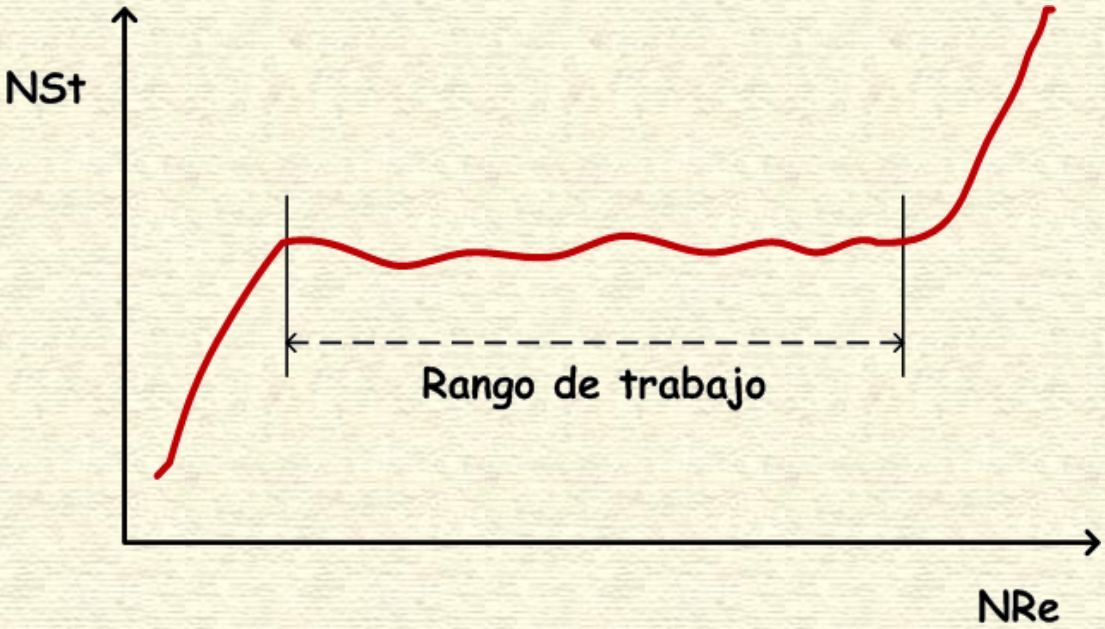
MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)

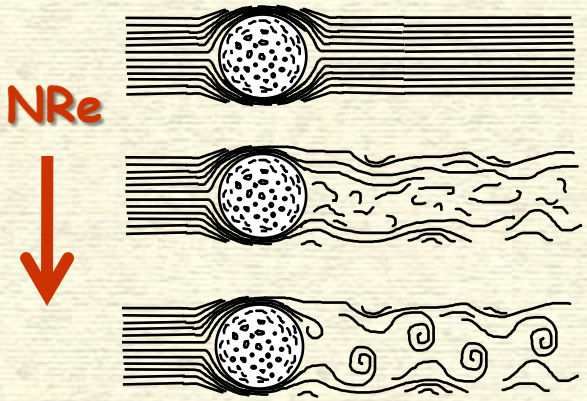


Para una geometría en condiciones dadas, existe una evidente **relación entre el Número de Strouhal y el de Reynolds**. El número de Strouhal es constante para números de Reynolds comprendidos entre aproximadamente 1000 y 100.000, que será el rango de trabajo del instrumento. En ese rango, el caudal volumétrico resultará proporcional a la frecuencia de producción de vórtices.

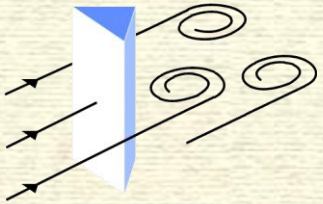
$$Q = K\,f$$

El coeficiente **K** se determina por calibración.

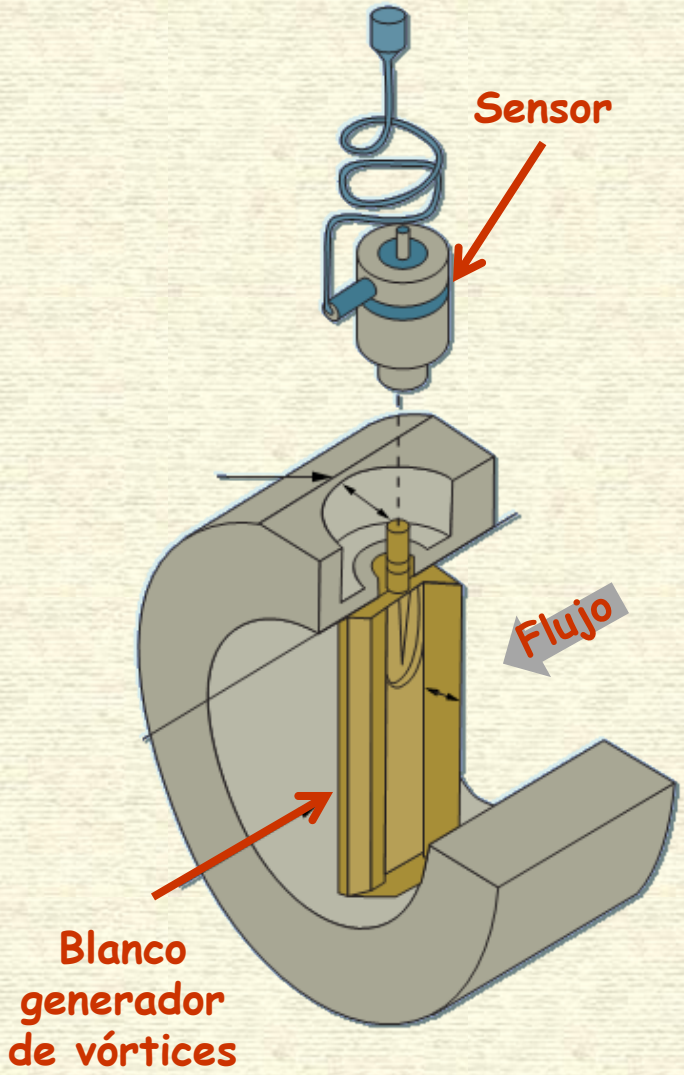


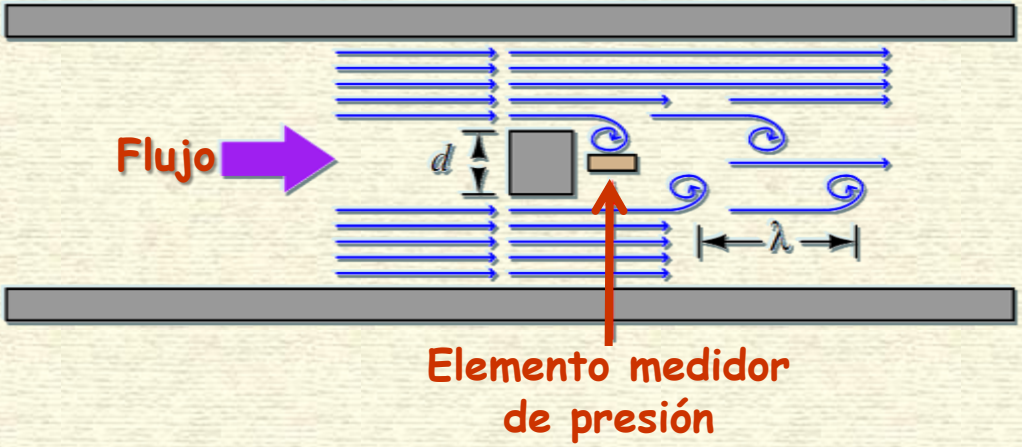


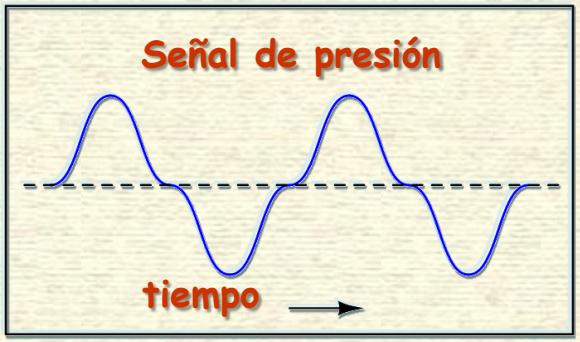
MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)



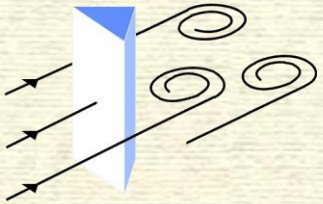
La detección de la frecuencia se realiza mediante **sensores de presión piezométricos** que detectan los picos de presión creados por el torbellino.

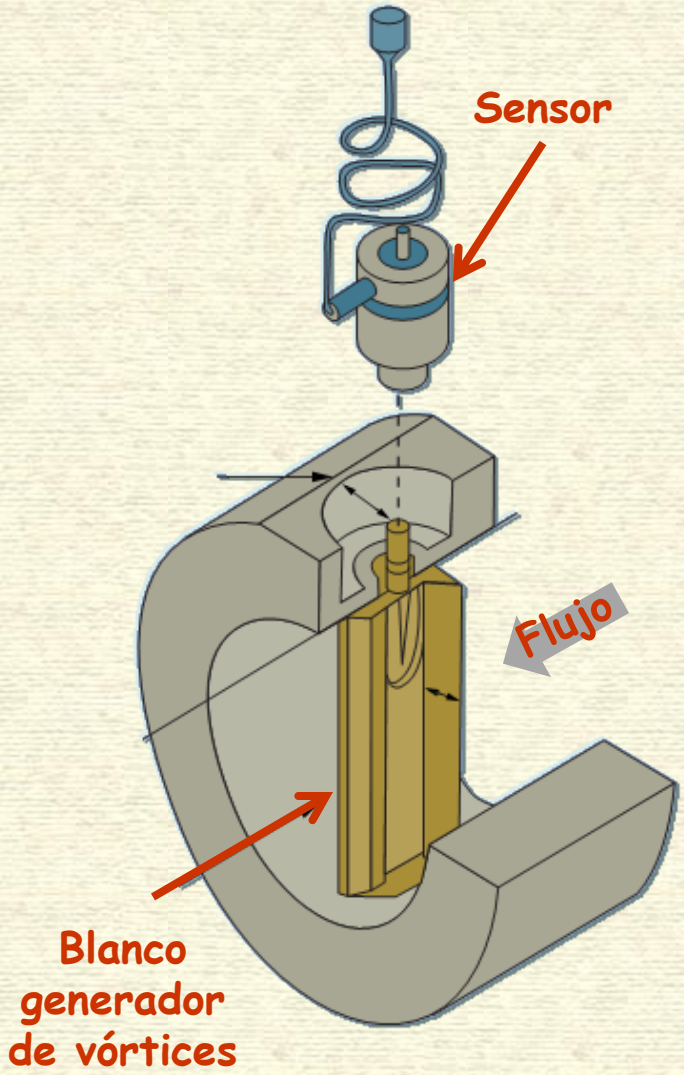






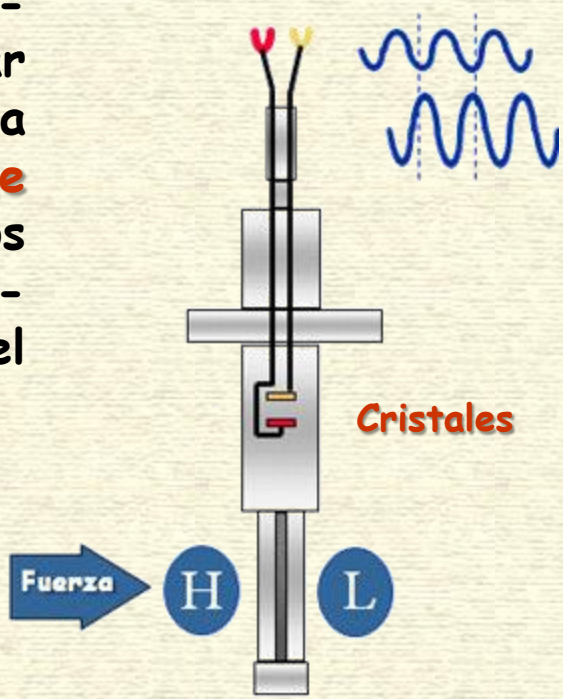
MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)



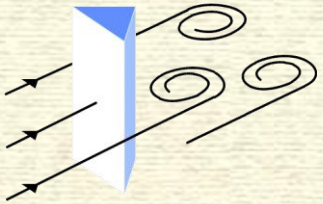


Algunos usan resistencias de baja inercia térmica que aprovechan el **efecto refrigerante** del aumento de la velocidad de los **torbellino en la región de cola**.

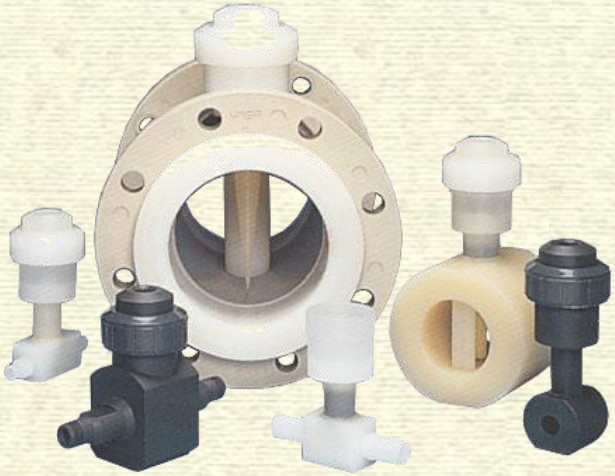
Una tecnología alternativa consiste en aprovechar la variación en la **fuerza de empuje** creada por los remolinos al desprenderse del blanco de impacto



MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)

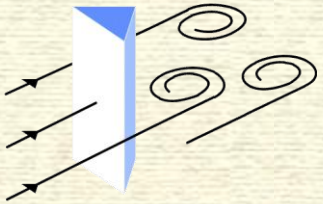


- Se usan para líquidos, gases y vapor de agua. No deben tener material abrasivo.
- Disponibles para cañerías de 1" a 12".
- Temperaturas de trabajo hasta 450 °C.
- No posee partes móviles. Inmune a cambios de viscosidad y densidad.
- El transmisor y componentes electrónicos se montan sobre el sensor o en forma remota.

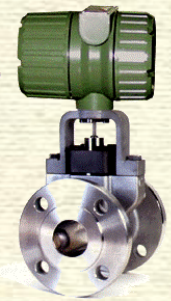


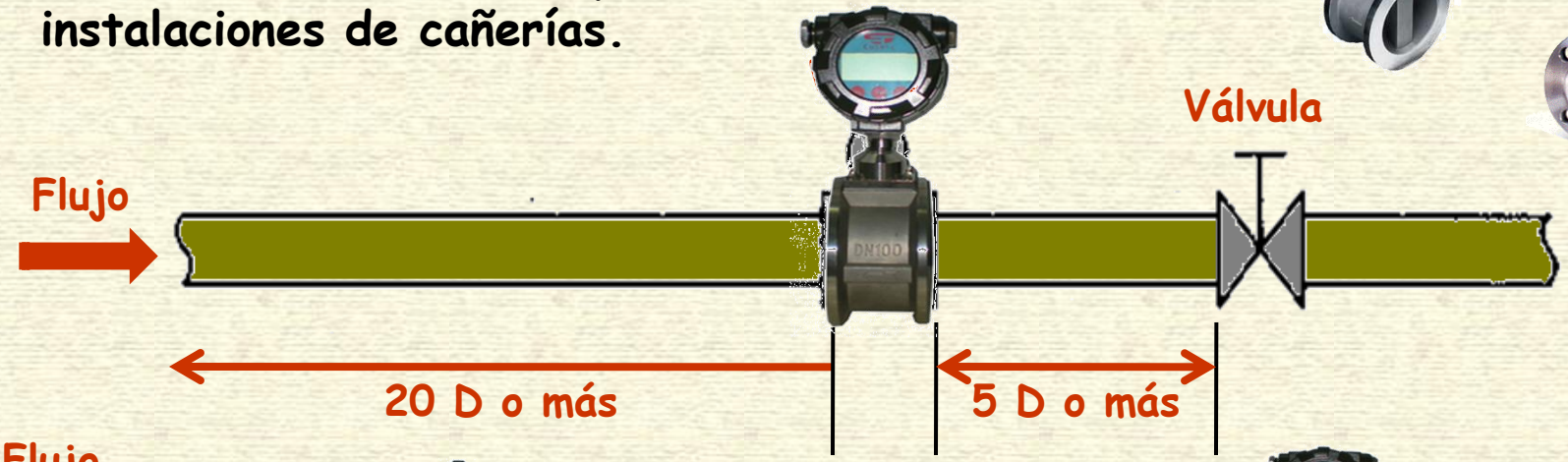
- Exactitud 0.7 % R para líquidos y vapor 1.0 % R para gases y vapor. Alta linealidad.
- Turndown entre 15:1 y 25:1
- Susceptible a vibraciones. Operan con bajo consumo de energía y requieren de poco mantenimiento.

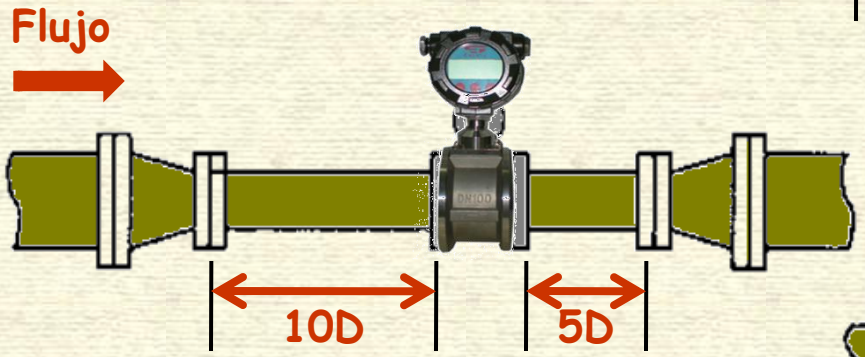
MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)



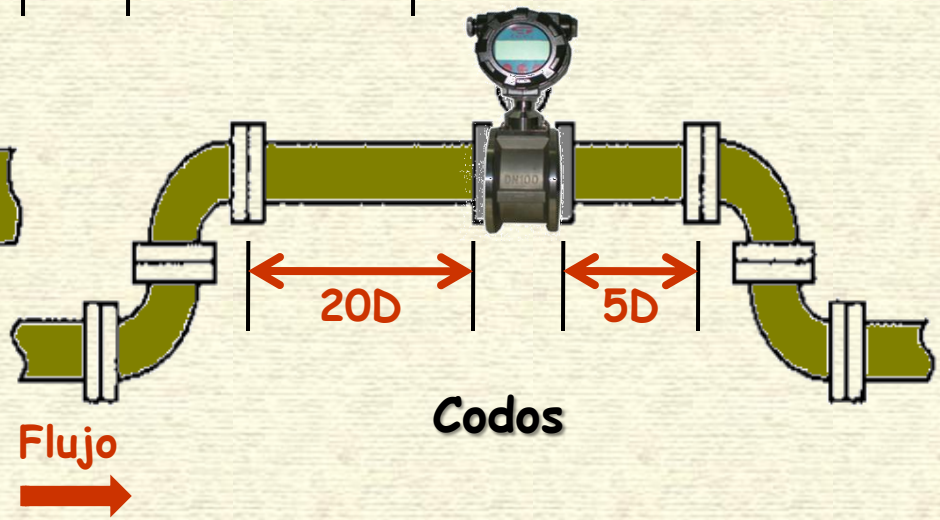
El **perfil de velocidades** afecta seriamente el comportamiento del caudalímetro. Por eso existen restricciones importante en cuanto a las instalaciones de cañerías.





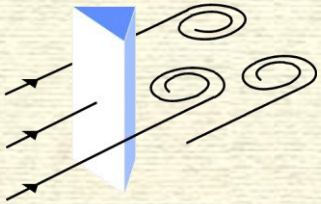


Reducción

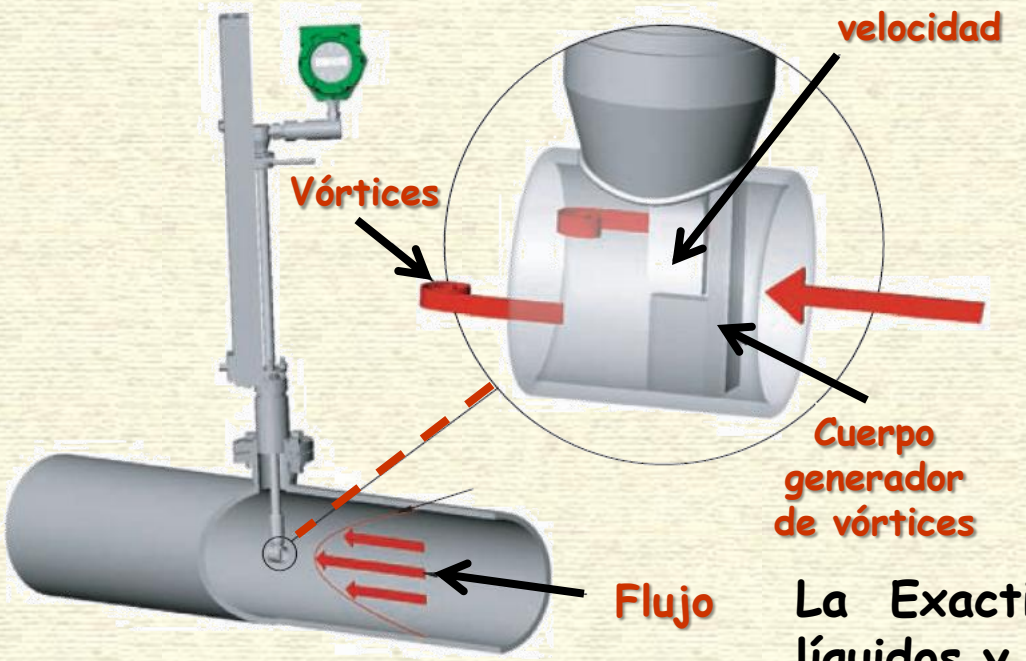


Codos

MEDIDORES OSCILATORIOS
De desprendimiento de vórtices (Vortex)



Un caudalímetro de inserción consiste en generar los remolinos y detectar su frecuencia con un dispositivo que se inserta en una cañería. Se logra así una mayor versatilidad (se puede instalar en distintos puntos y en cañerías de diversos tamaños, 3 a -80"). Se puede lograr así un ahorro importante, sobre todo en cañerías gran porte.



La Exactitud es de 1 % R para líquidos y vapor 1.5 % R para gases y vapor. Turn-down entre 15:1 y 20:1.