

# MEDICIÓN DE CAUDAL

# INSTRUMENTOS DE CAUDAL

- El caudal es la variable de proceso básica más difícil de medir.
- Existen numerosos tipos de medidores y transmisores:

Elementos deprimógenos

Transmisores de presión

Másicos (Coriolis)

Desprendimiento de vórtices (Vortex)

Ultrasónicos

Electromagnéticos

Otros

# FLUJO A TRAVÉS DE RESTRICCIONES

## ECUACIONES

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 = \frac{P_3}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_3^2 + \Sigma f$$

Ecuación de Bernoulli

$$F = C_0 \sqrt{\frac{(P_1 - P_3)}{\rho_0}}$$

Relación para el medidor de presión instalado

$$F = C_0 \sqrt{P_1 - P_3}$$

Relación para el medidor de presión instalado,  
con densidad constante

$$F = C_0 \sqrt{\frac{(P_1 - P_3)}{\rho_0}} \sqrt{\frac{P_0 T}{P T_0}}$$

Relación para el medidor de presión instalado,  
gas con peso molecular constante,  
en función de T y P

# ELEMENTOS DEPRIMÓGENOS

Deprimógeno: Se denomina así al elemento primario cuya instalación produce una diferencia de presiones (pérdida de carga), que se vincula con el caudal que circula, en una relación determinable.

Los elementos deprimógenos más usados son:

Placa orificio

Tubo Venturi

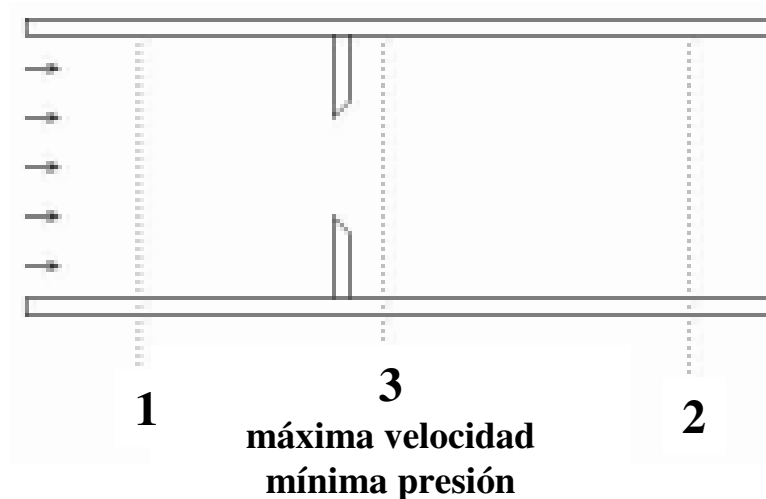
Boquilla / Codo

Tubo Pitot / Annubar

Cuña

# PLACA ORIFICIO

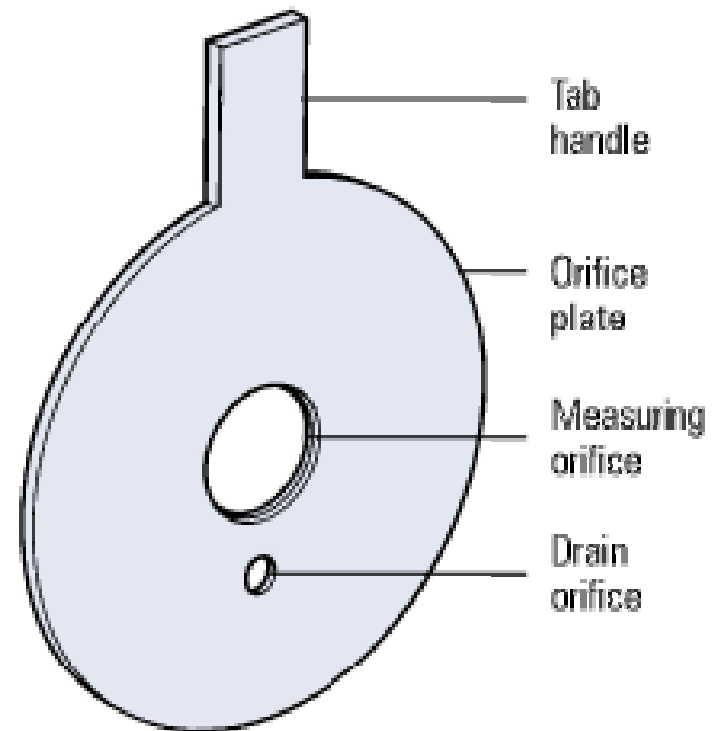
Una placa orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro de la cañería en la que está inserta. La placa orificio típica presenta un orificio concéntrico, de bordes agudos. Debido a la menor sección, la velocidad del fluido aumenta, causando la correspondiente disminución de la presión. El caudal puede calcularse a partir de la medición de la caída de presión en la placa orificio,  $P_1$ - $P_3$ . La placa orificio es el sensor de caudal más comúnmente utilizado, pero presenta una presión no recuperable muy grande, debido a la turbulencia alrededor de la placa, ocasionando un alto consumo de energía.



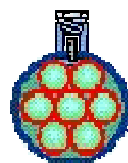
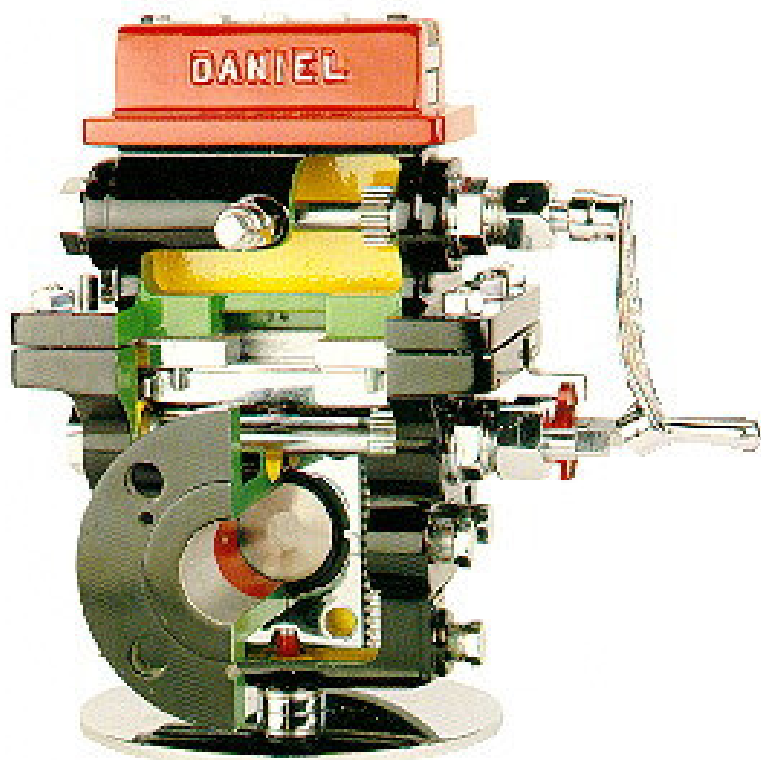
# PLACA ORIFICIO

- Es una forma sencilla de medir caudal (es una chapa precisamente agujereada).
- Es importante diferenciar entre una medición de proceso y una medición fiscal.
- En ciertos casos, cuando circula gas se utiliza un transmisor multivariable.
- Suelen requerir arreglos de piping específicos para poder cumplimentar con sus importantes requisitos de tramos rectos.

# PLACA ORIFICIO



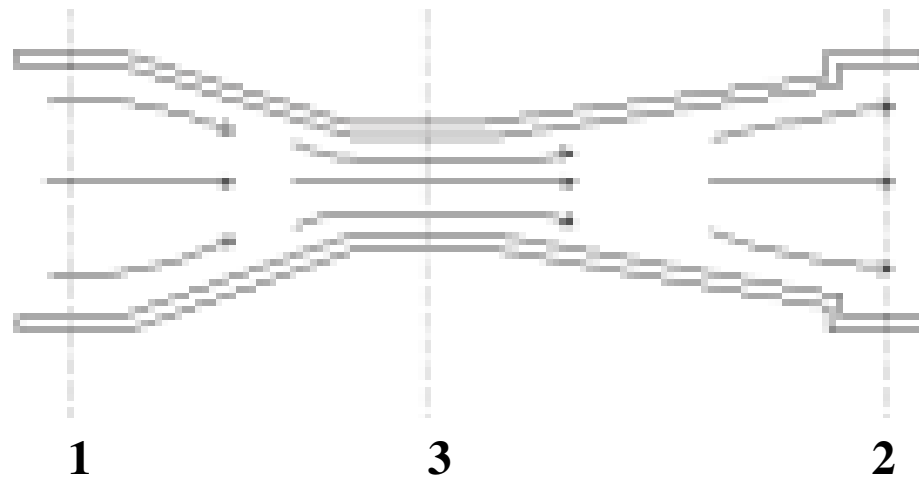
# PLACA ORIFICIO



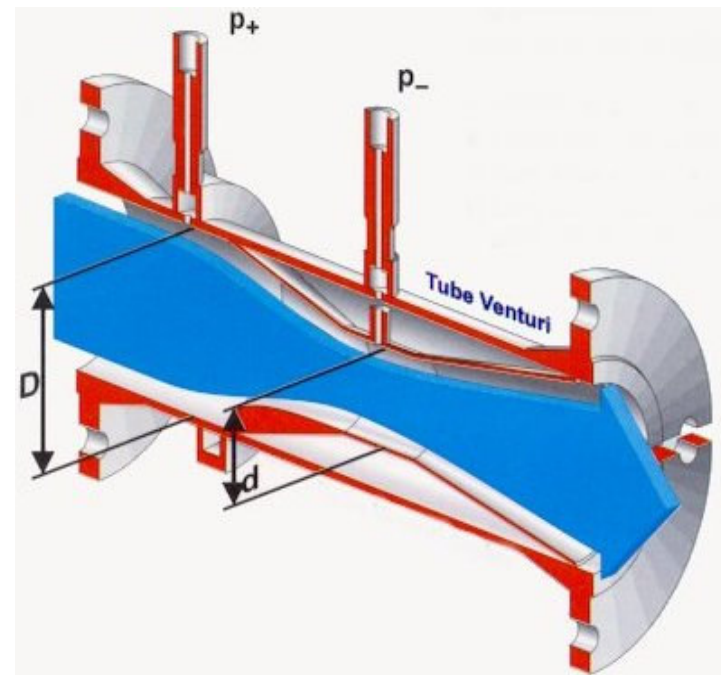
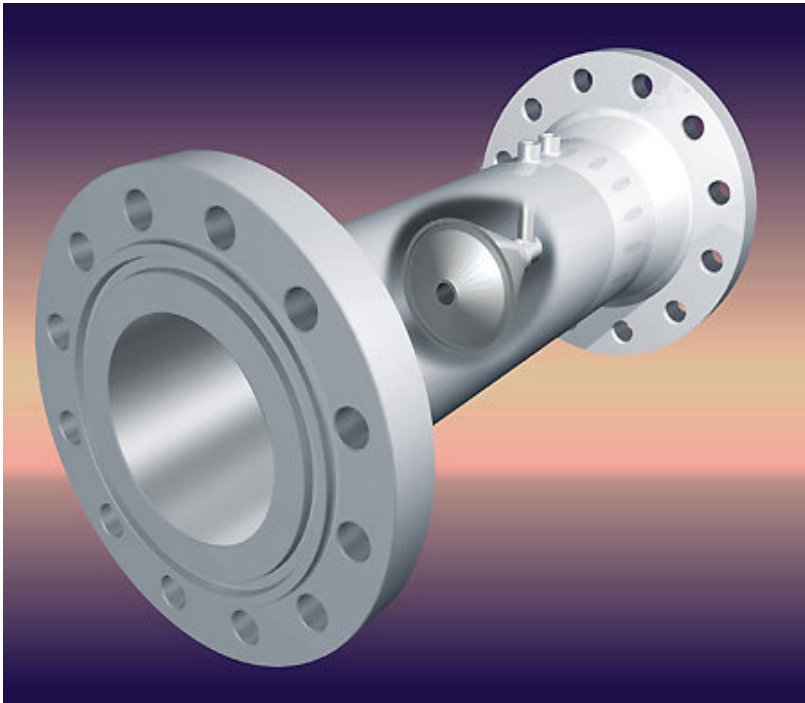


# TUBO VENTURI

El tubo Venturi es similar a la placa orificio, pero está diseñado para eliminar la separación de capas próximas a los bordes y por lo tanto producir arrastre. El cambio en la sección transversal produce un cambio de presión entre la sección convergente y la garganta, permitiendo conocer el caudal a partir de esta caída de presión. Aunque es más caro que una placa orificio, el tubo Venturi tiene una caída de presión no recuperable mucho menor.



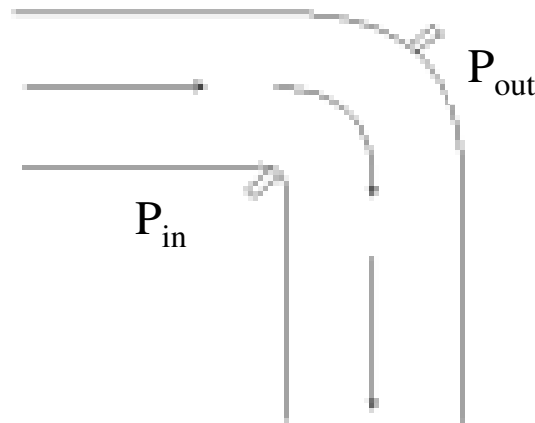
# TUBO VENTURI



# BOQUILLA Y CODO

Una boquilla es una restricción con una sección de aproximación de contorno elíptico que termina en una garganta de sección circular. Se mide la caída de presión entre un diámetro aguas arriba y un diámetro y medio aguas abajo de la cañería. Las boquillas proveen una caída de presión intermedia entre la placa orificio y el tubo Venturi.

El codo produce un cambio de dirección en el flujo del fluido en una cañería, generando una presión diferencial, resultante de la fuerza centrífuga. Dado que en las plantas de procesos se dispone de codos, el costo de estos medidores es muy bajo. Sin embargo la exactitud es muy pobre.

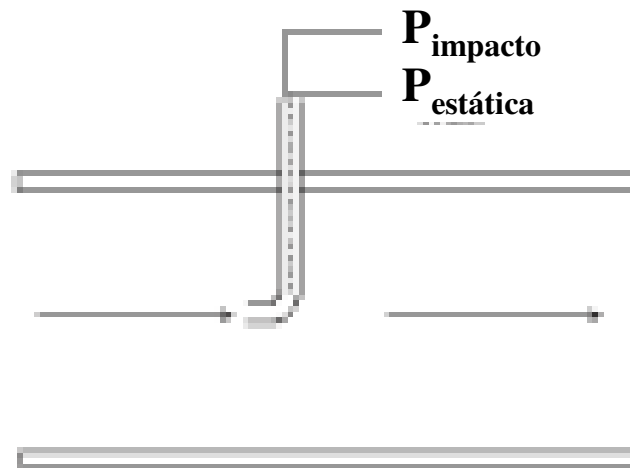


# TUBO PITOT Y ANNUBAR

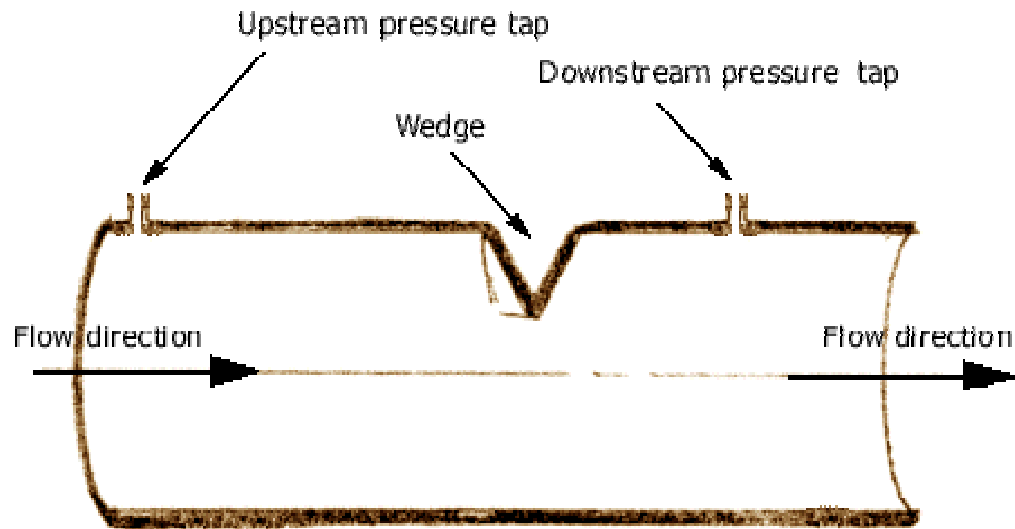
El tubo Pitot mide la presión estática y la presión dinámica del fluido en un punto de la cañería. El caudal puede determinarse a partir de la diferencia entre ambas presiones.

Un Annubar consiste de varios tubos Pitot ubicados a través de la cañería para proveer una aproximación al perfil de velocidad. El caudal total puede determinarse a partir de esas múltiples mediciones.

El tubo Pitot y el Annubar aportan caídas de presión muy bajas, pero no son físicamente resistentes y solamente pueden ser usados con líquidos claros.



# ANNUBAR / CUÑA



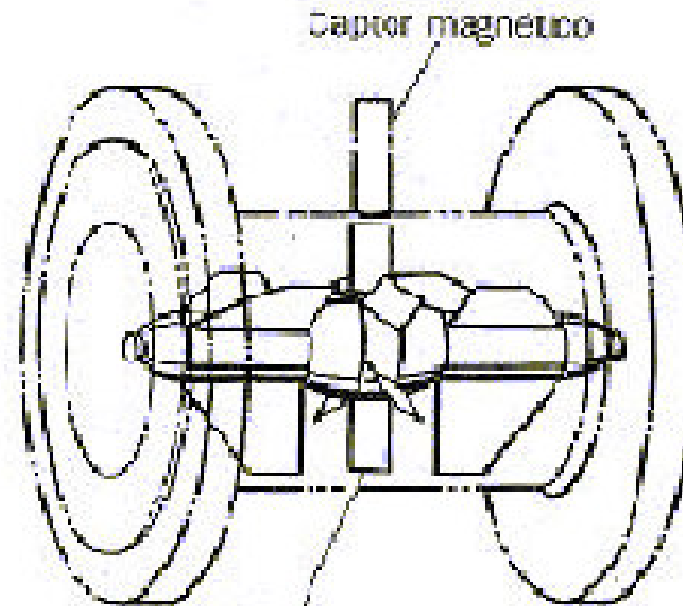
# CAUDALÍMETRO A TURBINA

Se usa para medir caudal de líquidos limpios mediante la detección de la rotación de los álabes de una turbina colocada en la corriente de flujo. Las partes básicas del medidor son el rotor de turbina y el detector magnético. El fluido que circula sobre los álabes del rotor lo hace girar y la velocidad rotacional es proporcional al caudal volumétrico.

El detector magnético consiste de un imán permanente con devanados de bobina que capta el pasaje de los álabes de turbina.

El paso de los álabes delante del detector hace interrumpir el campo magnético y produce una tensión en la bobina.

La frecuencia con que se genera esta tensión es proporcional al caudal y se la acondiciona en una salida de pulsos y/o analógica.



# MEDIDOR DE DESPRENDIMIENTO DE VÓRTICES

Se usan para medir el caudal con la ayuda de un cuerpo que genera vórtices.

El principio básico de un medidor de vórtices es que los remolinos se desprenden del cuerpo a una frecuencia proporcional al caudal volumétrico que está circulando.

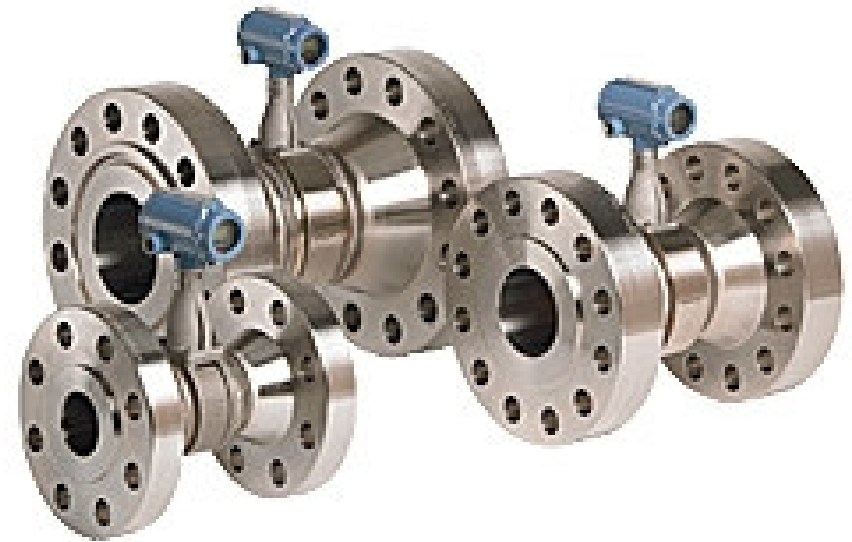
Los vórtices son detectados por distintos medios. A medida que los vórtices se van desplazando a través del medidor, crean áreas alternadas de baja y alta presión.

Estas presiones alternadas hacen responder al elemento de detección produce una señal eléctrica de la misma frecuencia con que se generan los vórtices. Esta frecuencia es acondicionada en una salida de pulsos y/o analógica. La señal de salida es proporcional a la velocidad del fluido.

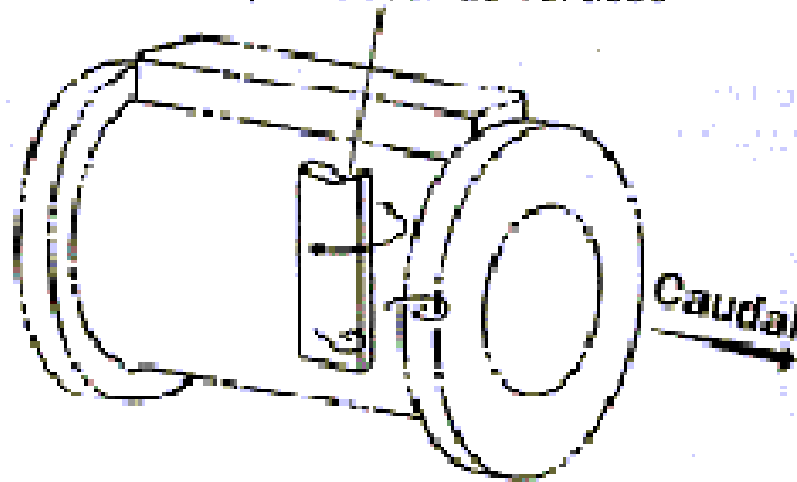
Al igual que en los másticos, las vibraciones pueden interferir con la medición.

Los diámetros libres de cañería son un factor crítico para su correcto funcionamiento.

# DESPRENDIMIENTO DE VÓRTICES (VORTEX)



Desprendedor de vórtices





# MEDIDOR DE ENGRANAJES

Es uno de los tipos más populares de medidor de desplazamiento positivo.

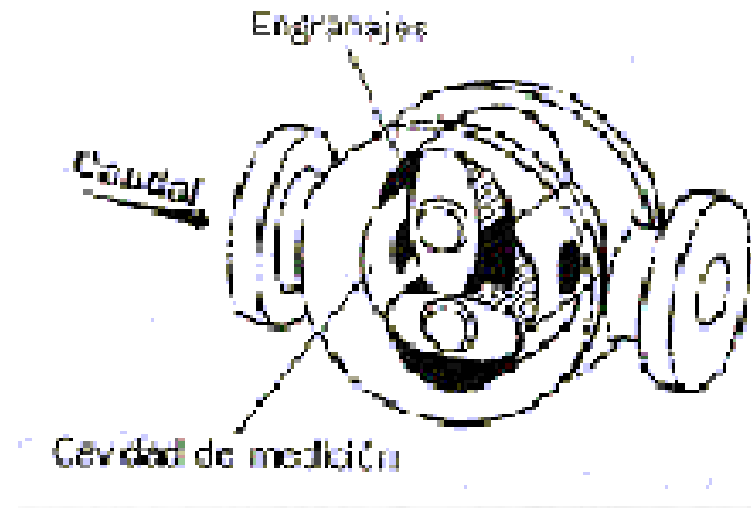
Consiste de dos ruedas maquinadas y una cavidad de medición.

El paso del fluido a través del medidor hace girar las ruedas ovaladas.

Cada rotación de las ruedas corresponde al paso de una cantidad conocida de fluido a través del medidor.

La rotación de las ruedas suele ser detectada por un sensor de proximidad que genera una señal eléctrica con una frecuencia proporcional al caudal.

Esta señal es acondicionada luego en una salida de pulsos y/o analógica.



# TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Presenta dos elementos básicos: una placa orificio y un transmisor de presión diferencial.

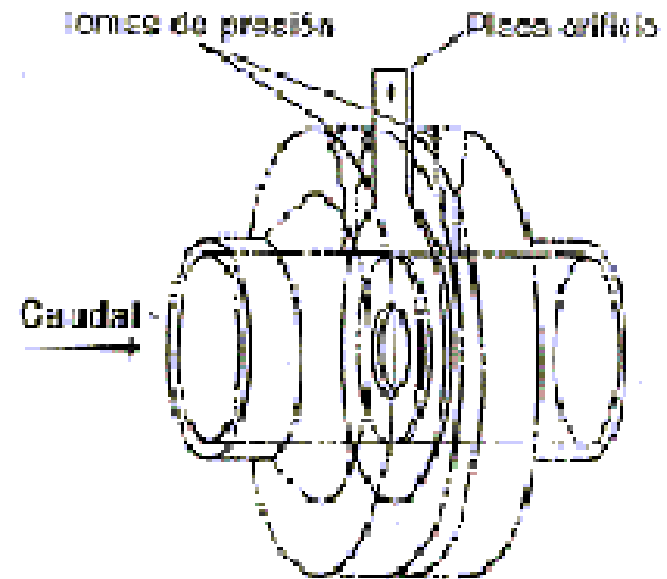
La placa orificio es una placa delgada con un orificio que actúa como restricción en la corriente de flujo. Como el área de la corriente de flujo disminuye a medida que el fluido pasa a través del orificio, su velocidad aumenta.

La energía requerida para incrementar la velocidad del fluido se obtiene a través de una reducción en la presión estática.

Midiendo el cambio que se produce en la presión estática con un transmisor de presión diferencial, se puede inferir el caudal volumétrico.

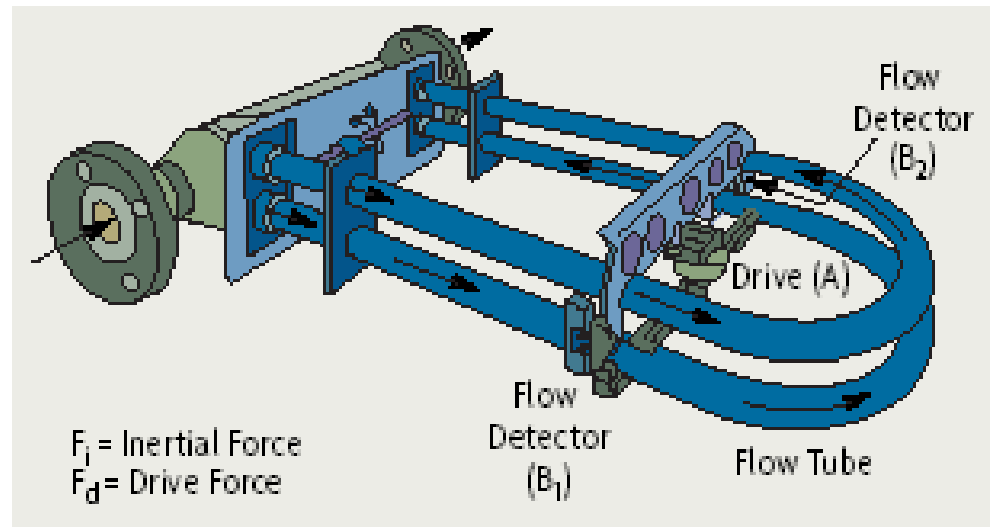
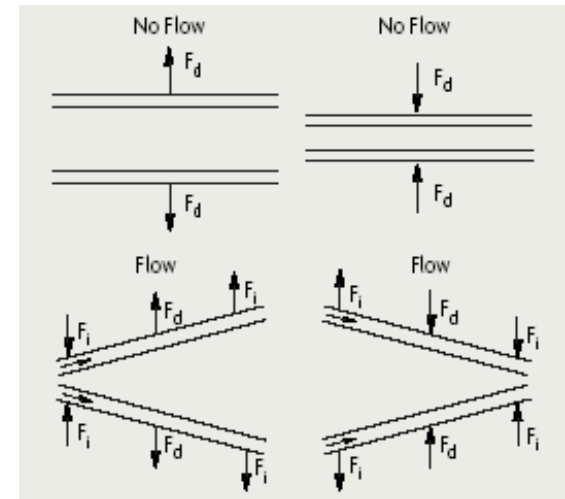
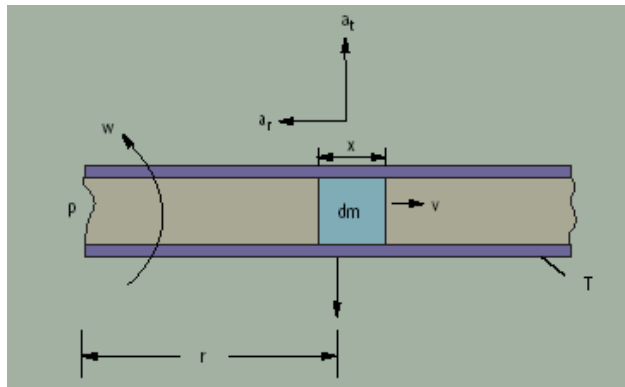
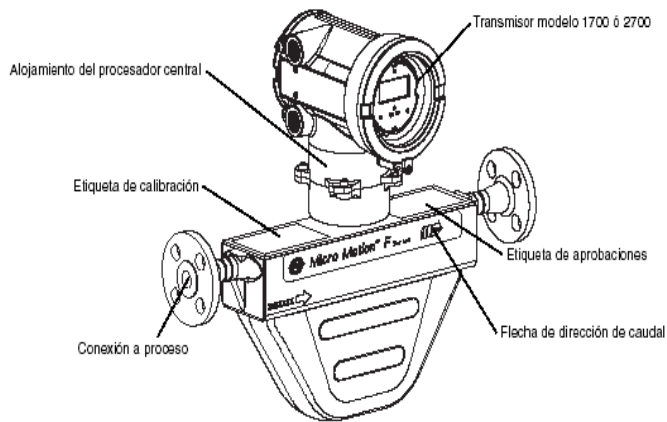
La raíz cuadrada de la salida del transmisor de presión diferencial es proporcional al caudal.

# TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL



Sensor	Rangeability <sup>1</sup>	Accuracy <sup>2</sup>	Dynamics (s)	Advantages	Disadvantages
orifice	3.5:1	2-4% of full span	-	-low cost- extensive industrial practice	-high pressure loss -plugging with slurries
venturi	3.5:1	1% of full span	-	-lower pressure loss than orifice -slurries do not plug	-high cost -line under 15 cm
flow nozzle	3.5:1	2% full span	-	-good for slurry service -intermediate pressure loss	-higher cost than orifice plate -limited pipe sizes
elbow meter	3:1	5-10% of full span	-	-low pressure loss	-very poor accuracy
annubar	3:1	0.5-1.5% of full span	-	-low pressure loss- large pipe diameters	-poor performance with dirty or sticky fluids
turbine	20:1	0.25% of measurement	-	-wide rangeability -good accuracy	-high cost -strainer needed, especially for slurries
vortex shedding	10:1	1% of measurement	-	-wide rangeability -insensitive to variations in density, temperature, pressure, and viscosity	-expensive
positive displacement	10:1 or greater	0.5% of measurement	-	-high rangeability -good accuracy	-high pressure drop -damaged by flow surge or solids

# TRANSMISOR DE CAUDAL MÁSIICO



# TRANSMISOR DE CAUDAL MÁSICO

- Usa el principio Coriolis (movimiento de cuerpos y rotación de la tierra). La rotación se reemplaza por vibración de uno ó dos tubos en U, anclados en sus extremos. Miden directamente el caudal másico, en base a la frecuencia de resonancia de los tubos, la densidad y la temperatura.
- Es el instrumento más preciso de los normalmente utilizados.
- Es apto para operar en campo con casi todo tipo de fluidos. Tiene buena exactitud en líquidos y en gases, alta estabilidad en un amplio rango de operación, rango de temperatura de proceso desde  $-200^{\circ}\text{C}$  hasta  $350^{\circ}\text{C}$ . Es apto para uso en áreas clasificadas. Posee un sistema que independiza al dispositivo contra las cargas y vibraciones externas.
- No requiere tramos rectos de cañería.
- Es muy sensible a vibraciones que existen en la línea.
- Puede tener el transmisor local o remoto.

# TRANSMISOR DE CAUDAL MÁSSICO

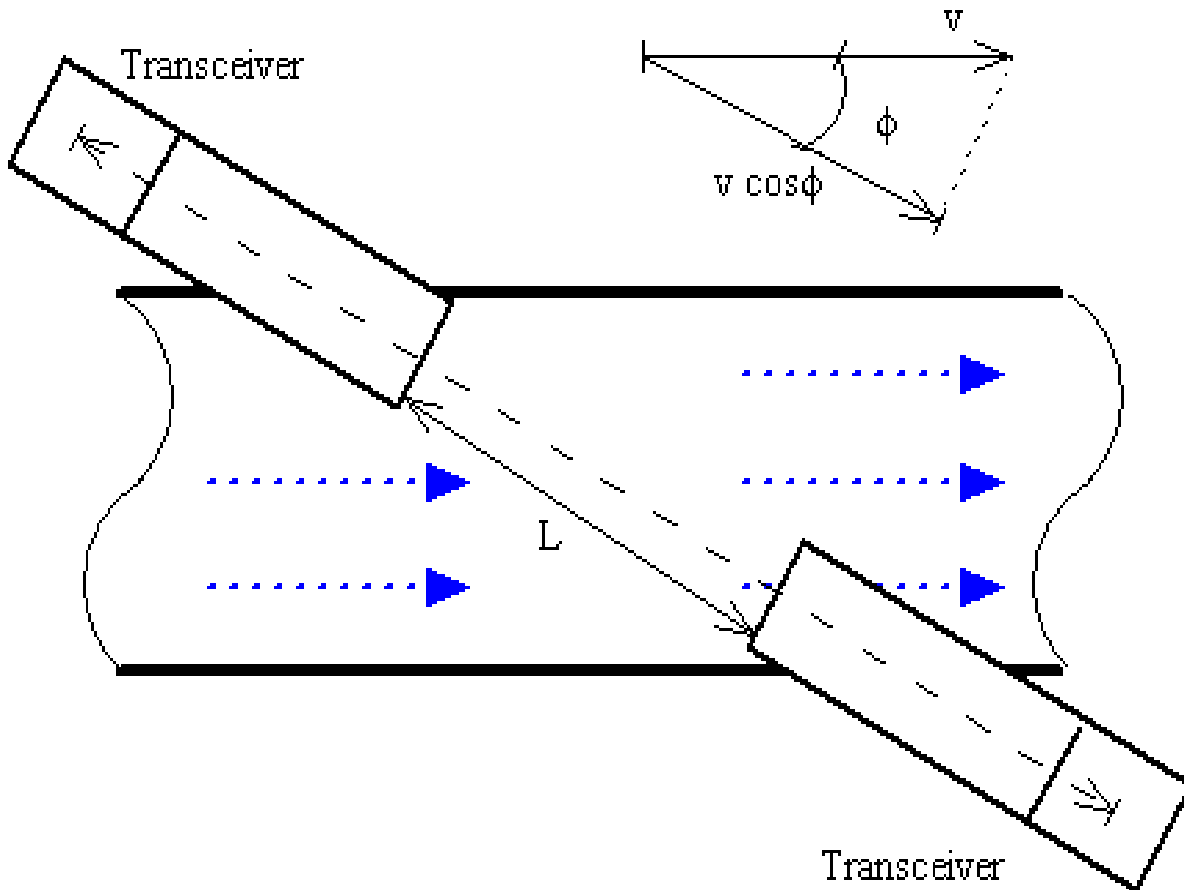


# TRANSMISOR DE CAUDAL ULTRASÓNICO

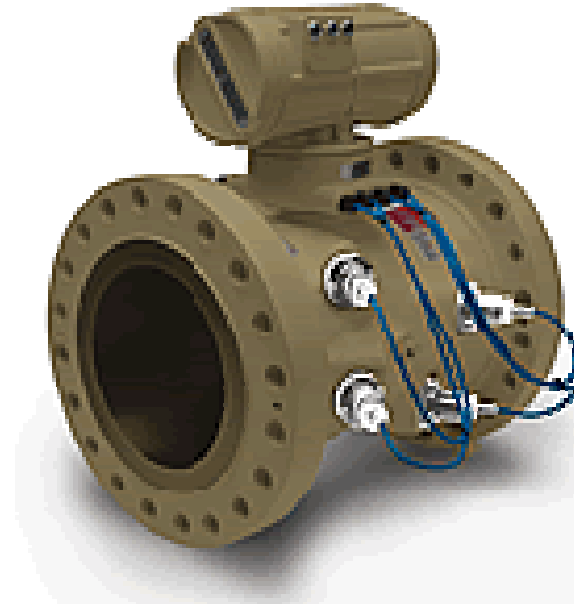
- Suele venir instalado en un carretel adaptador (spool).
- Los diámetros libres son críticos para su correcto funcionamiento.
- Al igual que las placas orificio, existen versiones para medición fiscal y para medición de proceso.
- Existe una alternativa que se monta por fuera de los caños (Clamp-on)



# TRANSMISOR DE CAUDAL ULTRASÓNICO



# TRANSMISOR DE CAUDAL ULTRASÓNICO



# CAUDALÍMETRO MAGNÉTICO

Su funcionamiento se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética. Una partícula cargada eléctricamente que pasa a través de un campo magnético produce una tensión que es perpendicular tanto al campo magnético como al vector velocidad y esta tensión es proporcional a la velocidad de la partícula.

Dado que un líquido conductivo contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión (Ley de Faraday).

Los caudalímetros magnéticos generan un campo magnético perpendicular a la corriente de flujo y miden la tensión producida por el fluido que pasa a través del instrumento. La tensión producida es proporcional a la velocidad media del fluido.

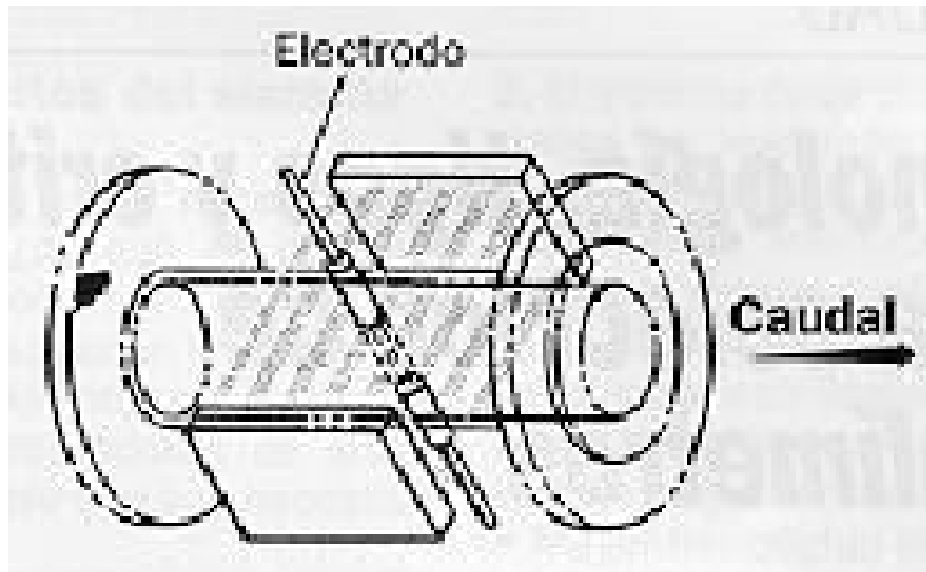
Esta tensión es acondicionada y suministrada como salida analógica.

Suelen venir instalados en un carretel adaptador.

Los diámetros libres son críticos para su correcto funcionamiento.

Solo sirven para fluidos polares.

# CAUDALÍMETRO MAGNÉTICO



# **REFERENCIA**

**www.efunda.com/  
designstandards/  
sensors/  
flowmeters/  
flowmeter\_intro.cfm**