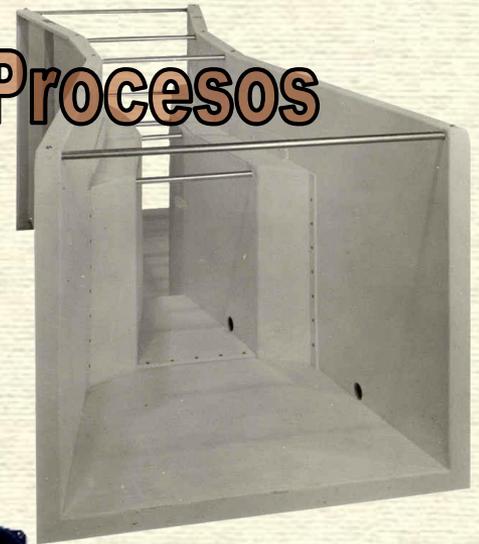


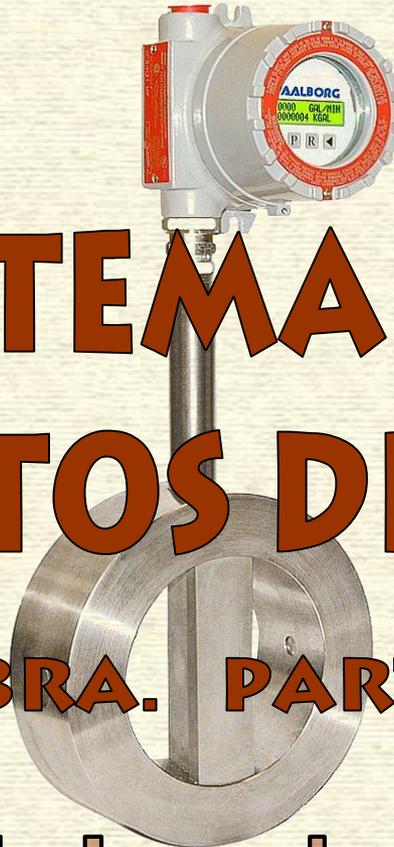
Instrumentación Industrial de Procesos



TEMA 5

ELEMENTOS DE CAUDAL

3RA. 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, 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**

• Ultrasonicos

• Másicos directos e indirectos

• Térmicos

• Otros para fluidos en ductos cerrados

• De canal abierto

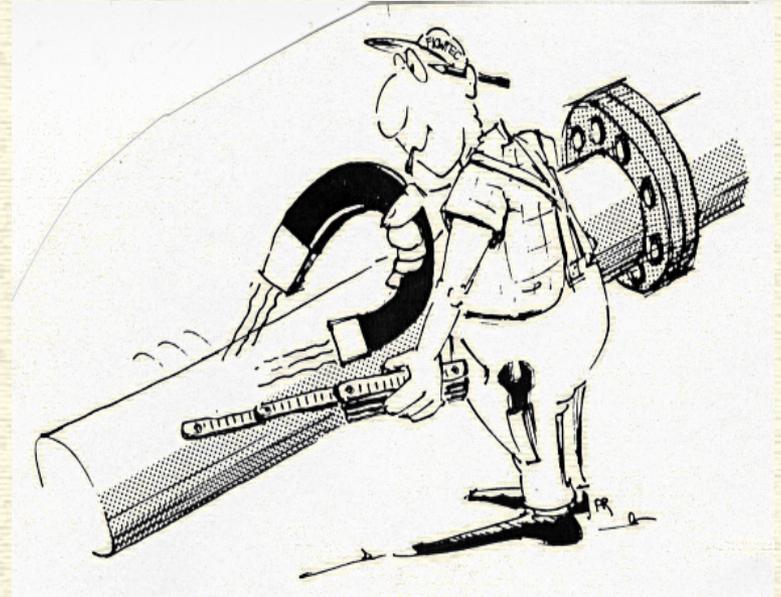
• Para sólidos



CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Los **medidores electromagnéticos** están restringidos a ser utilizados con fluidos conductivos. Son ampliamente usados en la medición de caudal de líquidos.

Llegan a tener un intervalo de medición (turndown) muy amplio (hasta 100:1).



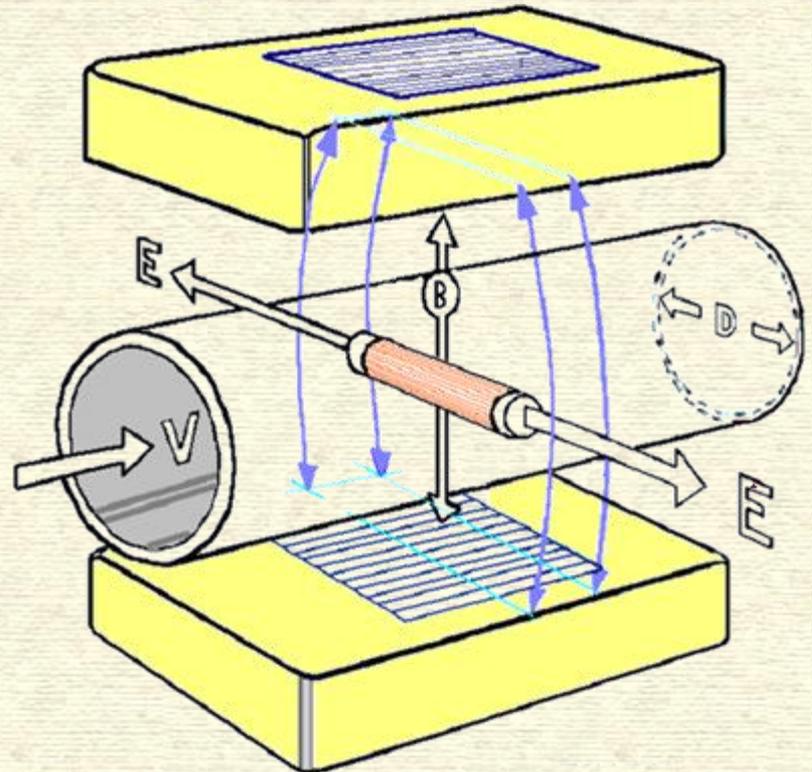
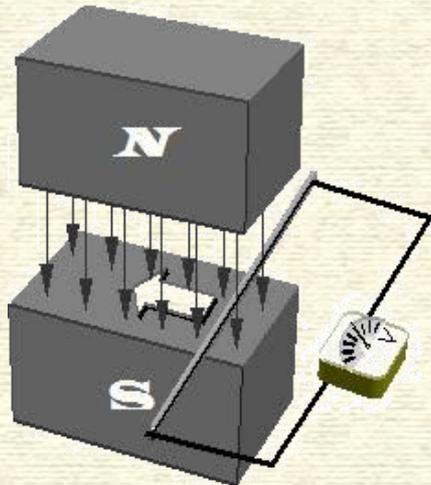
No presentan cambios significativos por el uso (**deriva baja**), por lo que son una opción muy difundida en los sistemas de distribución de agua.

Típicamente estos medidores **no se ven afectados** apreciablemente por las distorsiones del perfil de velocidades.

CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

La **ley de Faraday** establece que, la Fuerza Electromotriz (ϵ) inducida a través de un conductor al moverse en dirección perpendicular a un campo magnético resulta proporcional a Inducción Magnética (B), a la velocidad con la que se mueve (v) y a su longitud (D).

$$\epsilon = K B D v$$



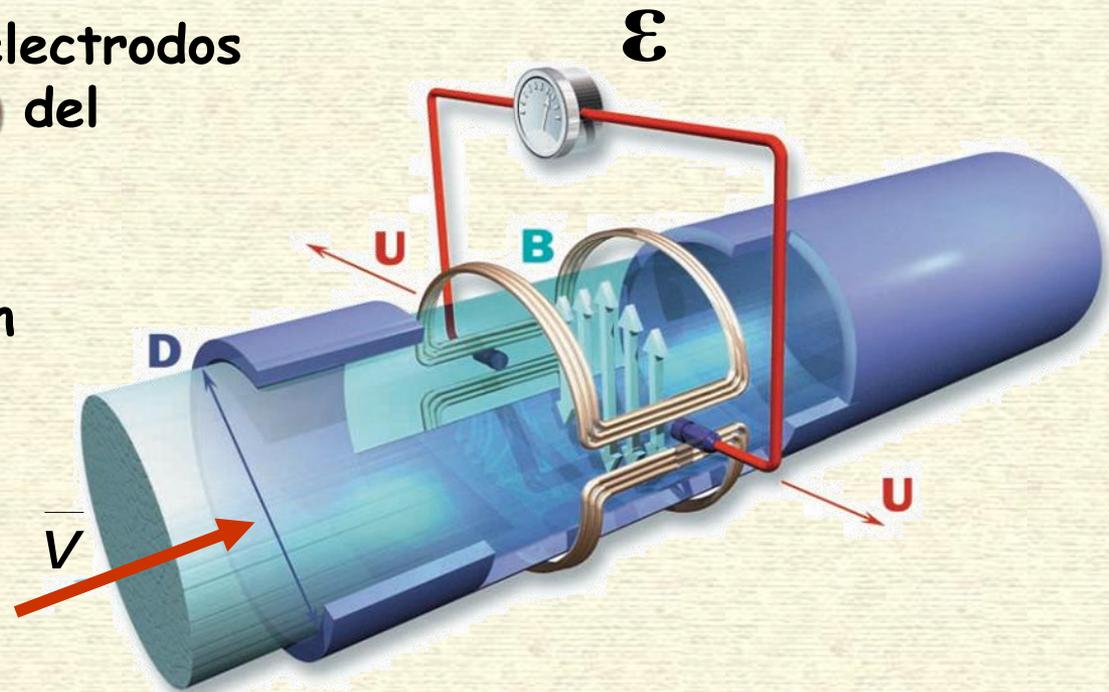
CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

La ley de Faraday de inducción es la base de la medición de los caudalímetros electromagnéticos. En este caso el conductor que se mueve (con cargas asociadas a sus iones) es la porción de fluido que pasa a través de los electrodos en los que se induce la f.e.m. que es **proporcional a la velocidad media**.

$$\varepsilon = K B D \bar{v}$$

La distancia entre los electrodos es igual al diámetro (**D**) del caudalímetro.

La velocidad comprende el área de la conducción por lo que ésta es una **velocidad media** independiente del perfil de velocidades y el régimen de flujo.



CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Requerimiento de la instalación

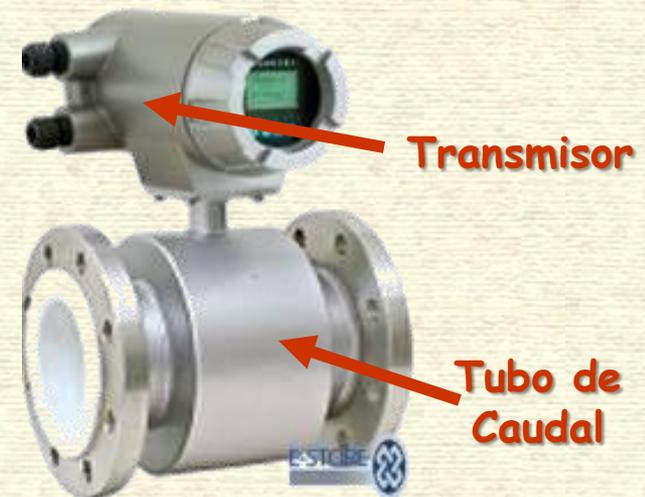
El medidor consta de:

Tubo de Caudal

El propio tubo (de material no magnético) recubierto de material no conductor (para no cortocircuitar la tensión inducida), con las bobinas generadoras del campo magnético y los electrodos detectores del voltaje inducido en el fluido.

Transmisor

Sistema que alimenta eléctricamente (C.A. o C.C.) a las bobinas y elimina el ruido del voltaje inducido. Además convierte la señal (mV) en otra estandarizada para equipos de indicación y control (mA, frecuencia, digitales)

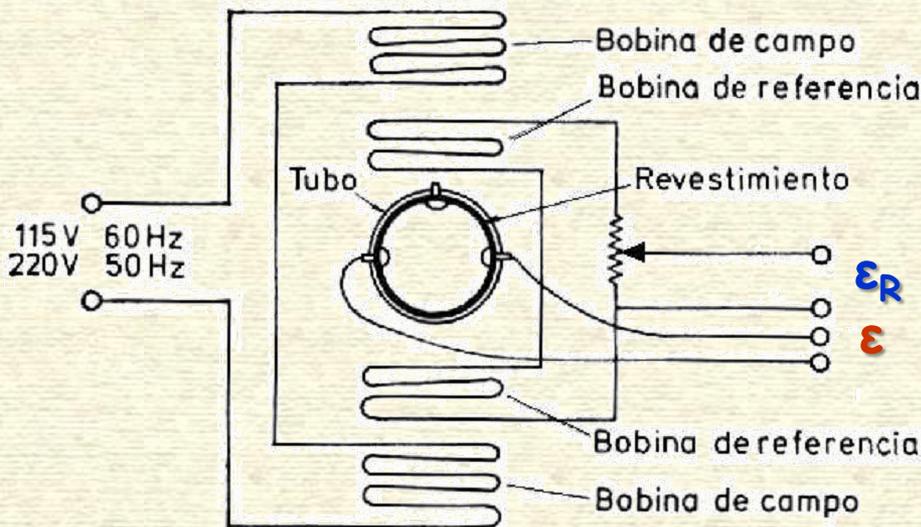


CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

$$\varepsilon = K B D \bar{v}$$

La señal de salida ε depende de la velocidad del fluido y de la densidad del campo magnético B , la cual a su vez está influida por la tensión de la línea y por la temperatura del fluido.

Para eliminar la influencia de estos tres factores, la señal de tensión del medidor se compara en el receptor con una tensión de referencia ε_R . Como las dos señales derivan a la vez del campo magnético B , la tensión de la línea y **las variaciones de temperatura y de conductividad del líquido no influyen en la precisión de la medida.**



La señal de referencia ε_R se toma de un arrollamiento colocado en los bobinados del campo que generan el flujo magnético. Se usan fuentes de corriente alterna o continuas

CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS



La conductividad del fluido es la única característica propia del líquido que puede limitar el empleo del medidor magnético.

Los sistemas electrónicos requieren una conductividad superior a **5 $\mu\text{S/cm}$** .

Algunos dispositivos especiales permiten trabajar con una conductividad mínima de **0,3 $\mu\text{S/cm}$** .



CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

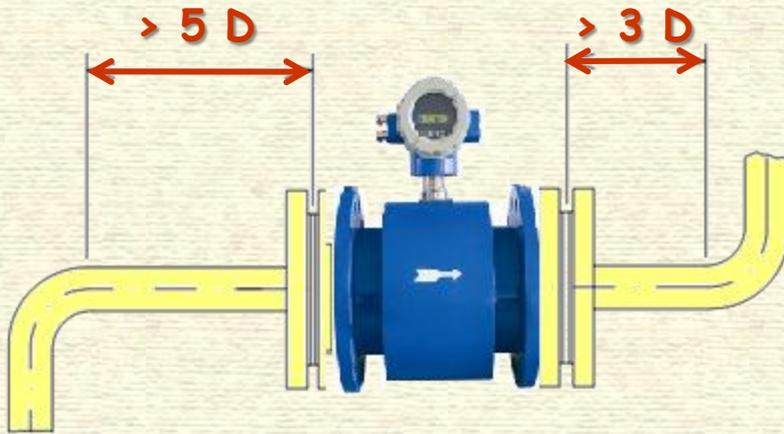
Los medidores magnéticos del caudal son adecuados para la medida de caudales de líquidos conductores en particular los **líquidos fangosos y fluidos corrosivos**.



Pueden medir caudales del fluido en ambos sentidos en la cañería. Además este medidor es **no invasivo** pues no tiene elementos que obstruyan el paso del fluido.

CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

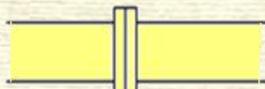
Requerimiento de la instalación



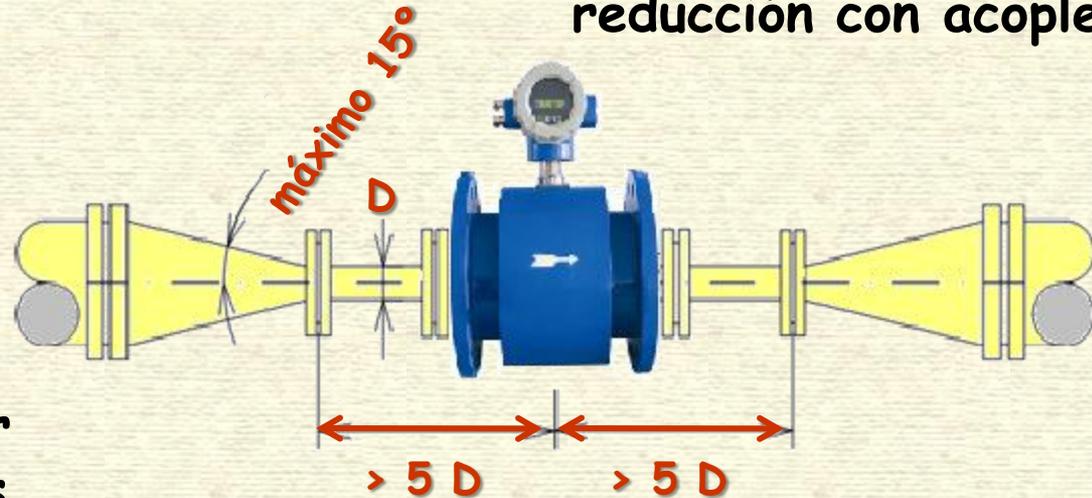
Tramos rectos de cañería



Adaptador de reducción



Se deben evitar derramamientos



Adaptador de reducción con acople

CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Pérdida de carga baja

Medición bidireccional

No posee partes móviles (bajo mantenimiento)

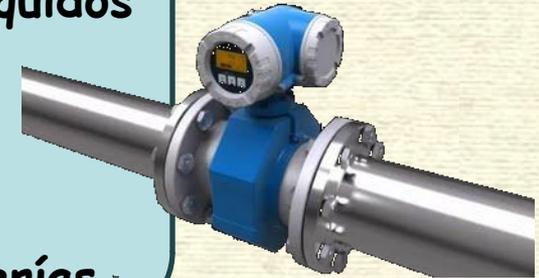
No se necesita filtro (se puede usar con líquidos sucios)

Gran exactitud (típicamente 0,2% a 0,4% R)

Gran variedad de tamaños: 2 plg hasta 20 plg

Bajos requerimientos de tramos rectos de cañerías

VENTAJAS



Se necesita cortar la tubería para su instalación

Inversión inicial grande

Se requieren de muchos tamaños diferentes para las diferentes aplicaciones (stocks caro)

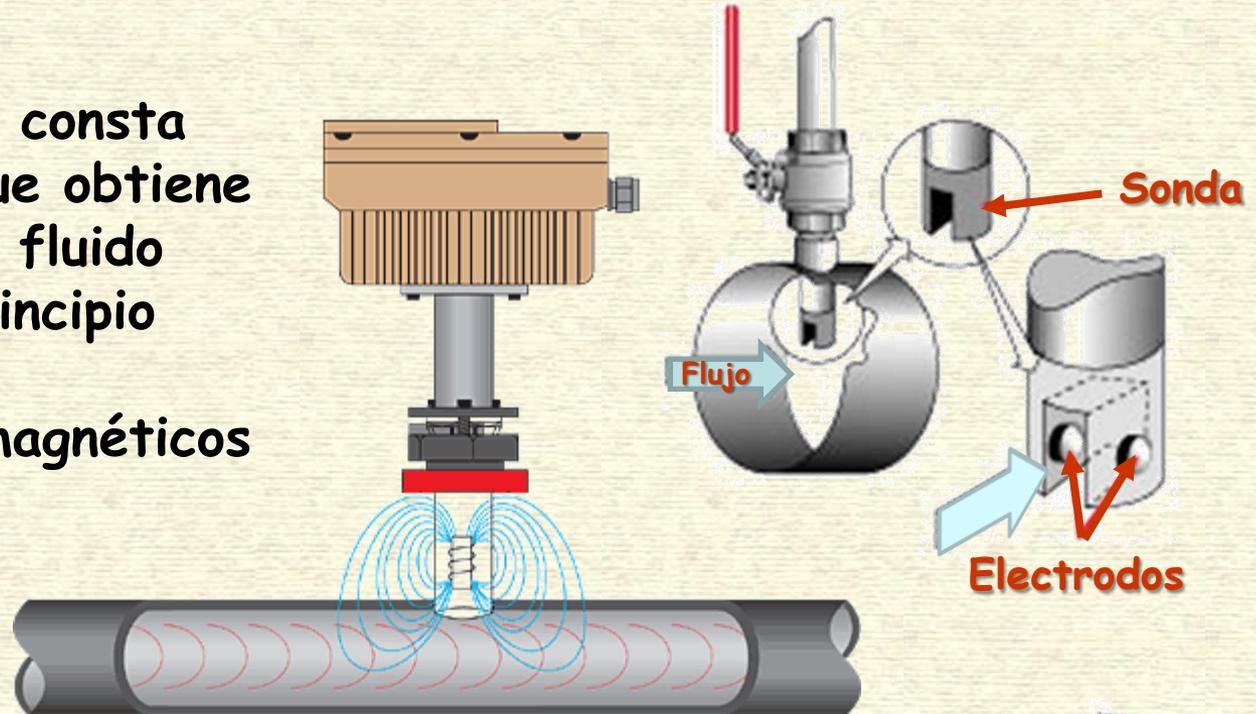
DESVENTAJAS

CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Dispositivos de Inserción

Este dispositivo consta de una **sonda** que obtiene la velocidad del fluido por el mismo principio físico que los caudalímetros magnéticos comunes.

La sonda incorpora bobinas que generan un campo magnético y los electrodos se hayan en la misma sonda.



Están especialmente pensados para **cañerías de gran diámetro** (hasta 2000 mm y algunos modelos especiales aún más).



CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Dispositivos de Inserción

Permite instalar el elemento de medición sin cortar la cañería y aún sin interrupción del flujo mediante el sistema hot taps. Se puede incluso fijar la profundidad de inserción.



La **exactitud** es menor, **2 a 3 % R** por que el medidor infiere una velocidad puntual. Las limitaciones de la instalación (tamos de cañería recta) son mayores. Se ven más afectados por las condiciones de presión, temperatura. La conductividad mínima es de **20 $\mu\text{S}/\text{cm}$** .

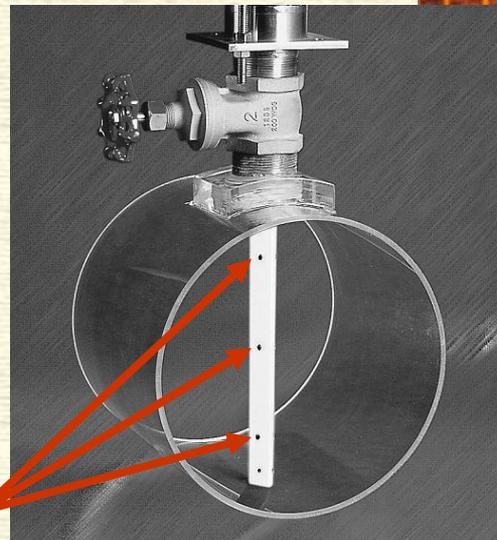
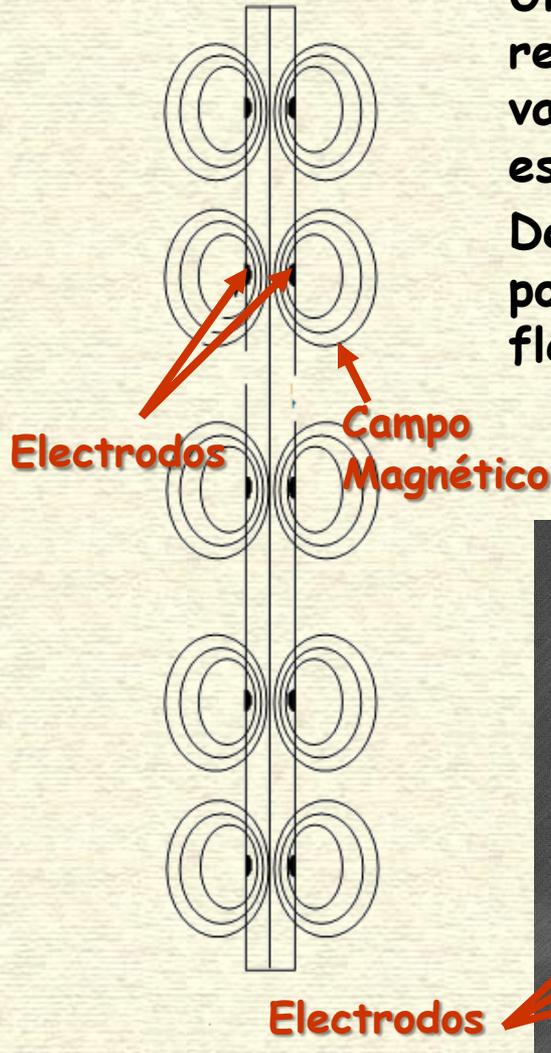


CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Dispositivos de Inserción Promediante

Una modificación para ganar en precisión y reangeabilidad, consiste en usar un dispositivo con varios electrodos ubicados para promediar la estimación de la velocidad del fluido.

De esta forma se hace coincidir las características positivas del sensor electromagnético común con la flexibilidad del elemento de inserción.



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



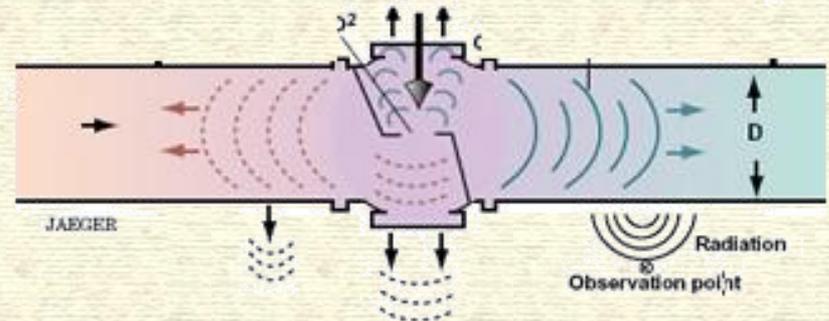
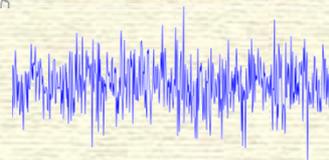
CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Los Medidores ultrasónicos, con variadas formas, han tenido un rápido desarrollo. Actualmente se utiliza para cuestiones de fiscalización, transferencia de custodia o para monitorear caudales de distintas cañerías.

Los medidores ultrasónicos "clamp-on" proporcionan una medición no invasiva, con su con una exactitud moderada.



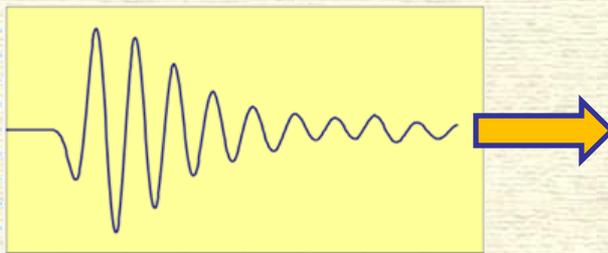
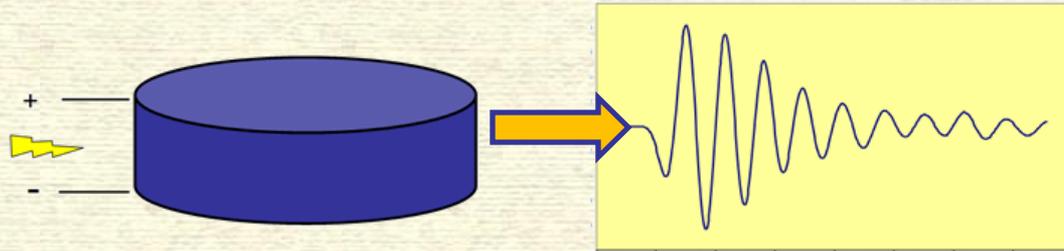
Por su principio de operación, estos medidores pueden ser afectados por **ruido acústico** generados por válvulas o tuberías.



CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

La medición del caudal se realiza por medio de una onda sonora ultrasónica que se propaga a través del fluido. Constan básicamente de **dos transductores piezoeléctricos**, uno actúa como **emisor** y otro como **receptor** de la onda sonora.

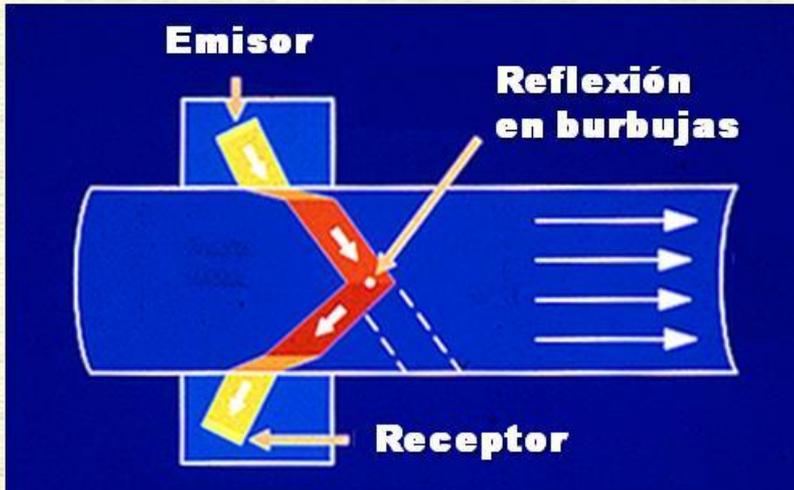
EMISOR
Un cristal, usando tensión eléctrica, produce ultrasonido (0.5 a 2 MHz)



RECEPTOR
El ultrasonido hace vibrar un cristal, generando una tensión eléctrica (señal de salida)

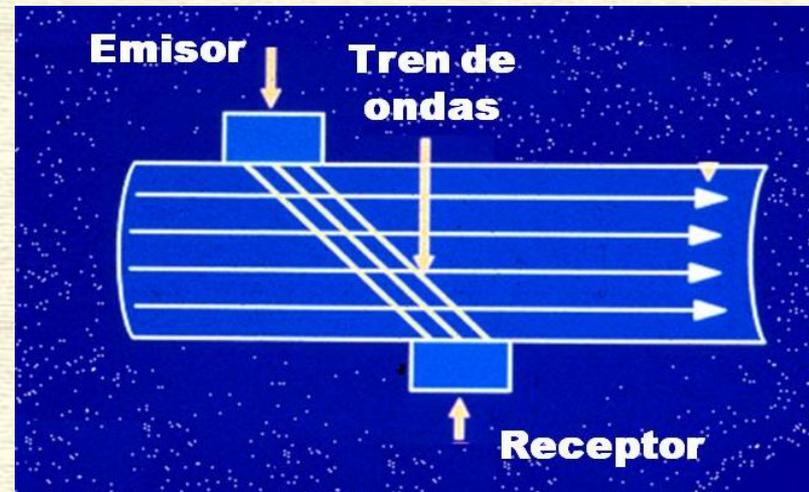
CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Dos son los **principios** que se emplean para medir caudal.



**Caudalímetros
basados en el
efecto Doppler**

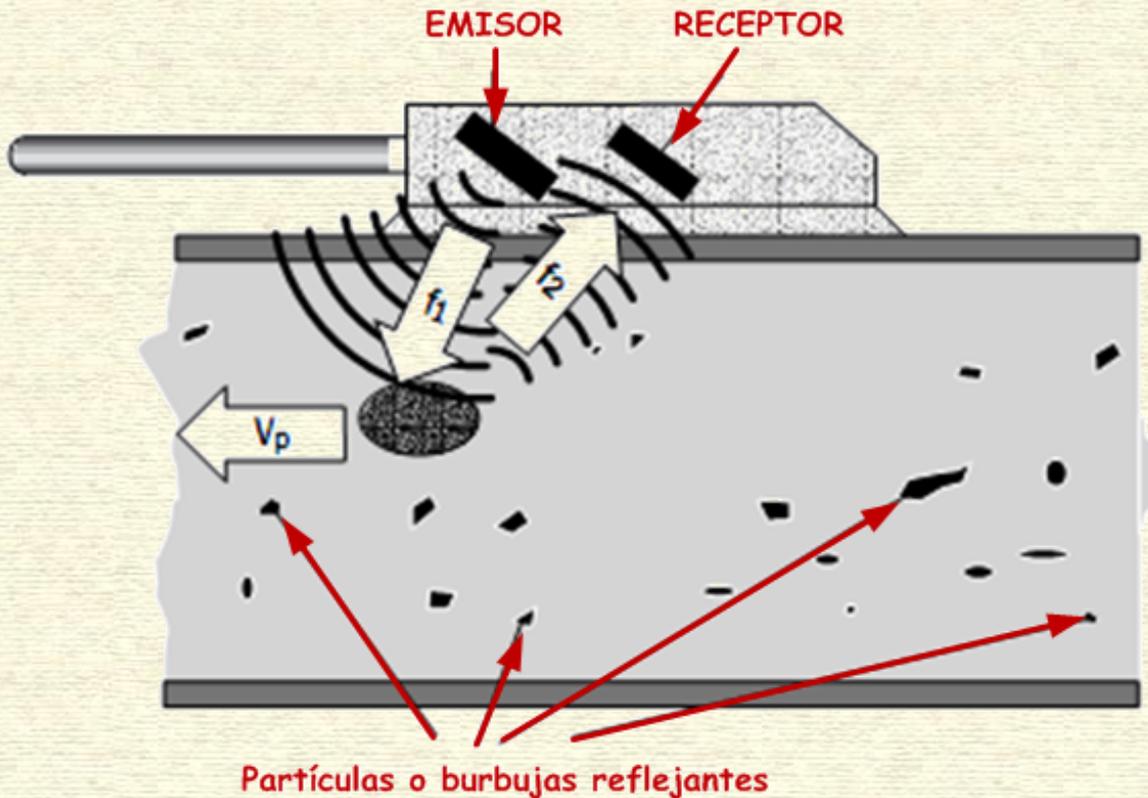
**Caudalímetros
que miden
tiempo de tránsito**



CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Basados en el efecto Doppler

La velocidad del fluido se determina midiendo el **corrimiento de frecuencia que experimenta la señal de retorno (eco)** al reflejarse en partículas o burbujas contenidas en el fluido.



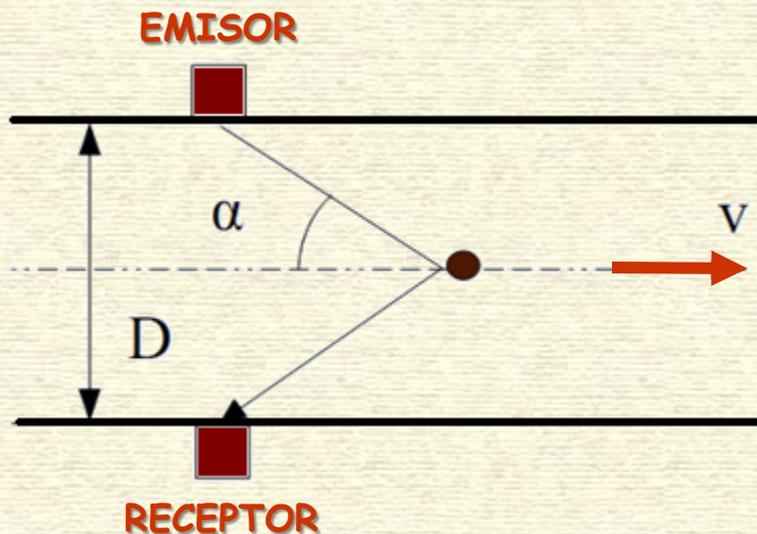
Está limitado a fluidos que contengan partículas sólidas o burbujas en suspensión.

Por eso pueden medirse algunos caudales de mezclas gas-líquido, fangos, etc.

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Basados en el efecto Doppler

Se emiten señales de ultrasonido de frecuencia **fija** y **definida** y se sensa por medio de un receptor las señales reflejadas (ecos) por las partículas o burbujas. Se comparan de frecuencias y el corrimiento es proporcional a la velocidad de movimiento de las partículas.



Longitud de Onda emitida $\lambda_1 = \frac{c}{f_1}$

Longitud de Onda que "ve" receptor $\lambda_2 = \frac{c - 2v \cos\alpha}{f_1}$

El corrimiento de frecuencias resulta:

$$f_1 - f_2 = \Delta f = \frac{2v f_1 \cos\alpha}{c}$$

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Basados en el efecto Doppler (Características)



Altamente dependiente de las características de las partículas en suspensión dentro del fluido (material, geometría, densidad).



La conductividad sónica (impedancia acústica) del fluido tiene influencia.



Influye el perfil del flujo (por ejemplo, zonas de mayor concentración turbulencias)



Sensible a cambios de presión y temperatura en el fluido.



Se aplica a fluidos en dónde otros caudalímetros fallan (fluidos con gran proporción de partículas en suspensión, líquidos mezclados con altas concentraciones de gases).



No produce obstrucción en el ducto (sin pérdida de carga)

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS Basados en el efecto Doppler

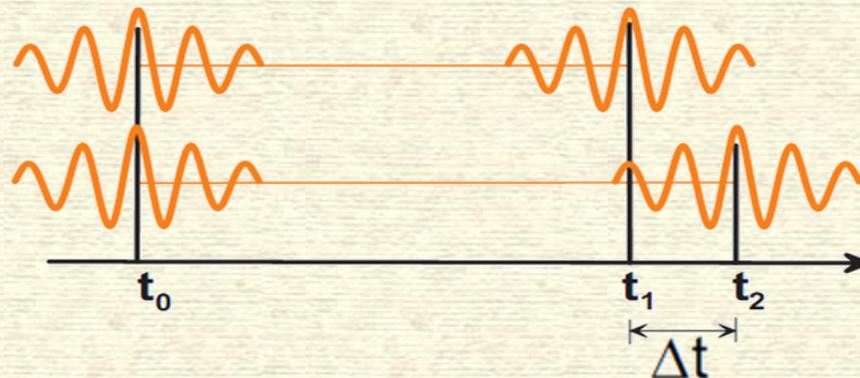
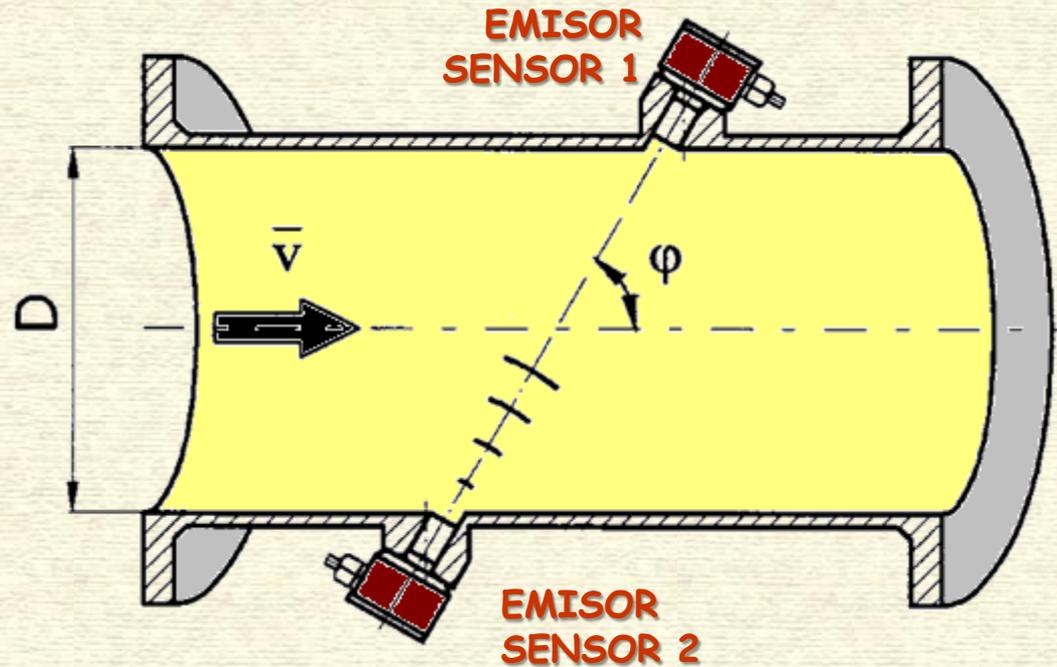


CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Medición de tiempo de tránsito

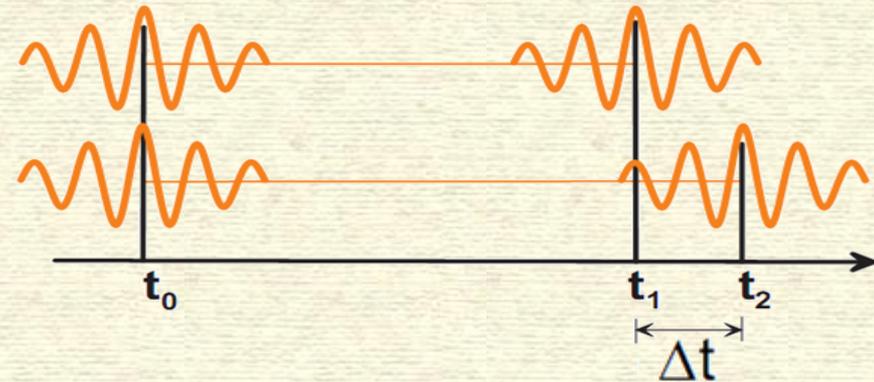
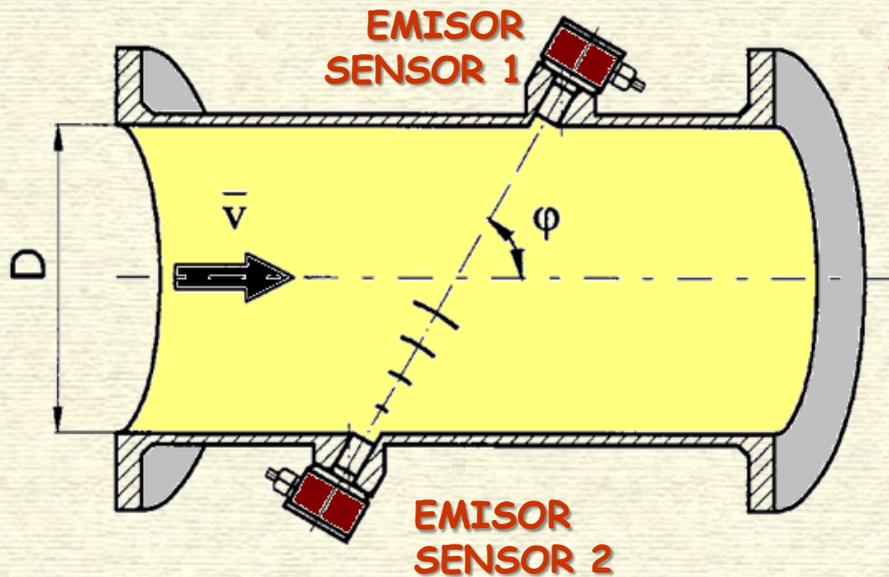
Cuando el fluido es limpio, se emiten pulsos ultrasónicos alternativamente en el sentido de flujo y en contra del sentido de flujo.

Se mide la diferencia del **tiempo de tránsito** de la onda en uno y otro sentido.



CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Medición de tiempo de tránsito



$$t_1 = \frac{D}{\text{sen } \alpha \left[+ v \cos \alpha \right]}$$

$$t_2 = \frac{D}{\text{sen } \alpha \left[- v \cos \alpha \right]}$$

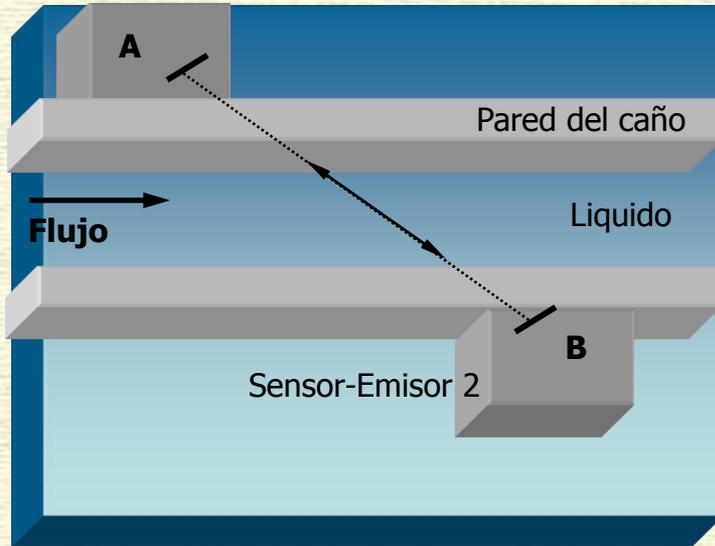
La velocidad media del fluido resulta proporcional a la diferencia de los dos tiempos de tránsito Δt

$$v = \frac{c^2 \text{ tga } \Delta t}{2 D}$$

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

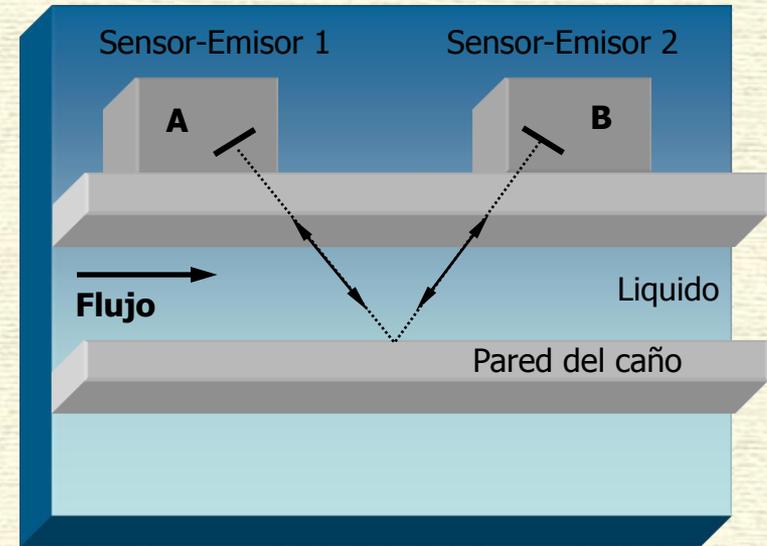
Medición de tiempo de tránsito - Montajes

Sensor-Emisor 1



Diagonal

Apto para caudales altos y aplicaciones con régimen turbulento

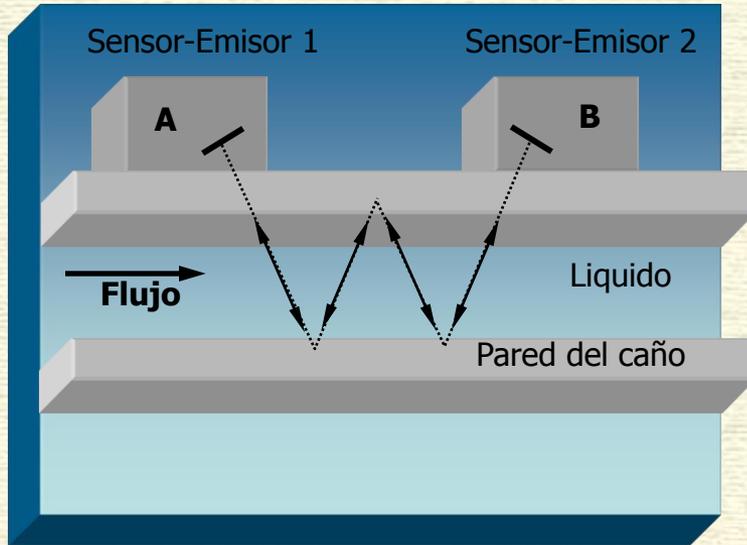


Reflex

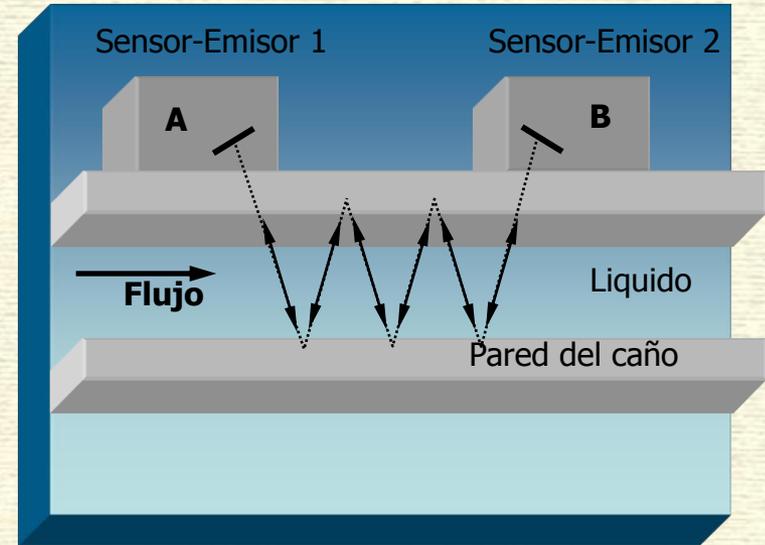
Fácil calibración.
Amplia gama de aplicaciones.

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Medición de tiempo de tránsito - Montajes



Doble Reflex

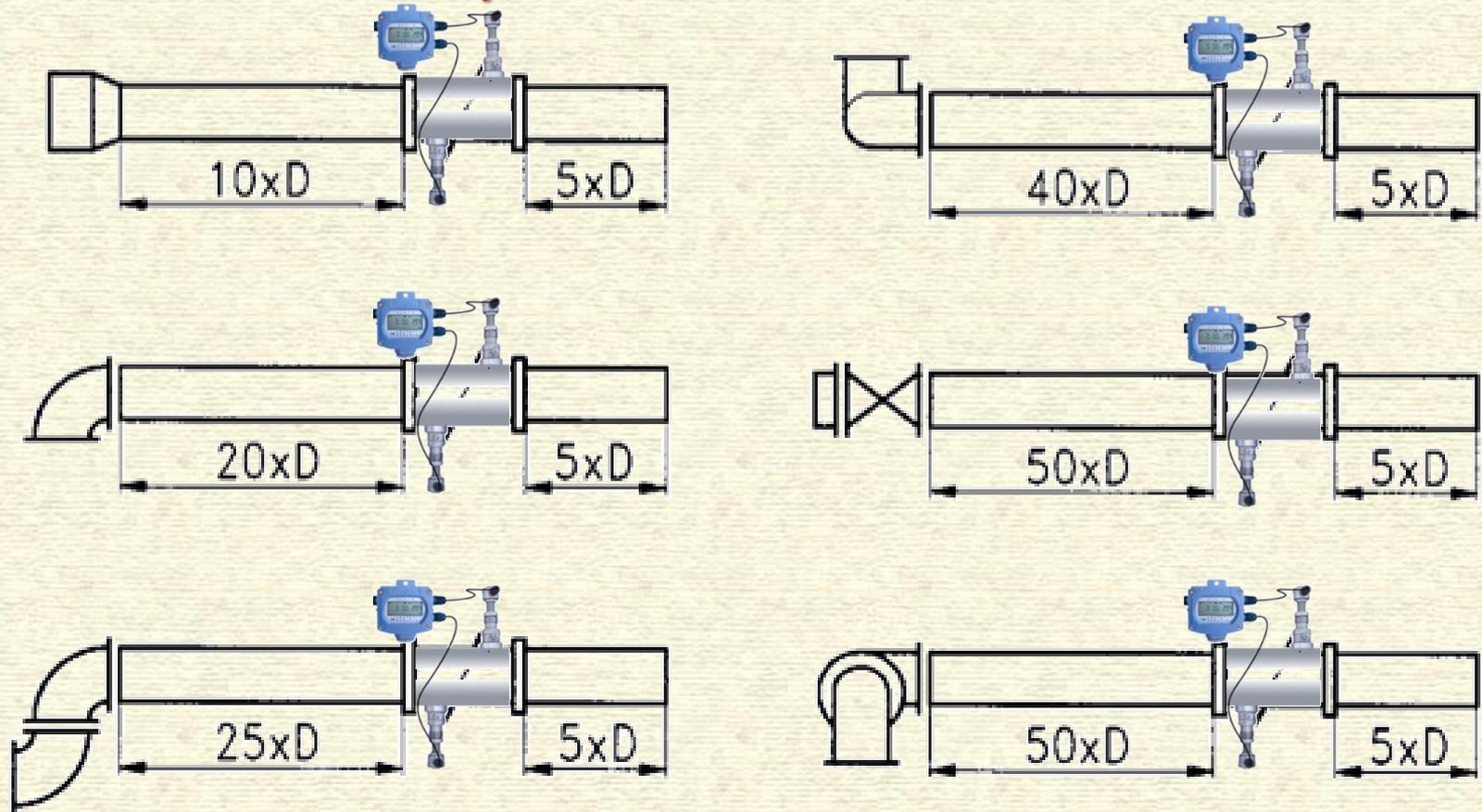


Triple Reflex

Se aplica a velocidades bajas de líquidos y para cañerías de diámetros reducidos.
Son relativamente más fáciles de calibrar

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Medición de tiempo de tránsito - Instalación

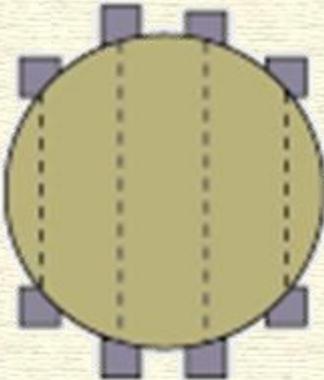


Las mayores restricciones se dan para el montaje en diagonal de emisor y sensor

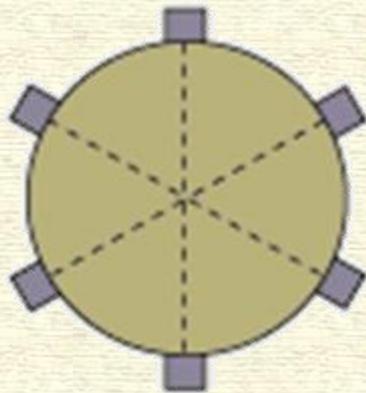
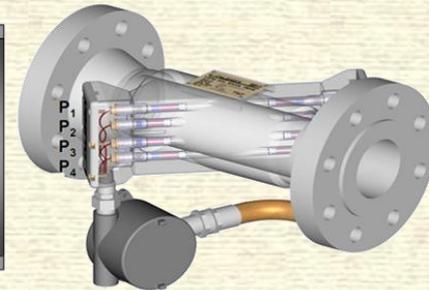
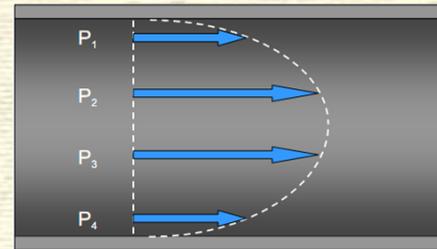
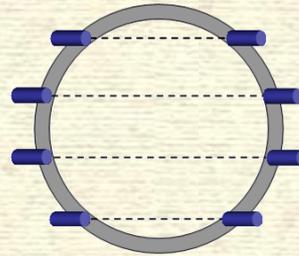
CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Medición de tiempo de tránsito - Montajes

Aumentando el número de pares de sensores-emisores se puede mejorar la rangeabilidad y precisión de los instrumentos.

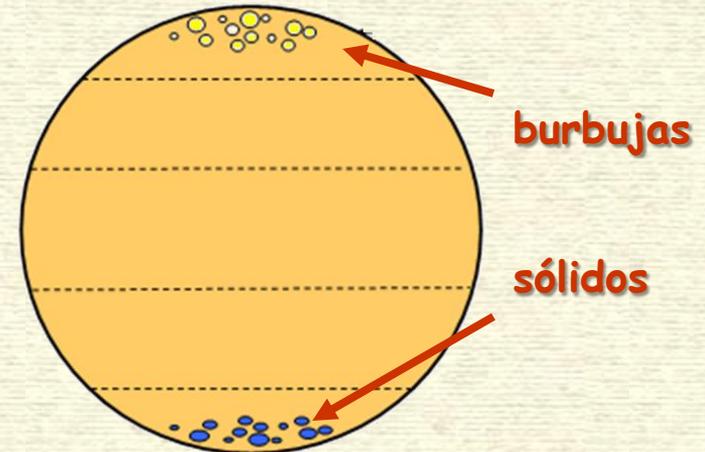


Cordal



Diagonal

En arreglo cordal del camino acústico evita interferencia de burbujas de gases (tope) o de partículas (fondo)



burbujas

sólidos

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Medición de tiempo de tránsito - Tipos

No Invasivos

Se montan sobre el exterior de la cañería ("clap on"), incluso pueden ser portátiles



Invasivos

Usan más de una vía acústica. Tienen mayor exactitud y se aplican incluso a gases.

CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Comparación de principios operativos

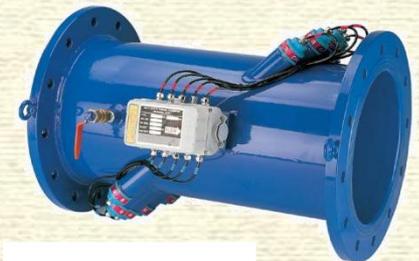
EFECTO DOPPLER

- El fluido debe contener partículas o burbujas
- Mide diferencia de frecuencia de ultrasonido
- Se aplica solo a líquidos
- Generalmente no invasivo



TIEMPO DE TRÁNSITO

- El fluido debe ser relativamente limpio
- Mide diferencia de tiempo de tránsito
- Se aplica a líquidos y gases
- Puede ser invasivo y no invasivo



CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

Modelos duales

Hay dispositivos que tienen la posibilidad de medir la velocidad del fluido por los dos principios y se conmuta a uno u otro automáticamente según se precise. A estos caudalímetros se los denomina **duales**.



CAUDALÍMETROS ULTRASÓNICOS

VENTAJAS

Pérdida de carga baja o nula

No posee partes móviles (bajo mantenimiento)

Se puede usar con líquidos sucios)

Gran exactitud para tiempo de tránsito (típicamente 0,4% a 0,9% Span)

Versatilidad para usar con distintos diámetros en sistema "camp-on" tramos rectos de cañerías

Relativamente económicos para grandes diámetros

Instalación no invasiva si se requiere.

DESVENTAJAS

Requiere régimen de flujo establecido.

Según el principio de funcionamiento, hay restricciones para el tipo de fluido



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



CAUDALÍMETROS MÁSICOS

Existen muchas aplicaciones en las que la medición de caudal volumétrico no es suficiente, fundamentalmente cuando las condiciones del fluido varían apreciablemente. Hay dos tipos de dispositivos:

SISTEMAS MULTIVARIABLES

Dispositivos que miden caudal volumétrico y también presión, temperatura y eventualmente densidad. La combinación se hace en la misma unidad o en una externa de cómputo de flujo másico

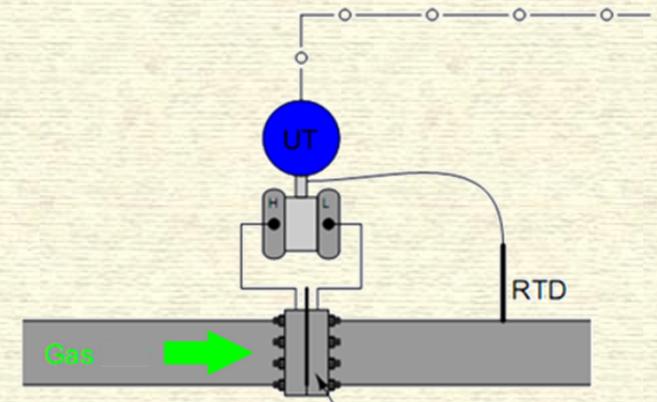
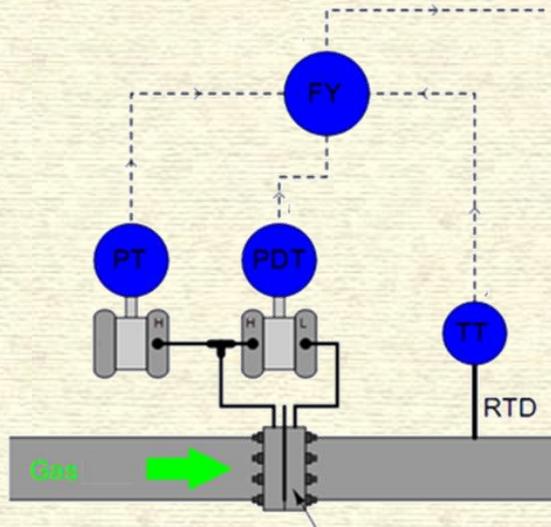


Caudalímetros que miden directamente caudal másico. A este tipo pertenecen los medidores tipo **Coriolis** **Térmicos** y de **Torsión**.

CAUDALÍMETROS MÁSICOS DIRECTOS

CAUDALÍMETRO MÁSIICO MULTIVARIABLE

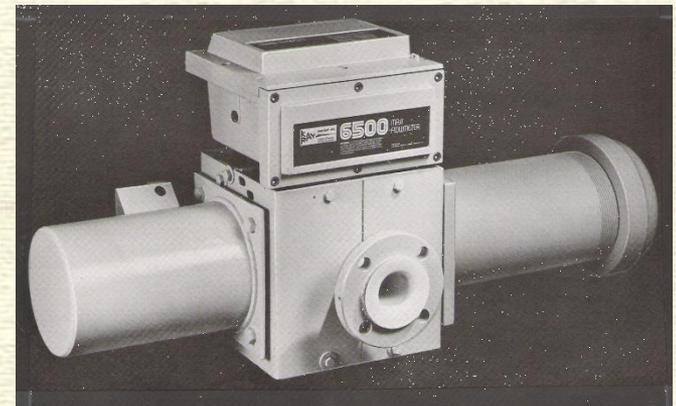
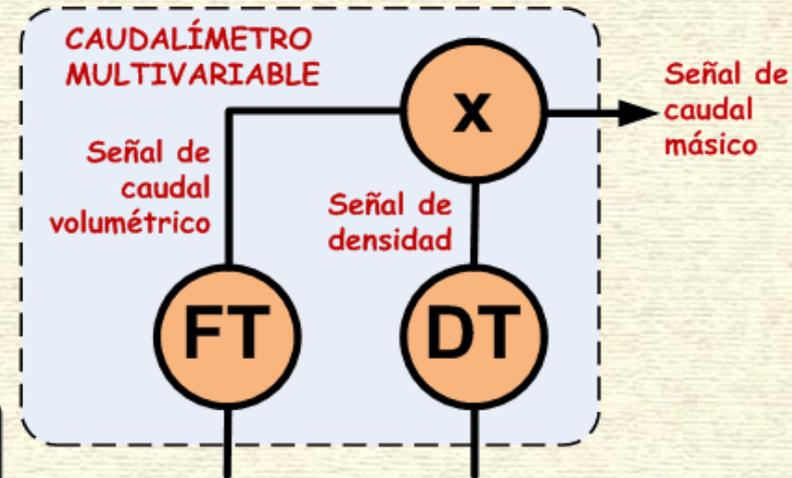
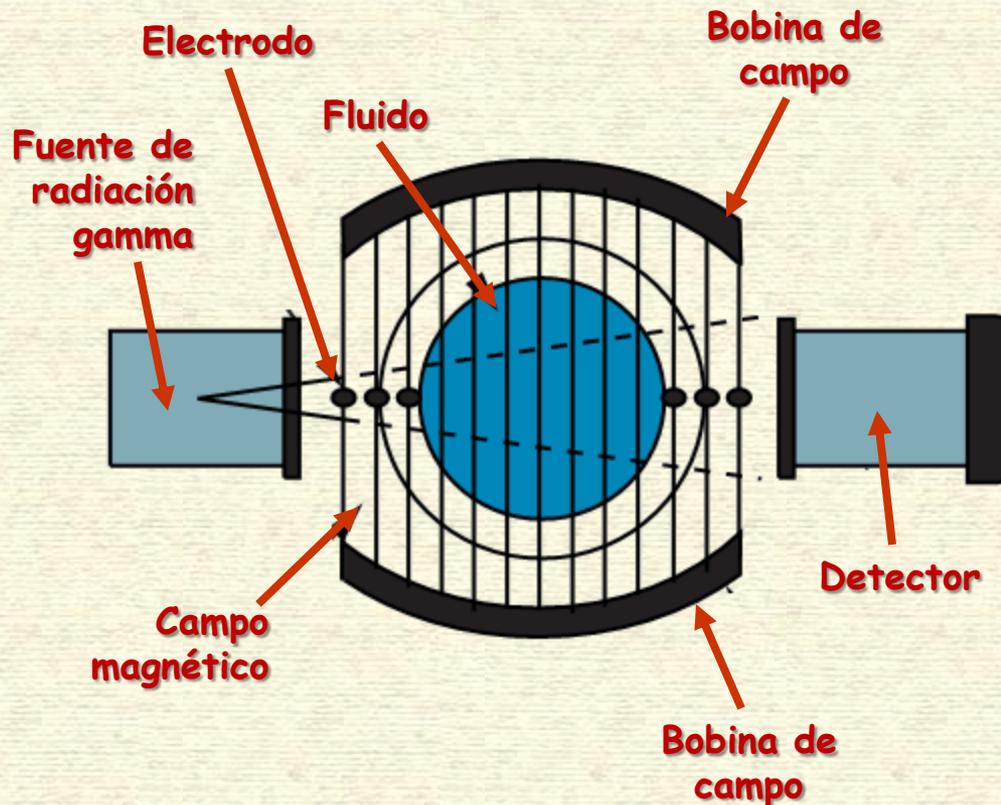
Puede ser un transmisor diferencial conectado a un medidor diferencial que mide también presión y temperatura. El cómputo del caudal másico se hace en el mismo instrumento o en una unidad ad hoc.



$$W = Q\rho = CY\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}\rho$$
$$= CY\sqrt{\Delta P\rho} = CY\sqrt{\Delta P\rho_0 \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T}}$$

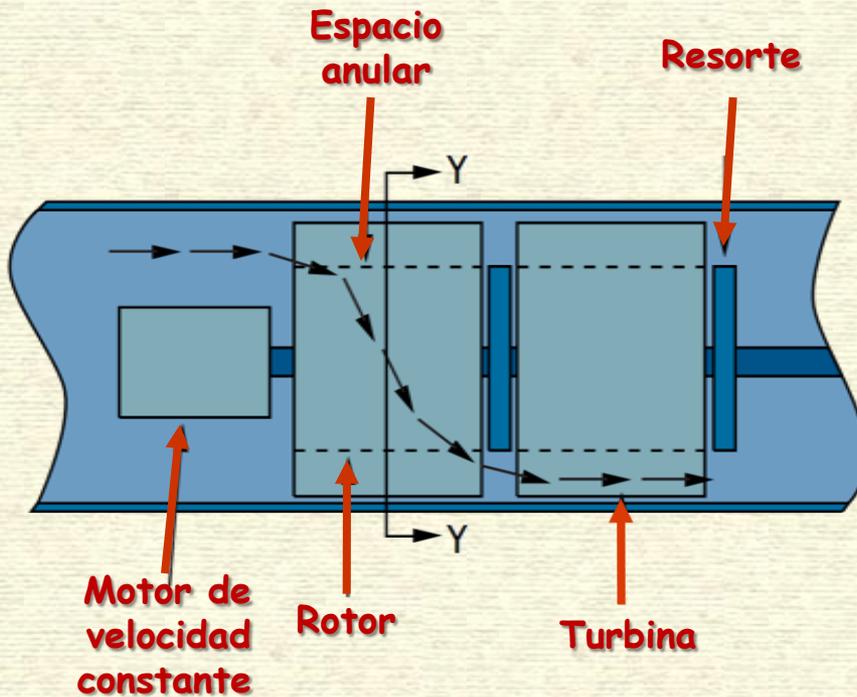
CAUDALÍMETRO MÁSIICO MULTIVARIABLE

Un elemento de este tipo es uno que mide **flujo volumétrico** como un caudalímetro magnético y simultáneamente **sensa densidad** utilizando radiación gamma. Ya casi no se usa por los errores que introducen cada una de las mediciones.



CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE MOMENTO ANGULAR

Uno de los primeros instrumentos para medición de caudal másico en línea. Un rotor de velocidad angular constante impulsa el fluido sobre una turbina que mecánicamente mantiene una velocidad de rotación. El dispositivo **sensa el momento que debe hacerse sobre la turbina para mantener la velocidad constante**. Poco robusto, sujeto a desgaste mecánico.



$$M = \frac{dJ}{dt} = \frac{d}{dt} (\omega)$$

$$M = \frac{d}{dt} (nr^2\omega)$$

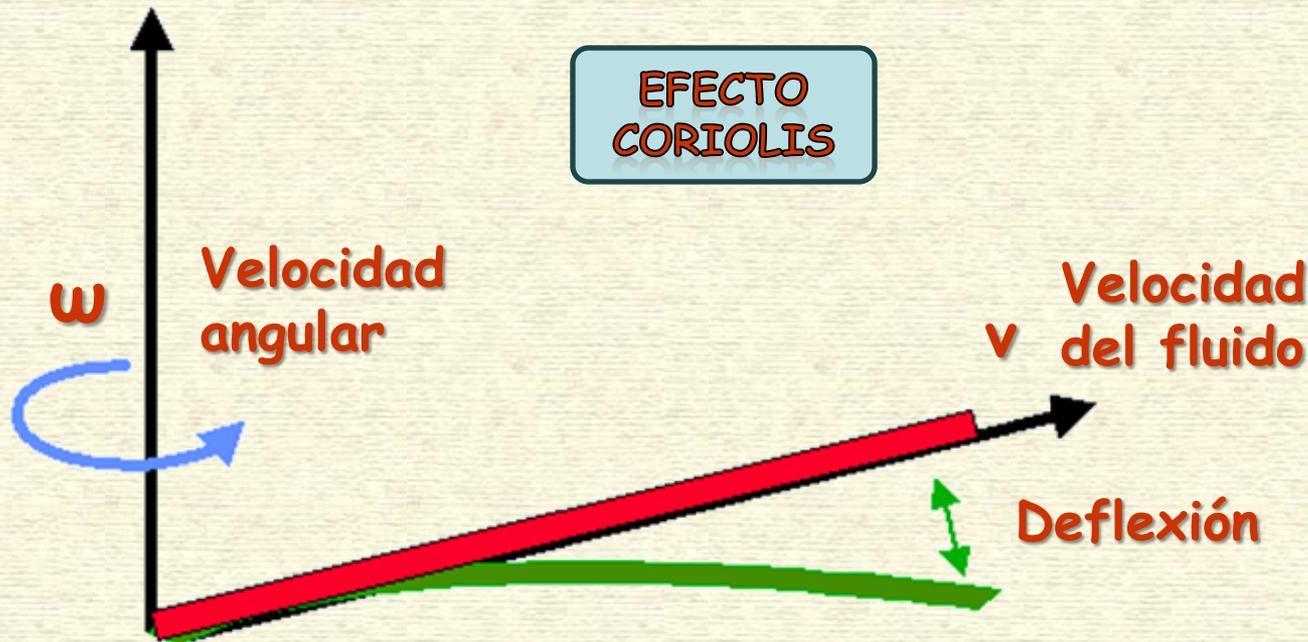
$$M = r^2\omega \frac{dm}{dt}$$

Momento proporcional al caudal másico

CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS

Principio de Funcionamiento

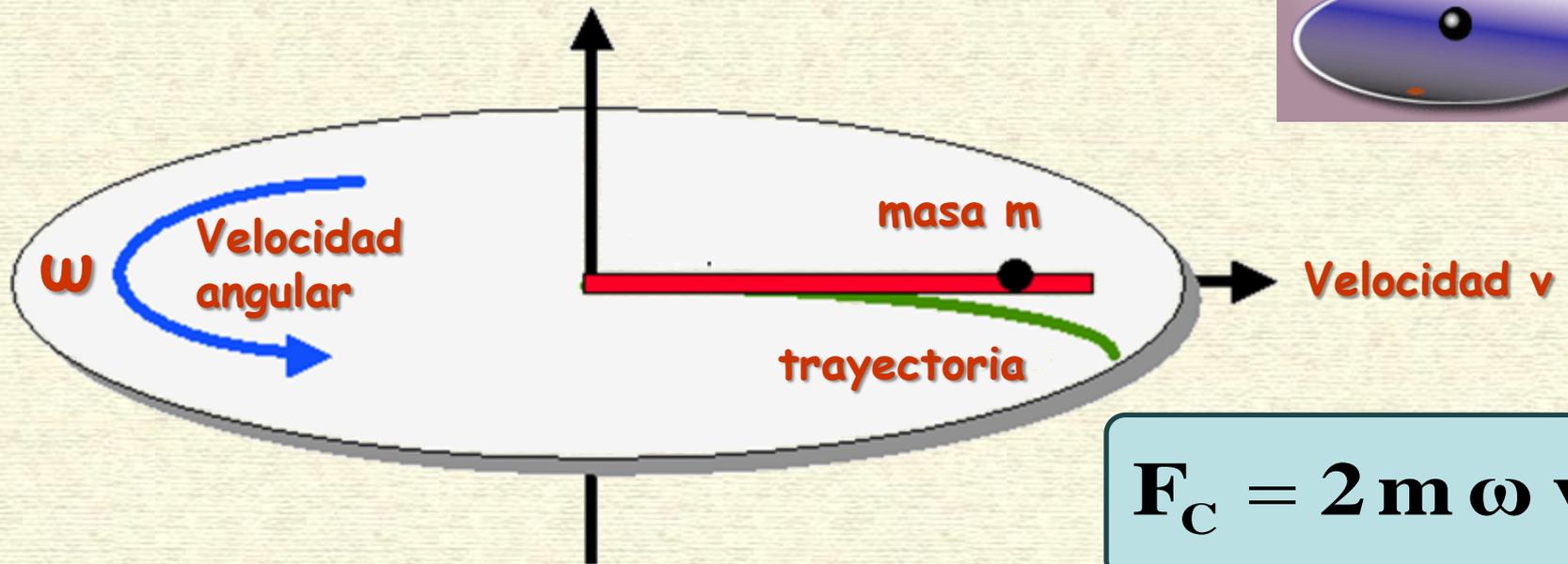
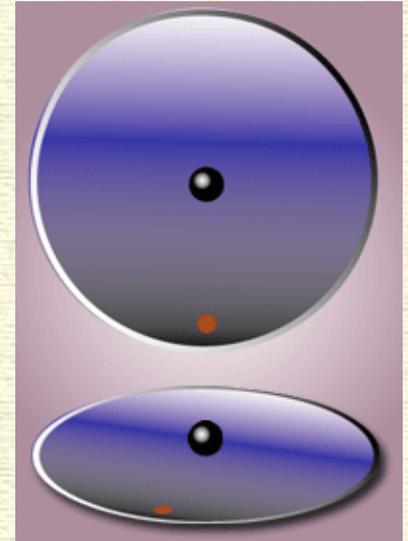
Considerar un fluido moviéndose a velocidad v en un tubo elástico que rota a velocidad angular constante ω . El fluido flexionará el tubo.



CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS

Principio de Funcionamiento

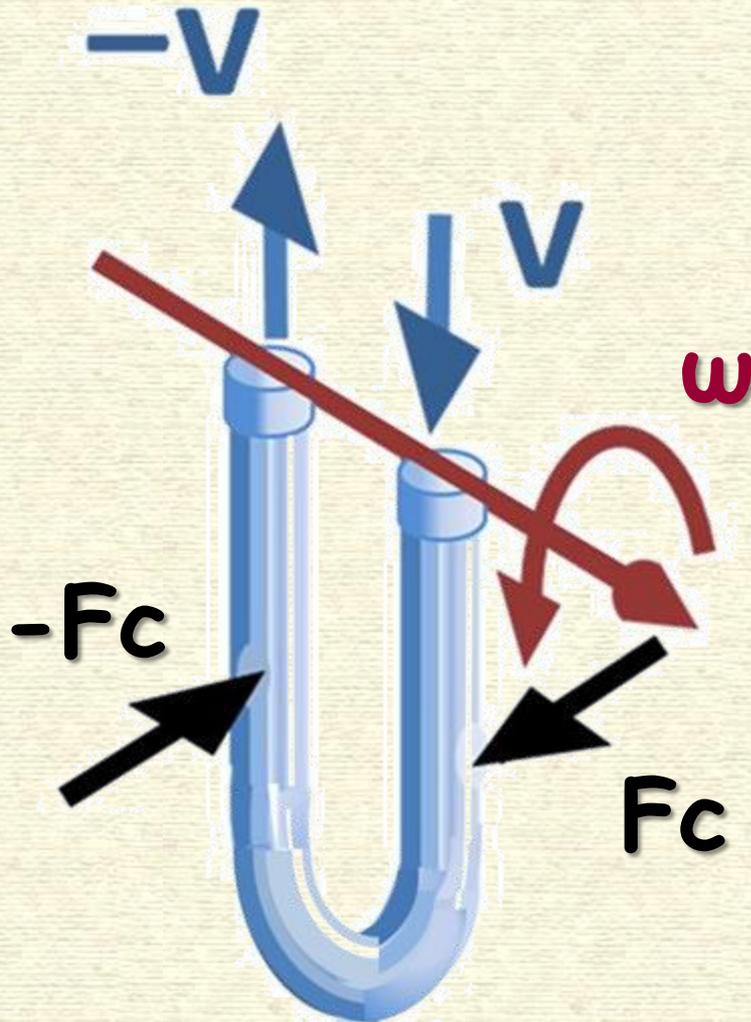
Si la masa m se mueve a velocidad v desde el centro hacia la periferia, sufrirá una aceleración (en el sentido tangencial) que modificará la trayectoria. La fuerza asociada a esa aceleración es la **Fuerza de Coriolis**.



$$F_C = 2 m \omega v_t$$

CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS

Principio de Funcionamiento



Si la masa m de un fluido se mueve en un tubo en "U" a velocidad v y el tubo está sometido a una rotación, sufrirá una aceleración en el sentido tangencial (**Fuerza de Coriolis**) que dependerá de la rama del tubo .

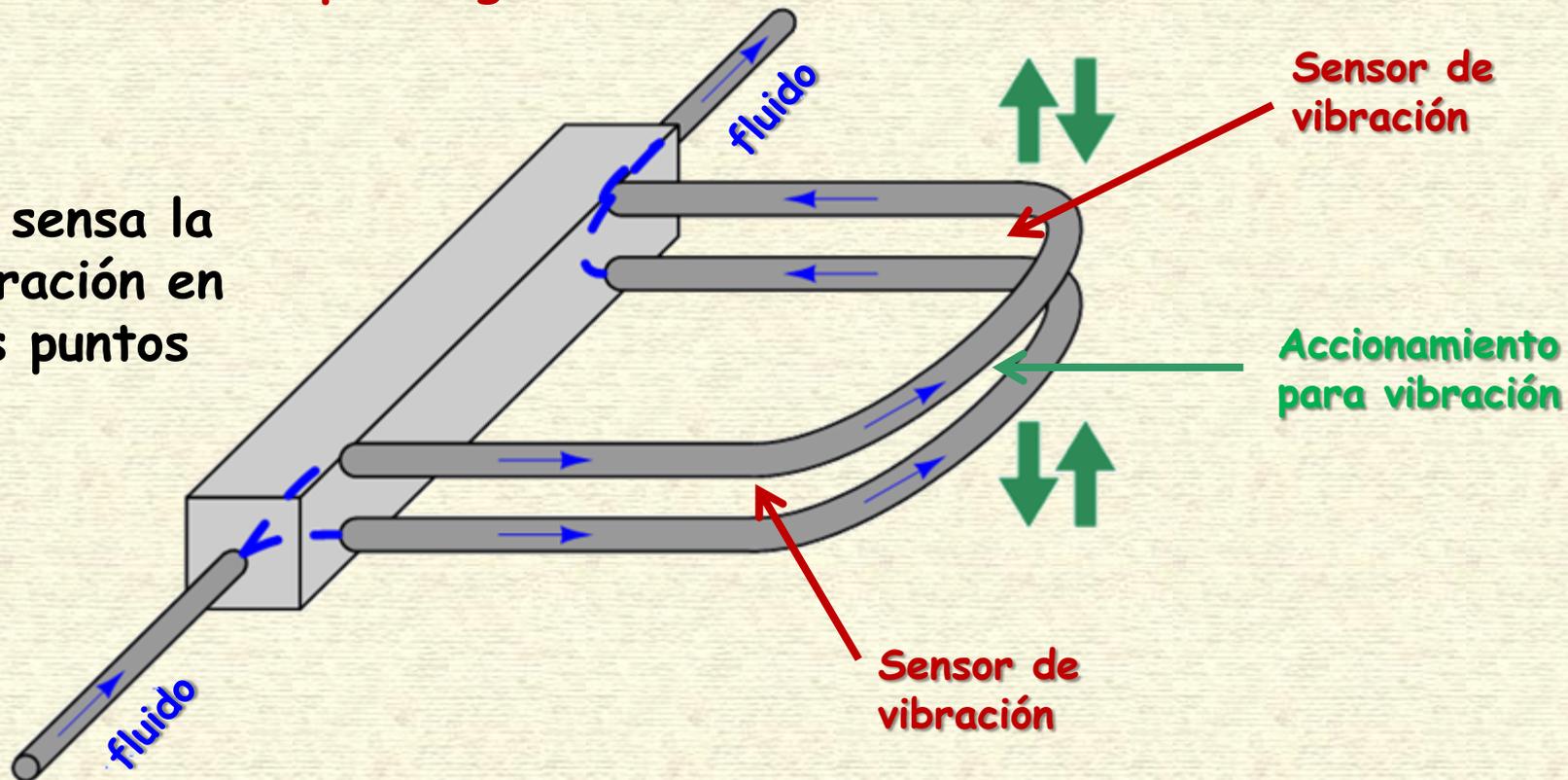
$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= 2 m \omega \mathbf{v}_t = \\ &= 2 \omega V \rho \mathbf{v}_t \end{aligned}$$

CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS

Principio de Funcionamiento

Hay diversos modelos. Una posibilidad es el doble tubo en "u". El fluido fluye por dos tubos paralelos. Un elemento (no mostrado) induce una vibración de los tubos. Cuando circula un fluido se produce una torsión adicional. Se inducen **de 80 a 1000 vibraciones por segundo**.

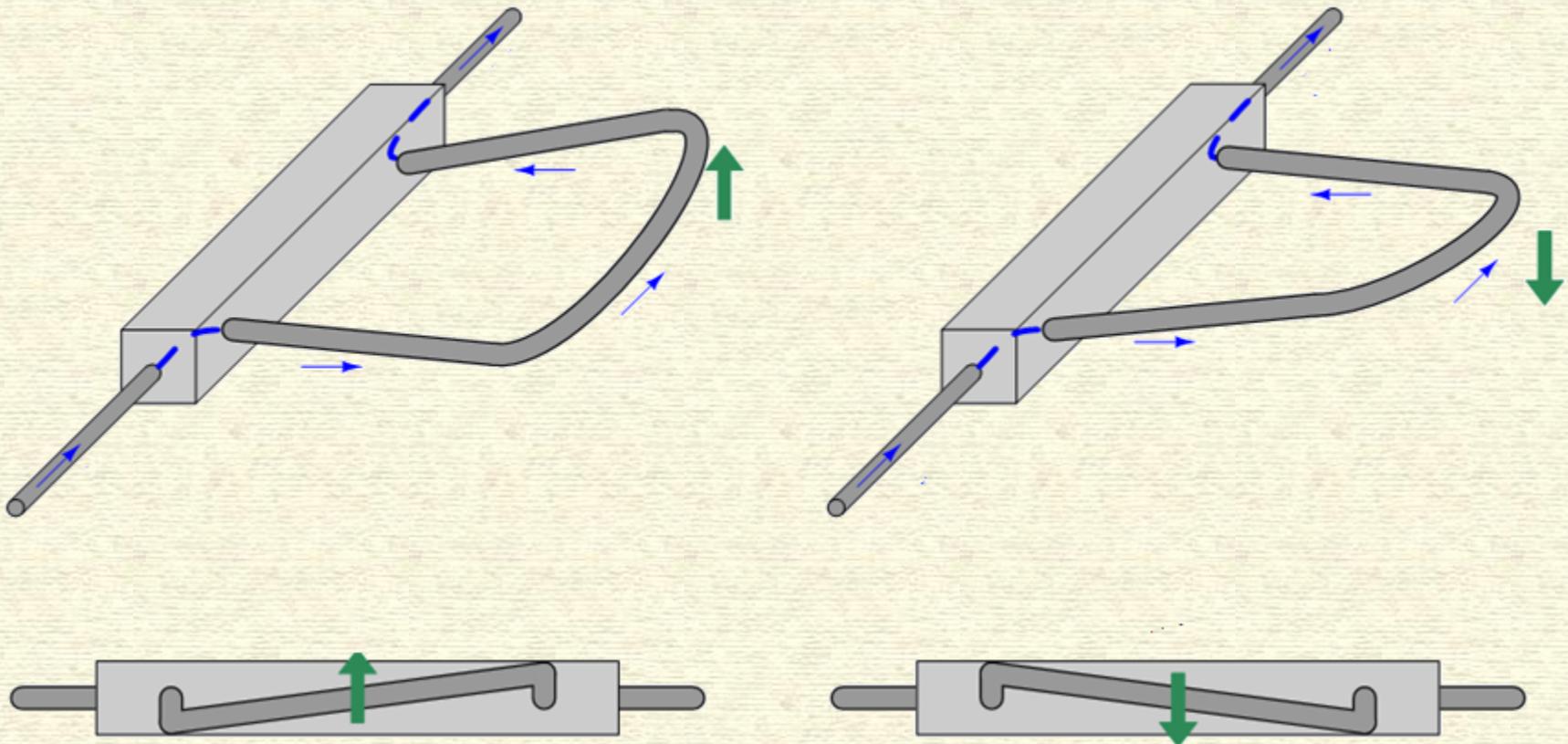
Se sensa la vibración en dos puntos



CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS

Principio de Funcionamiento

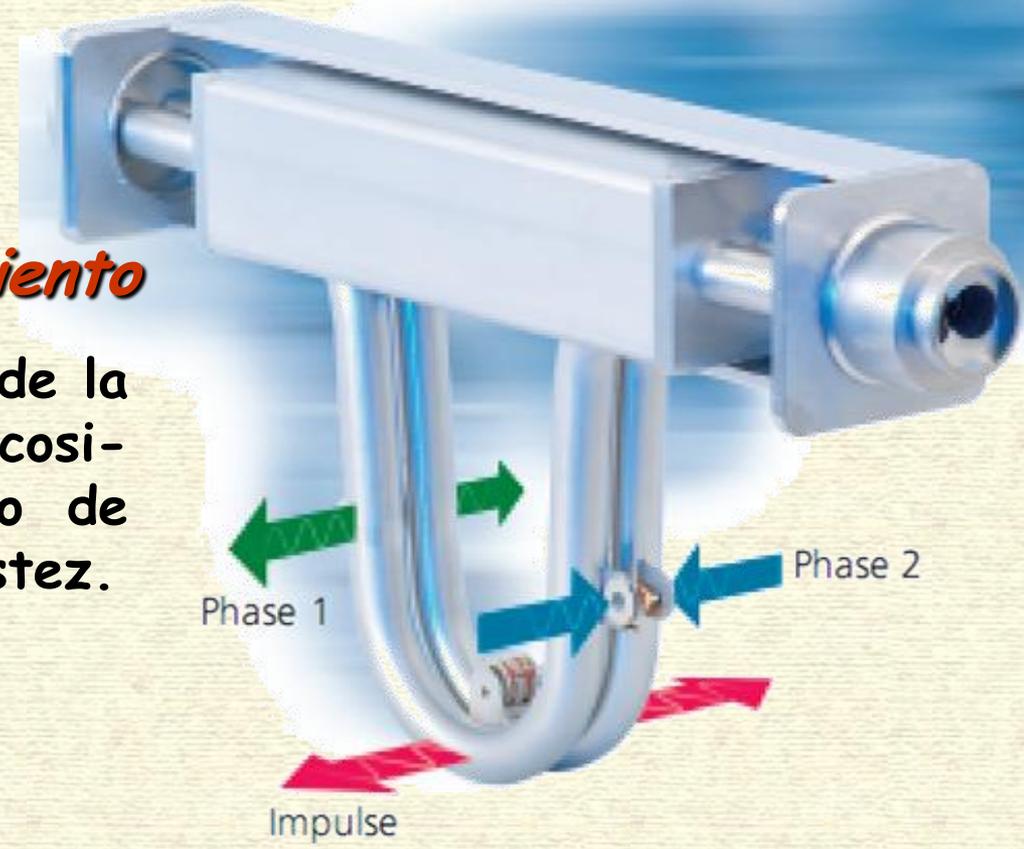
Cuando el fluido no se mueve (caudal nulo) la vibración de los dos tubos es simétrica. Cuando circula fluido, por efecto de la fuerza de Coriolis, hay un movimiento asimétrico del tubo que cambia según el sentido del movimiento de vibración.



CAUDALÍMETRO MÁSSICO DE EFECTO CORIOLIS

Principio de Funcionamiento

El principio independiente de la temperatura, presión, viscosidad, conductividad o tipo de flujo, lo que asegura robustez.



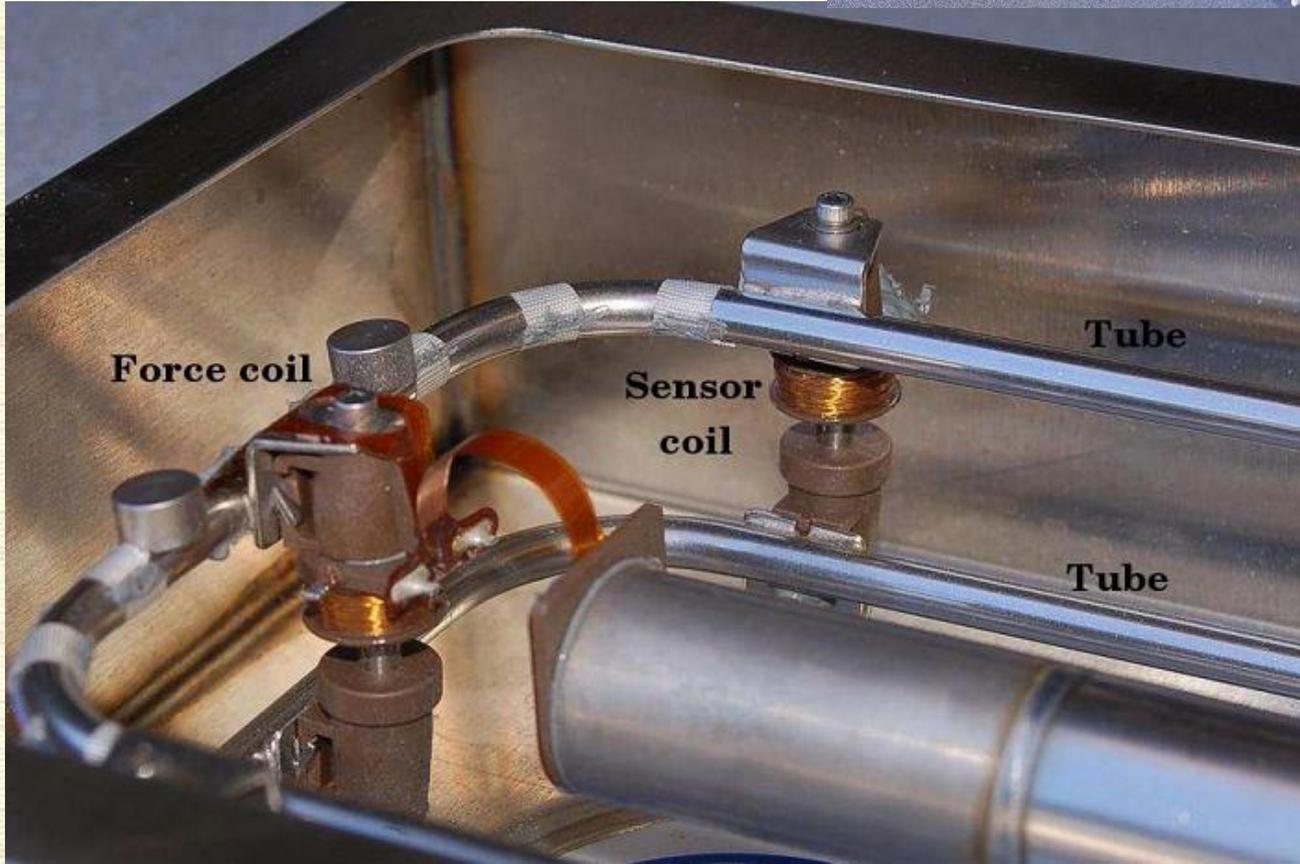
ΔT Proporcional al caudal mássico



f Proporcional a la densidad

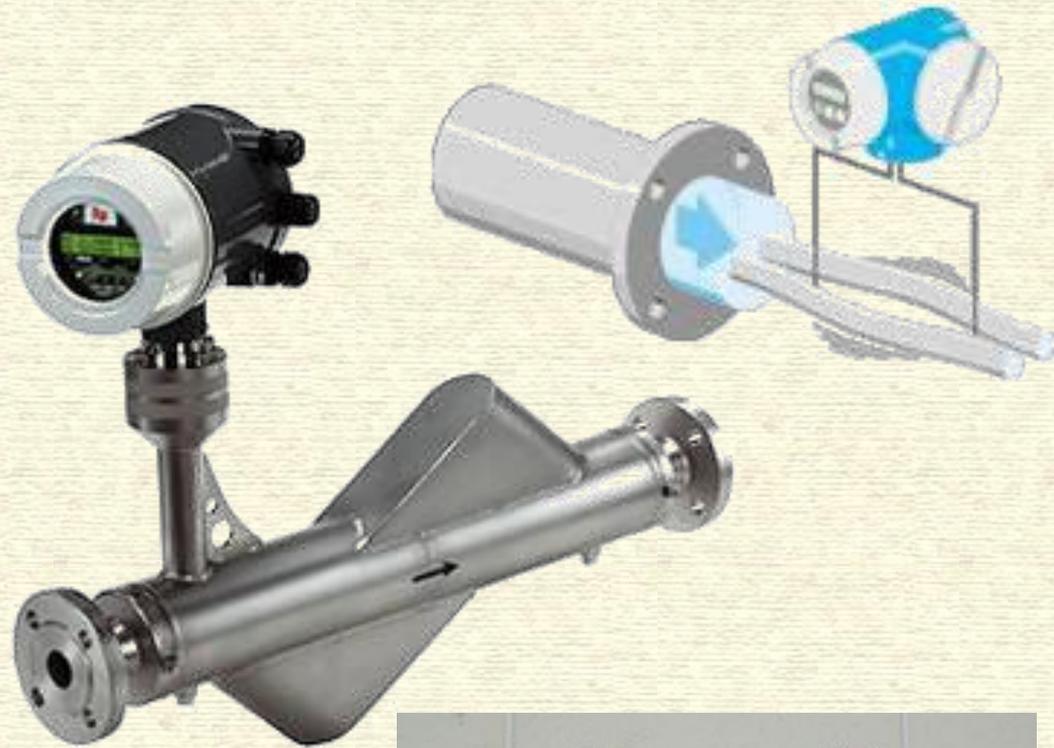
$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

CAUDALÍMETRO MÁSICO DE EFECTO CORIOLIS



CAUDALÍMETRO MÁSICO DE EFECTO CORIOLIS Modelos

En el mercado hay diversos modelos con formas variadas para los tubos.



CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS *Modelos*

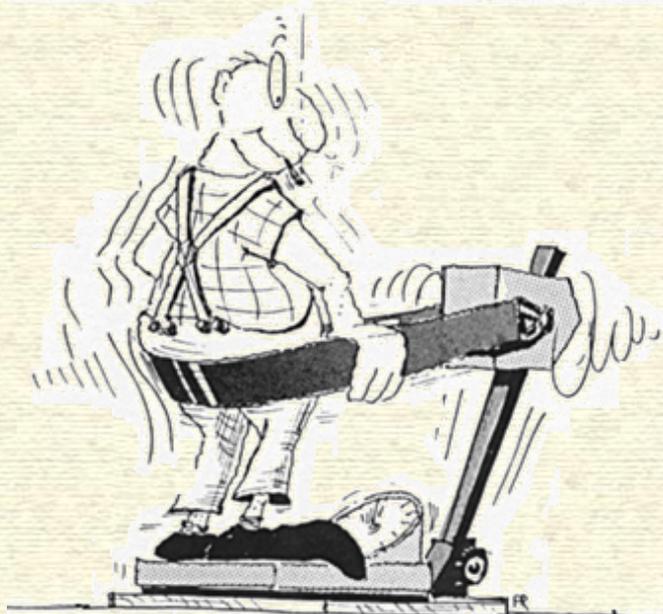
Curso: Instrumentación Industrial de Procesos
Departamento de Ingeniería de Procesos y gestión Industrial



16 1346

CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS

Características



Servicio recomendado: líquidos y gases, limpios, sucios y viscosos. Se aplica a algunas suspensiones.

Rangeabilidad: 10:1 (o más)

Pérdida de carga: media a alta

Accuracy (típica): 0.1% Span (líquidos) y 0.35% Span en gases

Perfil de velocidades: no influye

Costo relativo: altos (inversión e instal.)

Tramos rectos de cañería: No requerido

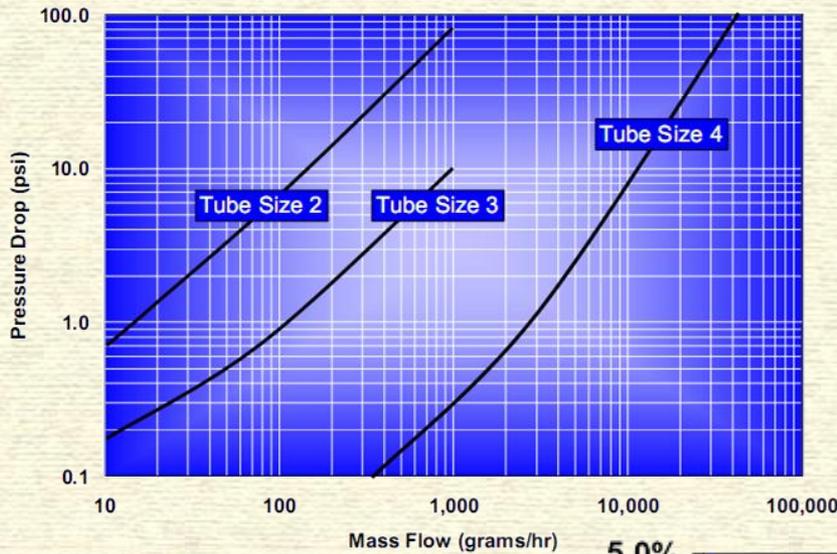
Efecto de la viscosidad: nulo

Diámetros: mayores de $\frac{1}{2}$ "

Señal de salida: Lineal

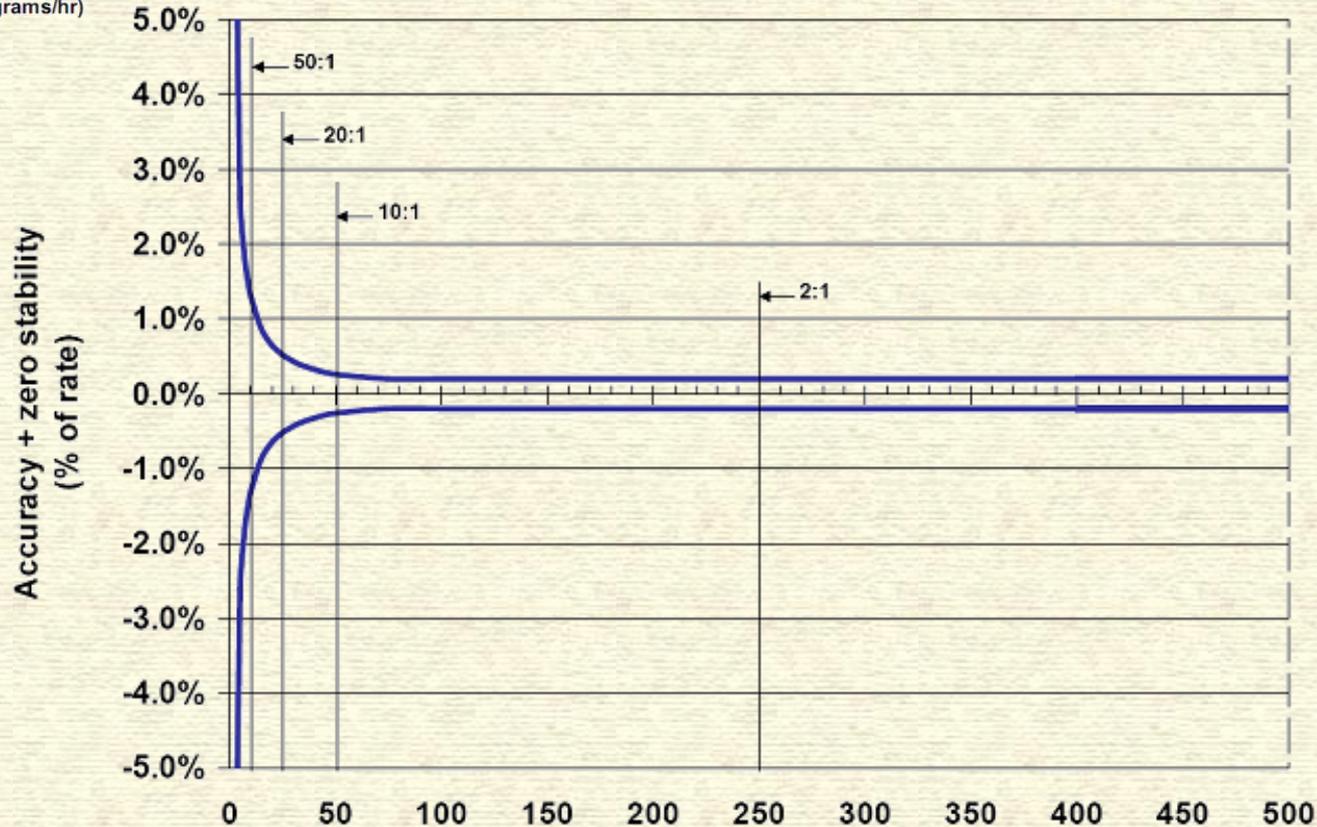
Efecto de Vibraciones: alto





CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE EFECTO CORIOLIS *Características*

La pérdida de carga no tiene una correlación fija. Depende del dispositivo, su diámetro y el caudal.



Relación entre exactitud y reangeabilidad

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



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS

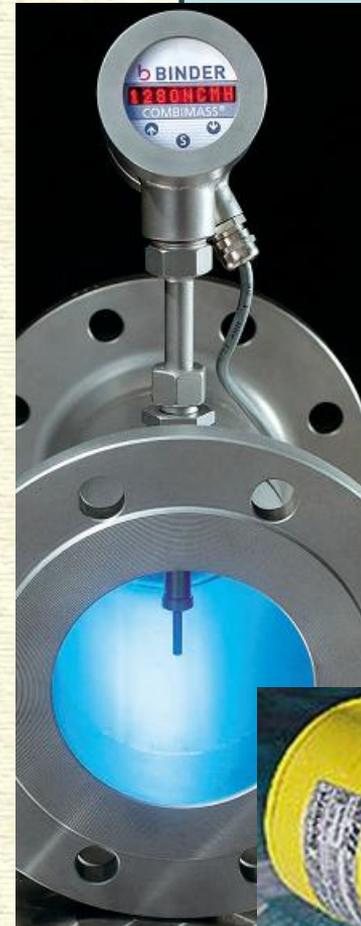
Tipos

Los **caudalímetros térmicos** miden **flujo másico**, fundamentalmente de gases. Consta de elementos en los que se transfiere calor y se miden temperaturas. Existen **dos tipos** bien diferenciados:

CAUDALÍMETRO DE TUBO CAPILAR



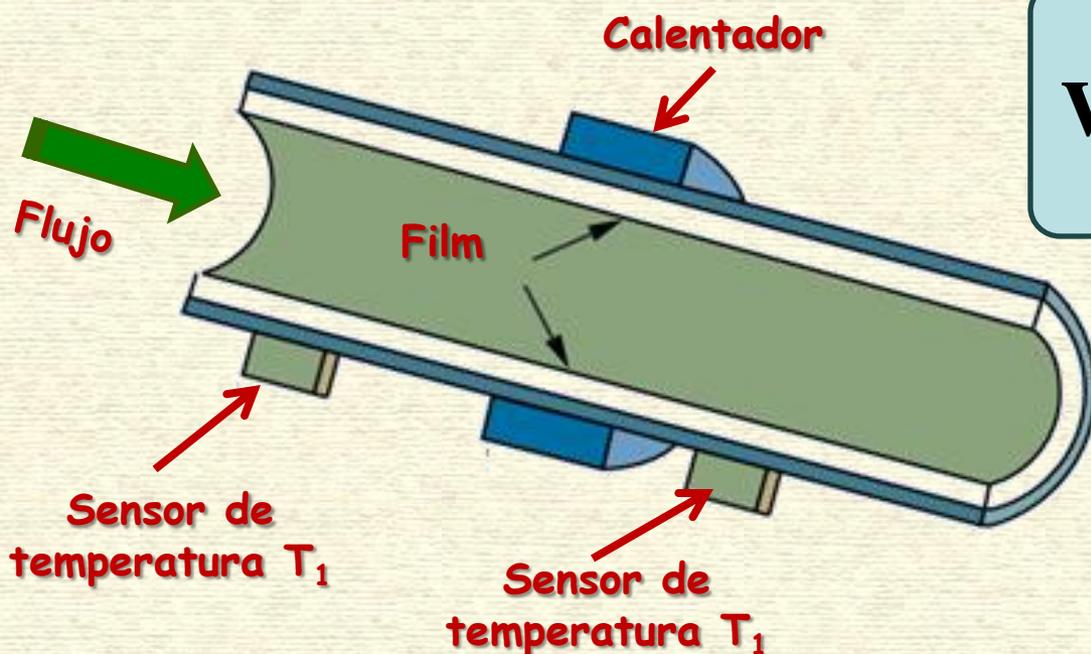
CAUDALÍMETRO DE DISPESIÓN TÉRMICA



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE TUBO CAPILAR

Principio de Funcionamiento

Los **caudalímetros térmicos de flujo capilar** son los más usados cuando se debe medir caudales bajos de gases. Los componentes básicos son **dos sensores de temperatura** y un **calentador eléctrico** entre ambos



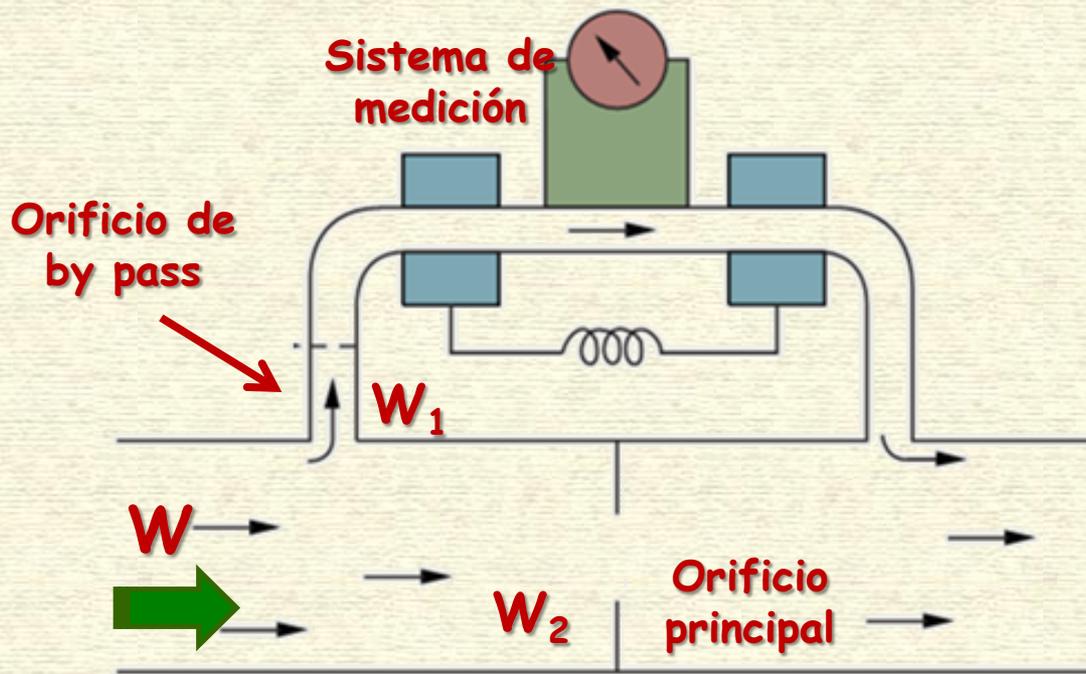
$$W = \frac{i^2 R}{C_P (T_2 - T_1)}$$

Los sensores de temperatura son Termoresistencias de platino

CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE TUBO CAPILAR

Principio de Funcionamiento

La medición se hace en un tubo capilar (by pass). En la corriente principal hay un dispositivo para establecer flujo laminar.



W_1 proporcional a W

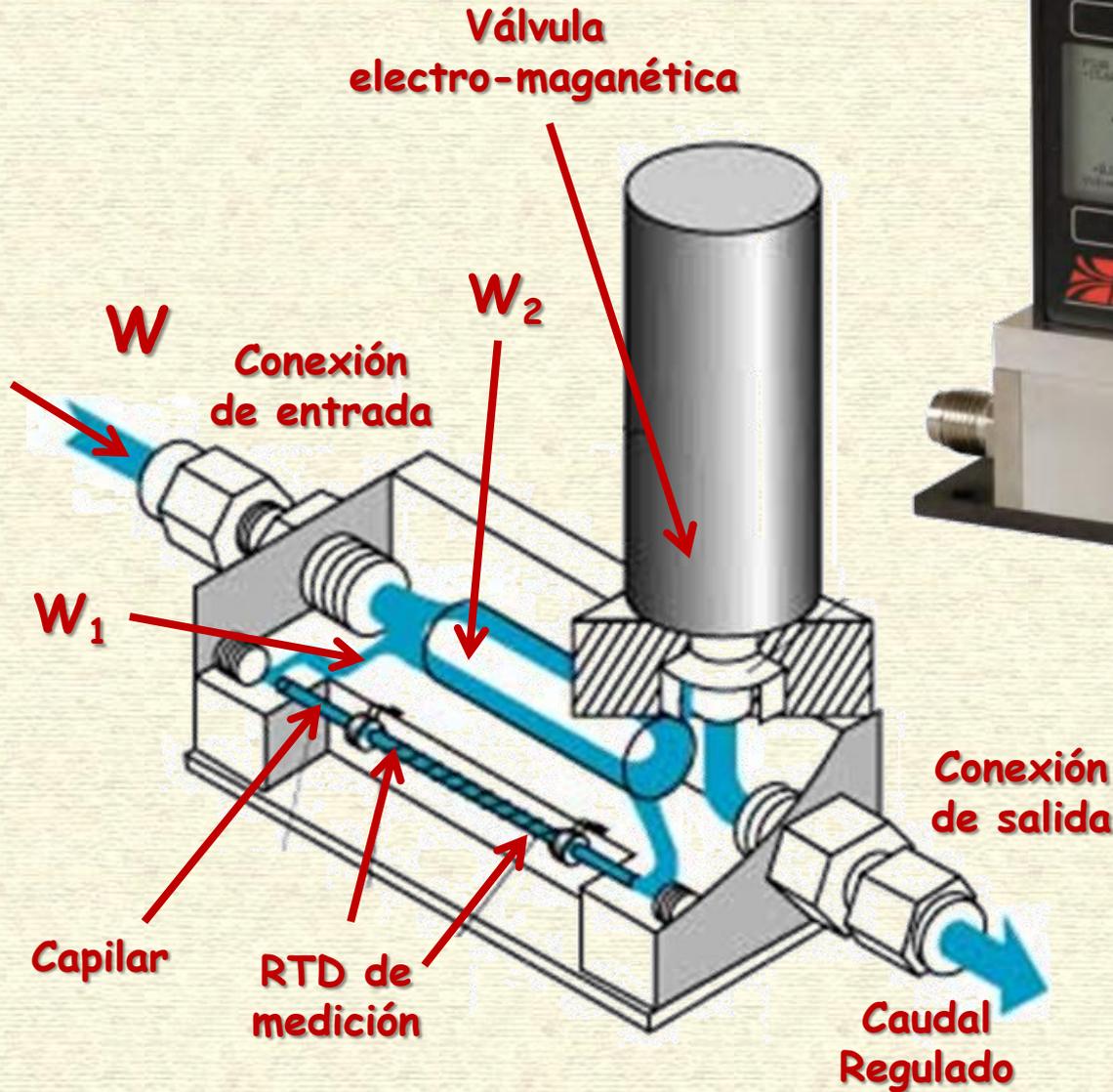
De esta forma a partir de W_1 se infiere W



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE TUBO CAPILAR

Principio de Funcionamiento

Curso: Instrumentación Industrial de Procesos
Departamento de Ingeniería de Procesos y gestión Industrial



Algunos dispositivos son medidores con sistema de control de caudal

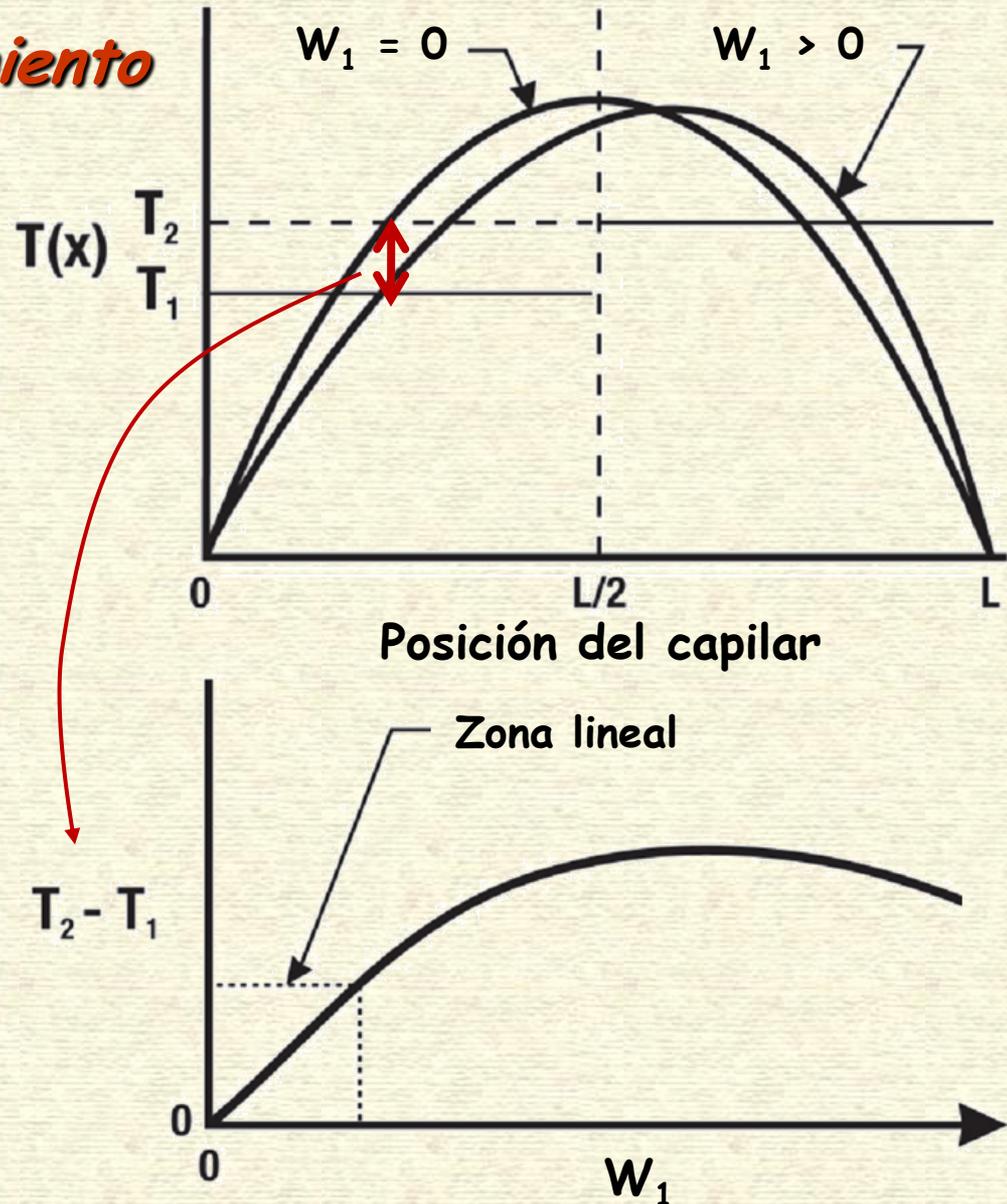
CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE TUBO CAPILAR

Principio de Funcionamiento

La alternativa es comparar el fluido en reposo (temperatura igual en las dos sondas) con el fluido en movimiento, transportando energía hacia la segunda resistencia.

Se produce una diferencia de temperaturas entre los dos elementos que va aumentando a medida que aumenta el caudal.

El sensor trabaja en la zona lineal.



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE TUBO CAPILAR

Características

Servicio recomendado: gases limpios, a caudales bajos (hasta 10 scft/min). Algunos fabricantes ofrecen para líquidos.

Rangeabilidad: 10:1 (hasta 100:1)

Pérdida de carga: media a alta

Accuracy (típica): 1% FS

Perfil de velocidades: no influye

Calibración: específica de fábrica

Efecto de Vibraciones: nulo

Señal de salida: Lineal

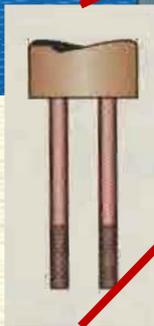
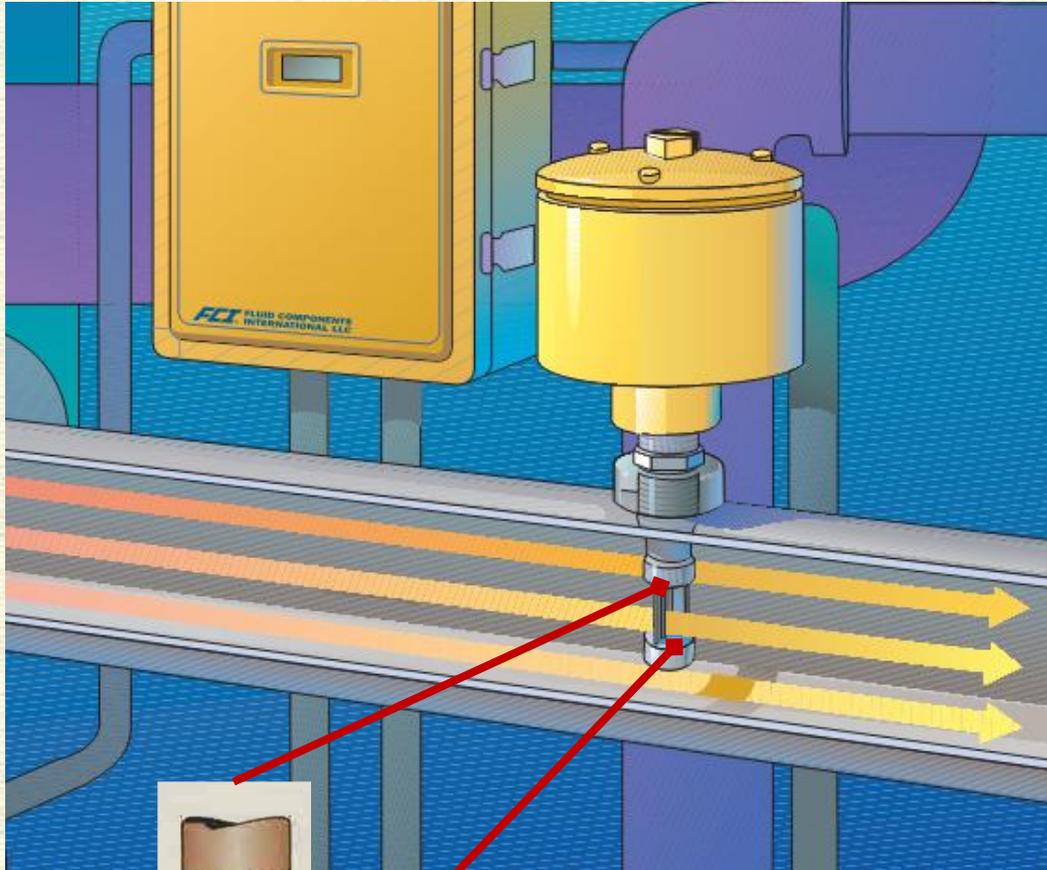


CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Principio de Funcionamiento

Los dos elementos sensibles están sumergidos en el fluido cuyo caudal se mide.

Existen dispositivos completos (tramo de cañería) y versiones insertables.

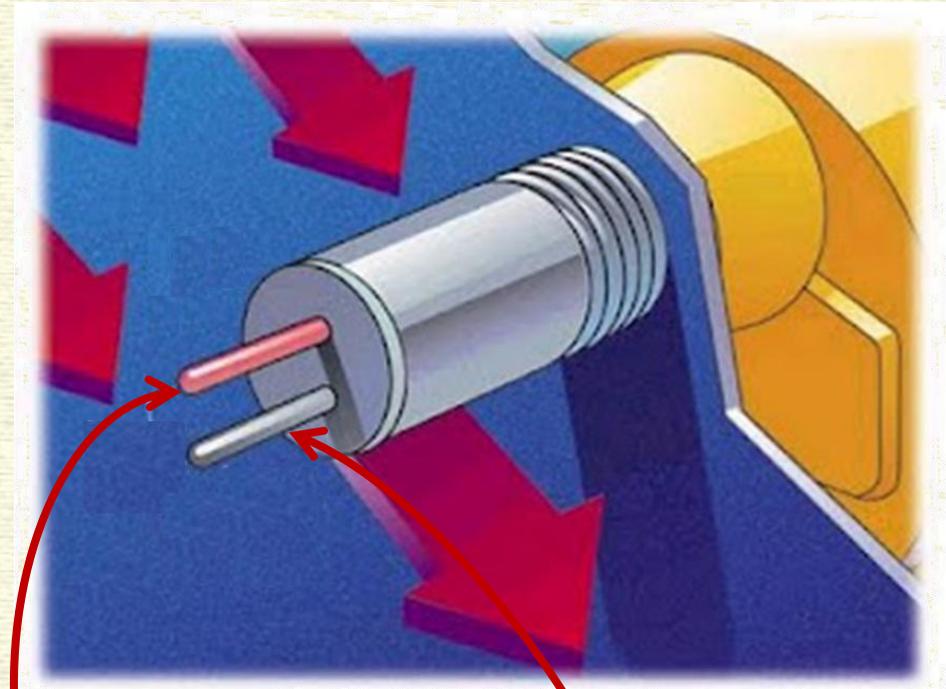


CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Principio de Funcionamiento

Los dos elementos sensibles tiene termorresistencias de platino para medir la temperatura de la superficie.

Uno de ellos cuenta con una resistencia por la que circula una corriente que disipa calor.



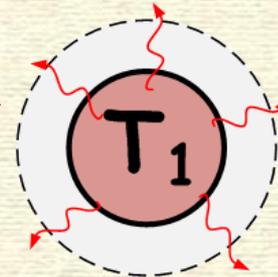
Sonda calefaccionada

Sonda no calefaccionada

Se miden

$$i^2 R = h A (T_2 - T_1)$$

Se calcula



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Principio de Funcionamiento

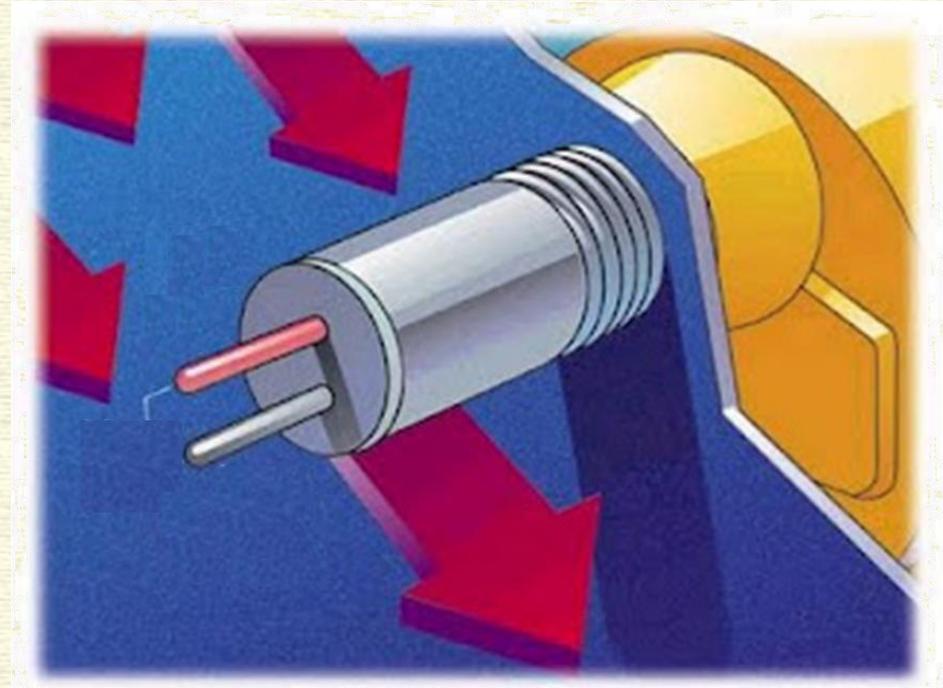
El coeficiente pelicular de transferencia h en medio gaseoso se correlaciona con el caudal másico a través del N de Reynolds

$$Nu = A + B Pr^{1/3} Re^m$$

$$\frac{h D}{k} = A + B \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{D \rho v}{\mu} \right)^m$$

$$h = a + b W^m$$

El dispositivo se calibra en fábrica para un gas específico. Aprovechando la medición de temperatura, se hace la corrección de las propiedades

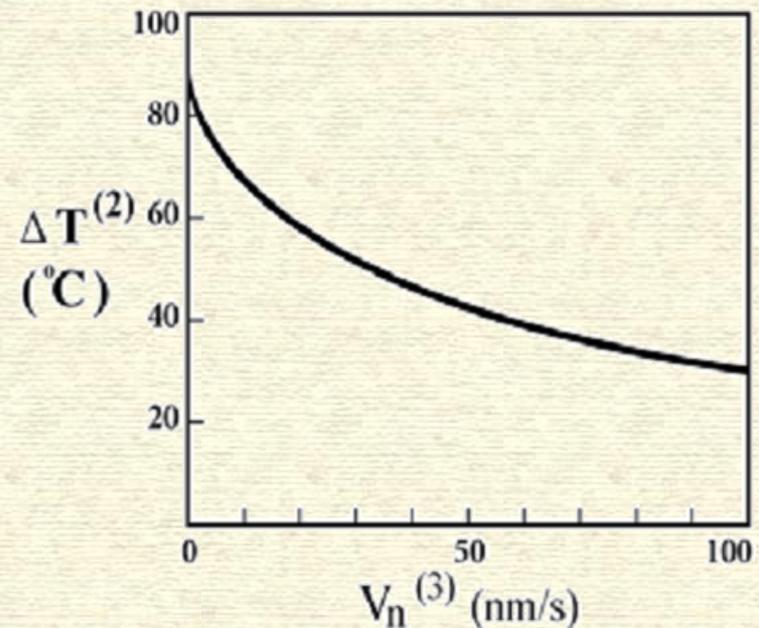
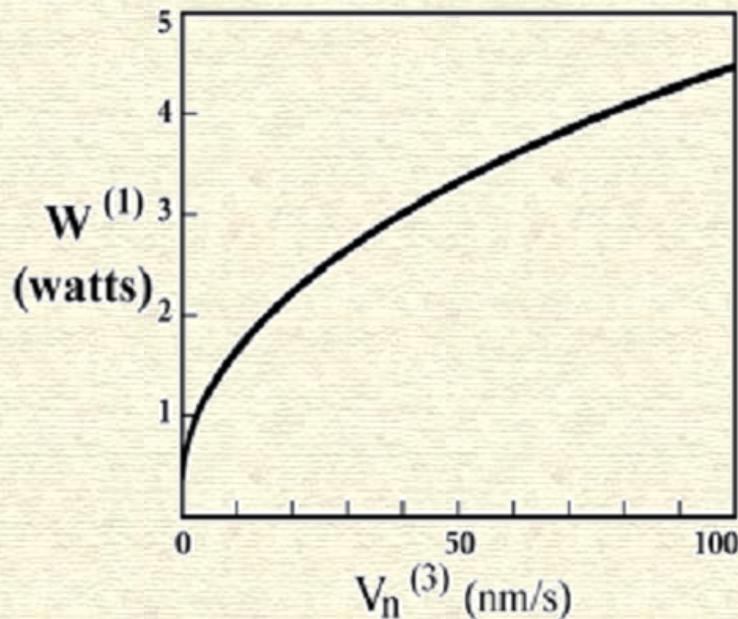


CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Modos de operación

MODO 1 - Se hace circular una corriente (flujo de energía) constante y se mide la diferencia de temperatura.

MODO 2 - Se mantiene una diferencia de temperatura constante y se ajusta la corriente que se hace circular



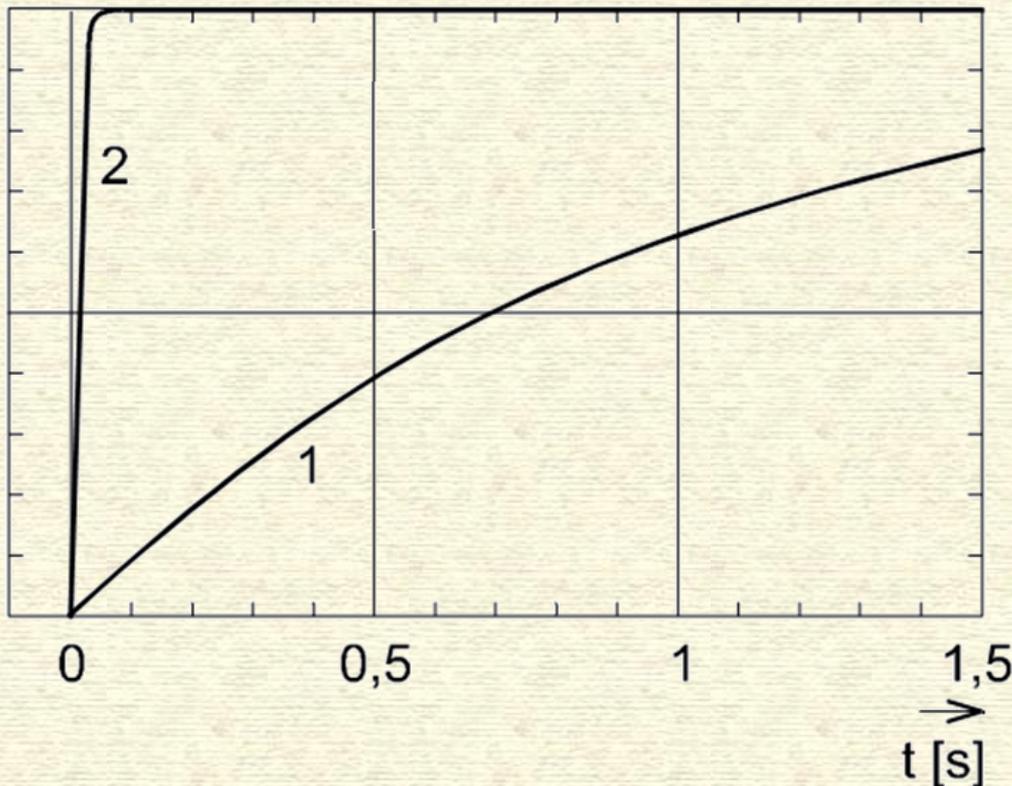
La mayor sensibilidad a bajos caudales hace que estos dispositivos tengan gran rangeabilidad

CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Modos de operación

MODO 1 - Se hace circular una corriente (flujo de energía) constante y se mide la diferencia de temperatura.

MODO 2 - Se mantiene una diferencia de temperatura constante y se ajusta la corriente que se hace circular

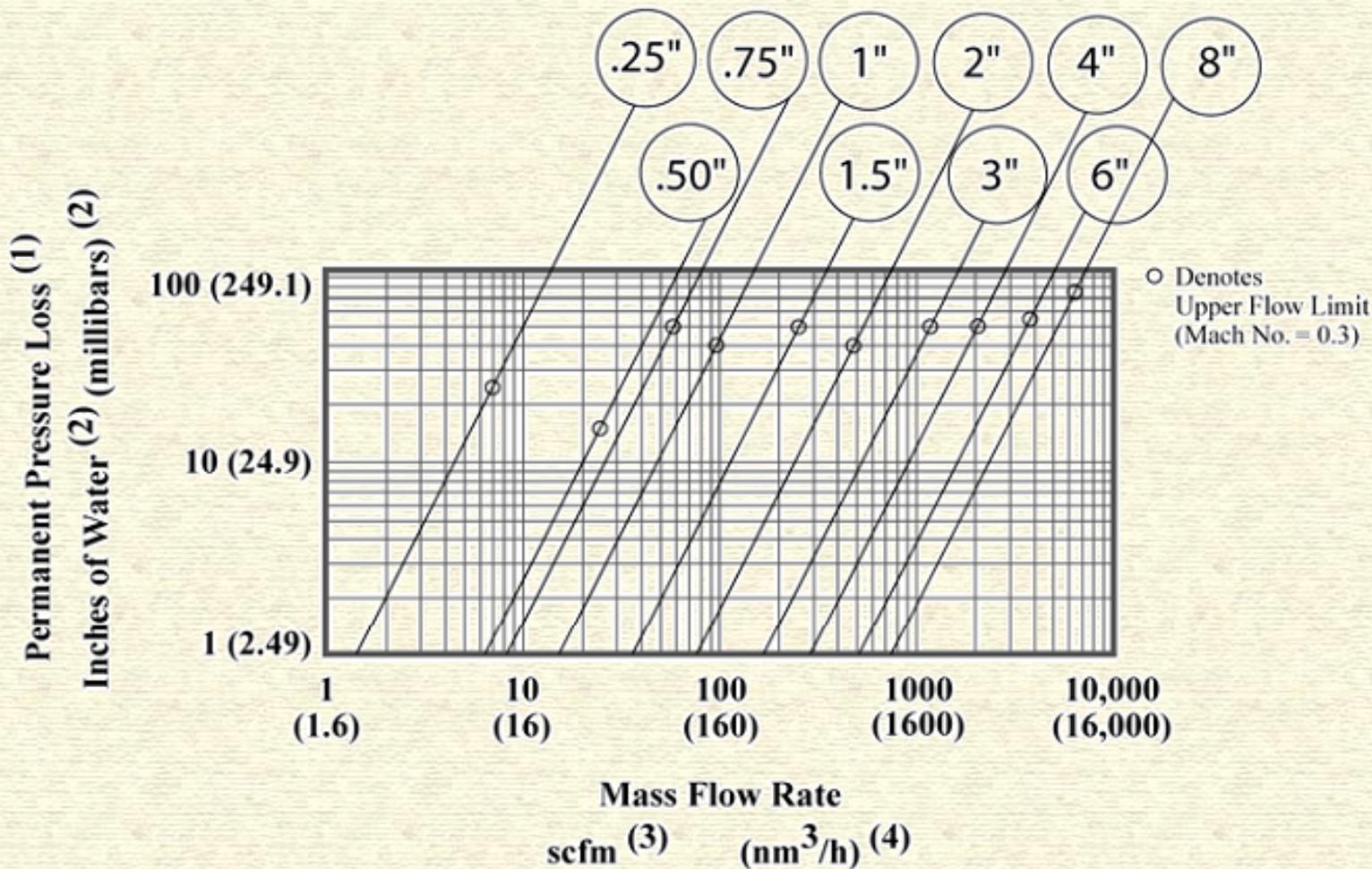


Los sensores basados en el MODO 2 de operación presentan menores tiempos de respuesta.

CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

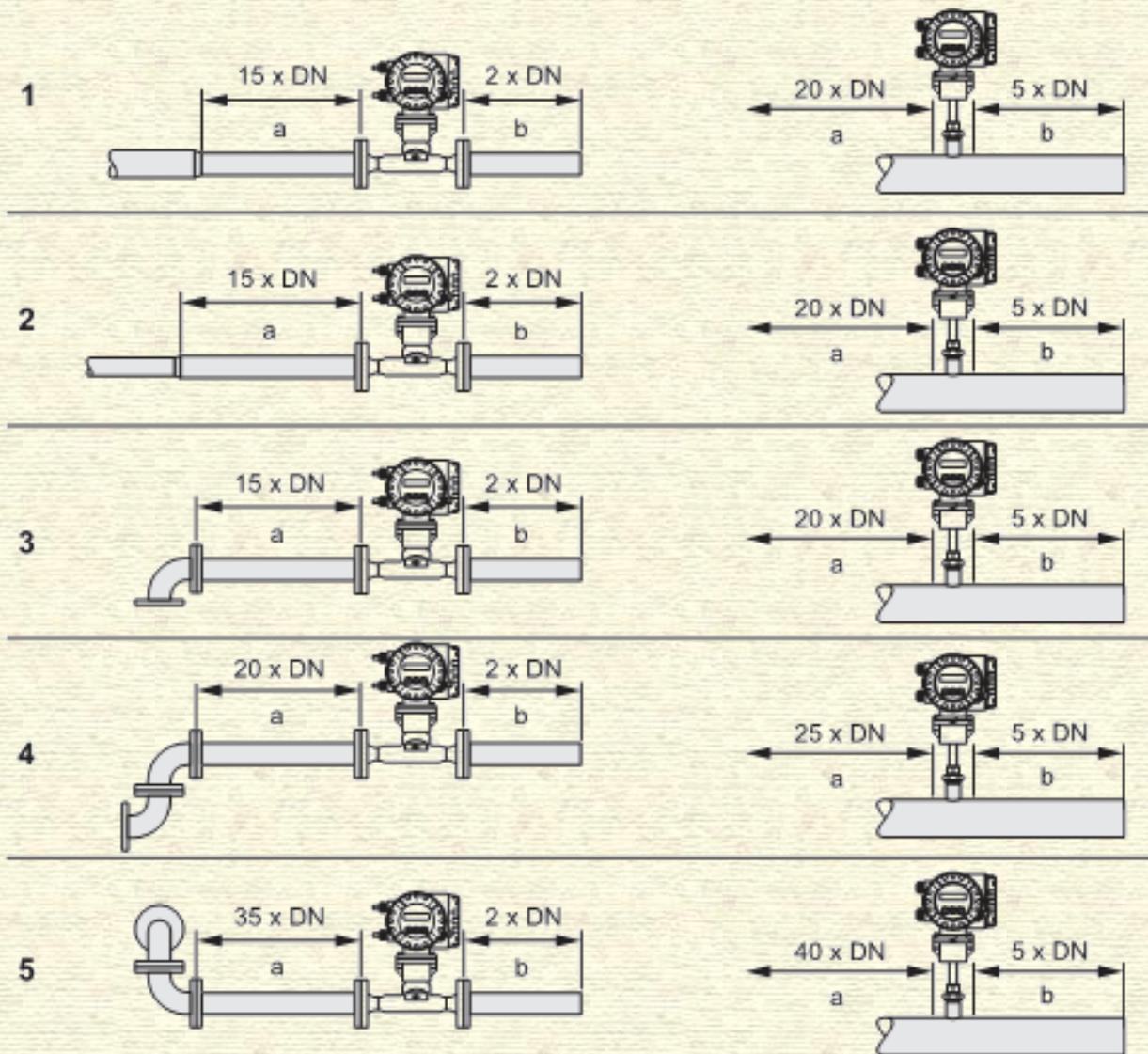
Pérdida permanente de carga

Como ofrece poca superficie de impacto, la pérdida de carga permanente es insignificante.



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Instalación



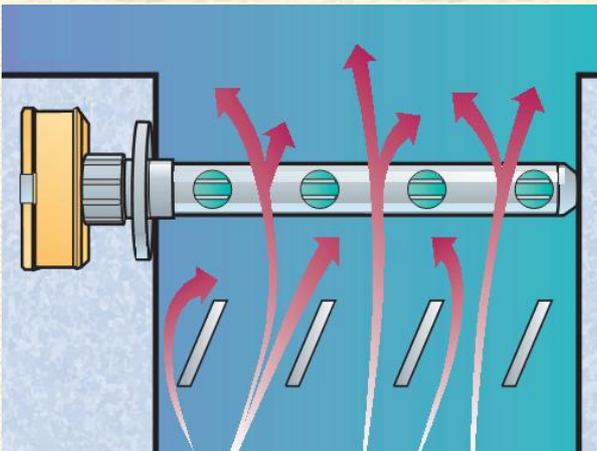
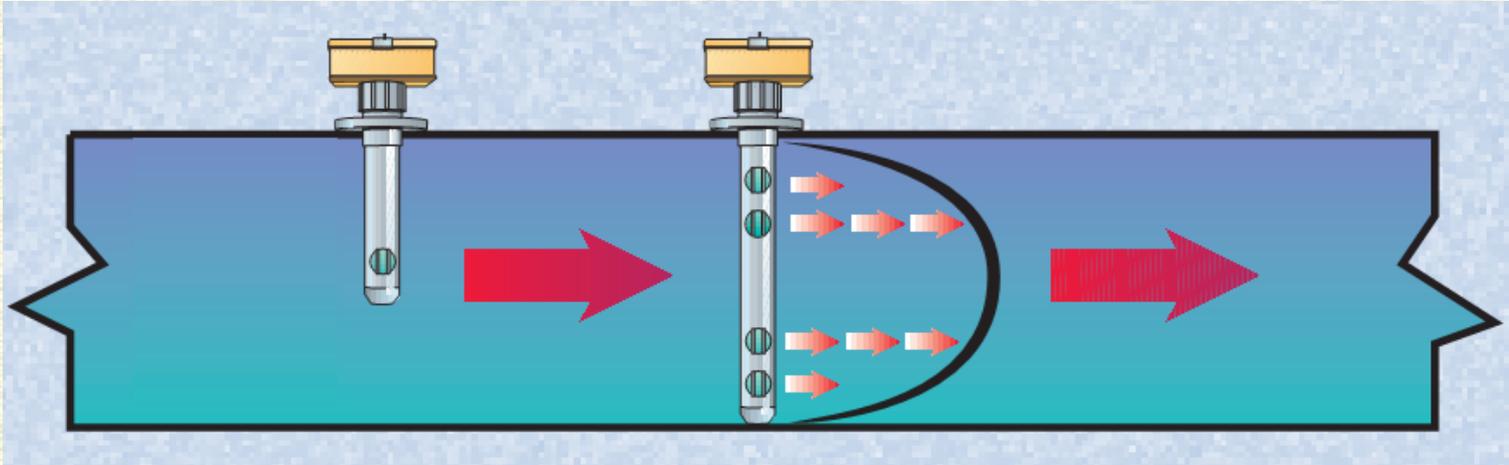
Como los sensores hacen mediciones puntuales del perfil de velocidades influye.

Esto obliga a mantener tramos rectos de cañerías antes y después o a usar enderezadores de vena fluida

CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Sondas de multipunto

Para mejorar la performance, existen modelos que realizan la medición en más de un punto.



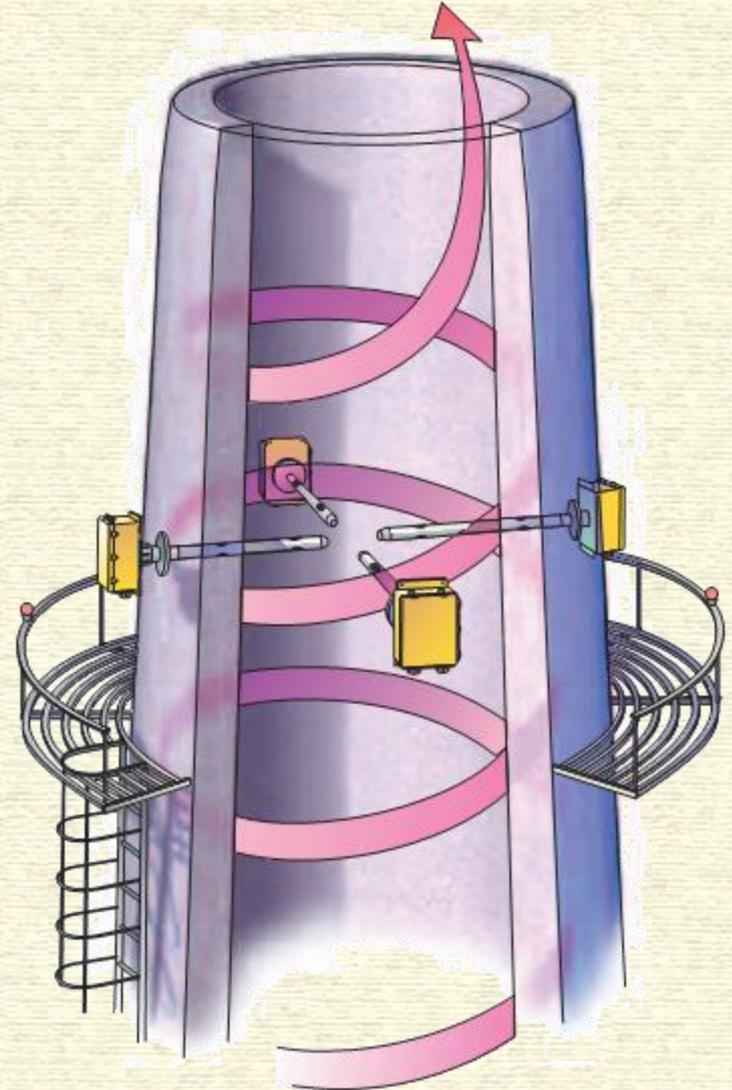
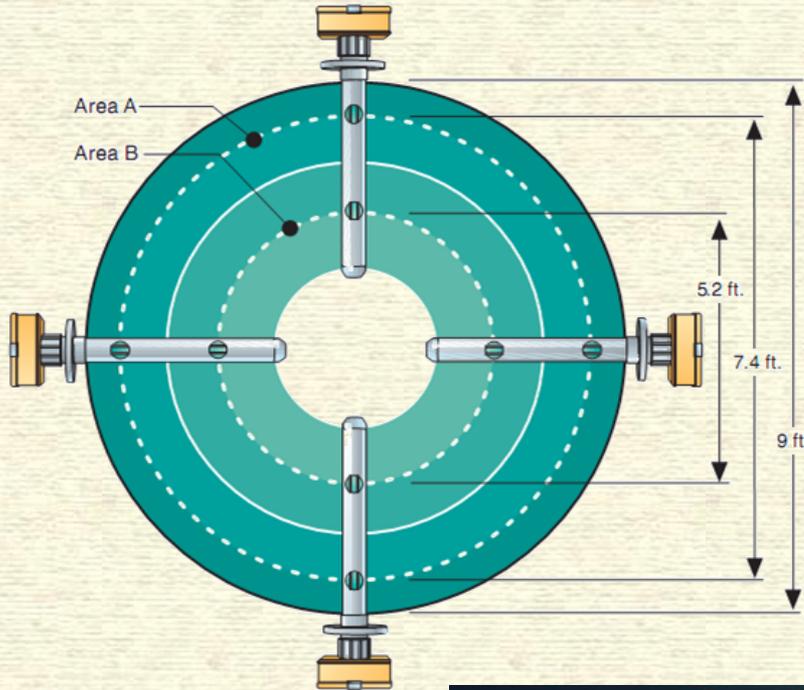
Se usan para medir flujos en ductos de sección rectangular.



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Sondas de multipunto

Para mejorar la performance, existen modelos que realizan la medición en más de un punto.



CAUDALÍMETROS TÉRMICOS DE DISPERSIÓN

Características

Servicio recomendado: gases limpios (diámetros de 2 a 24 plg). Se adapta ductos de secciones rectangulares.

Rangeabilidad: 10:1 a 100:1

Pérdida de carga: relativamente baja

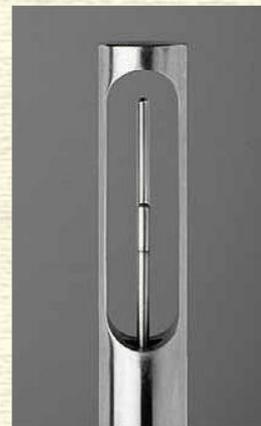
Accuracy (típica): 0.1 a 0.5 % R

Calibración: específica de fábrica

Efecto de Vibraciones: nulo

Señal de salida: Lineal (linealizada)

Disponible en
versiones de
inserción

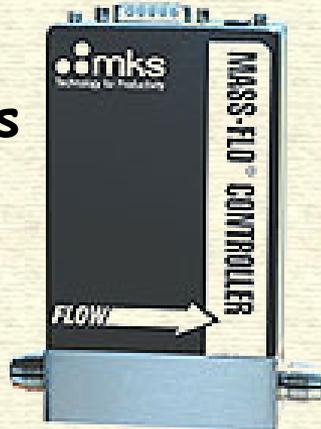


CAUDALÍMETROS TÉRMICOS

Comparación de principios operativos

DE TUBO CAPILAR

- Aplicable a gases y algunos líquidos
- Apto para caudales bajos
- Buena exactitud (típica 0.5 % Span)
- Calibrados Para fluidos específicos



DE DISPESIÓN

- El fluido debe ser un gas
- Mide caudales medios y grandes
- Exactitud en el orden de 1 % Span
- Calibrados para gases específicos

