



# TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica  
Ing. Electrónica

## Unidad V : Sensores de Caudal



FCEFN - UNC - Ing. Gabriel Gómez (ggomez@unc.edu.ar)



# Agenda:

Introducción

Clasificación y unidades

Principios de funcionamiento

Calibración

Guía de selección

Guía de instalación

Fabricantes

Resumen





# INTRODUCCIÓN

# Introducción

- Interés en caudal de aire y agua (navegación y distribución por acueductos). “Sacerdotes del Agua” (arrozales Bali).
- Contribuciones:
  - 1783 Bernoulli “Hydrodinamica”-> principio de conservación de la energía en los fluidos.
  - 1831 Faraday -> Leyes electromagnetismo
  - 1883 Reynolds -> perfil de velocidades

## Numero de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

D: diámetro de la cañería

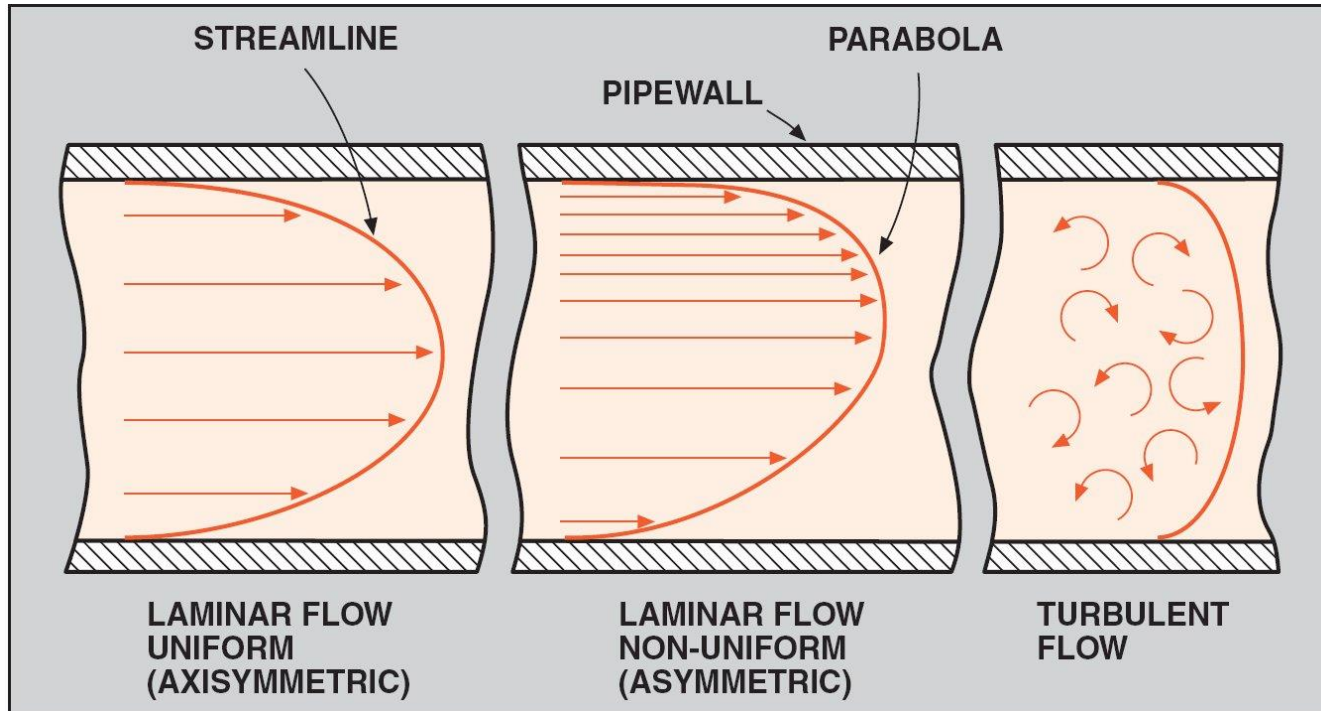
v: velocidad del fluido

$\rho$ : densidad

$\mu$ : viscosidad

Re < 2000 fuerzas de viscosidad, laminar

Re > 20000 fuerzas inerciales, turbulento



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

$$Q = \frac{1}{k} \Delta P$$

régimen turbulento  
régimen laminar



1842 Cristian Doppler -> Efecto Doppler

1843 Gaspard Coriolis -> Fuerzas de Coriolis

1954 Theodore von Karman -> teoría de  
vórtices (1968 1er caudalímetro comercial)





# CLASIFICACIÓN Y UNIDADES





**Caudal:** cantidad de producto que pasa por un conducto en una unidad de tiempo.

¿De qué podemos medir caudal?

Fluidos (liquido (no compresibles) o gas (compresibles), sólido, suspensiones (barros) y multifase.





Las *propiedades físicas y químicas* de los medios físicos tienen amplias variaciones, dando lugar a diferentes tipos de flujos. Algunos medios pueden ser más livianos o algunos pueden ser más pesado, y algunos pueden ser muy viscosos, mientras que otros pueden tener mucha turbulencia. En el caso de flujos sólidos habrá variaciones con respecto a la fluidez dependiendo de la densidad aparente y otras propiedades de los sólidos. Dependiendo de las propiedades reológicas habrá variaciones en la medición de caudal de suspensiones. En el caso de flujo multifásico, dependiendo de las fracciones de sólidos, líquidos y gases, habrá diferencias en los principios de medición de flujo.



## ■ ¿Por qué es tan importante?

- Fines contables y gestión de fugas;
- Transferencia de custodia (custody transfer): del proveedor al consumidor (especialmente en los sectores de petróleo y energía, servicios públicos);
- En cualquier planta de proceso y fabricación, incluida la gestión de la calidad en procesos por lotes, dosificación, etc.

# || ¿Qué tipos de caudal podemos medir?

- Volumétrico
- Masico
- Totalizado

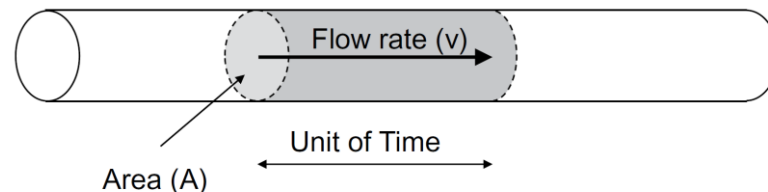


## || Caudal volumétrico:

**Caudal Volumétrico (Q):** representa el volumen total de fluido que fluye a través de una tubería por unidad de tiempo. Esta generalmente se expresa de varias maneras, por ejemplo:

- Litros por segundo (L/s)
- Galones por minuto (g/min)
- Metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h)

$$Q = v * A$$

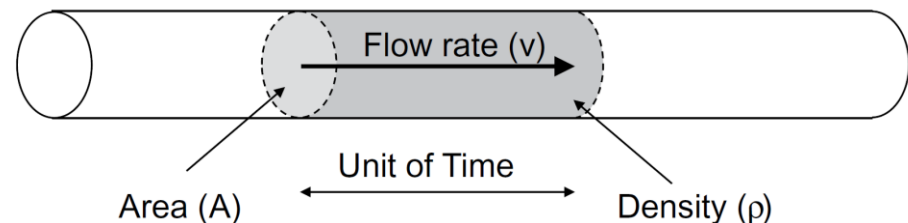


## || Caudal masico:

**Caudal másico ( $Q_m$ ):** da la masa total de fluido que fluye en cualquier momento. Esta generalmente se expresa de varias maneras, por ejemplo:

- kg por segundo (kg/s)
- libras por minuto (lb/min)
- Onzas por hora (oz/h)

$$Q_m = v * A * \rho$$

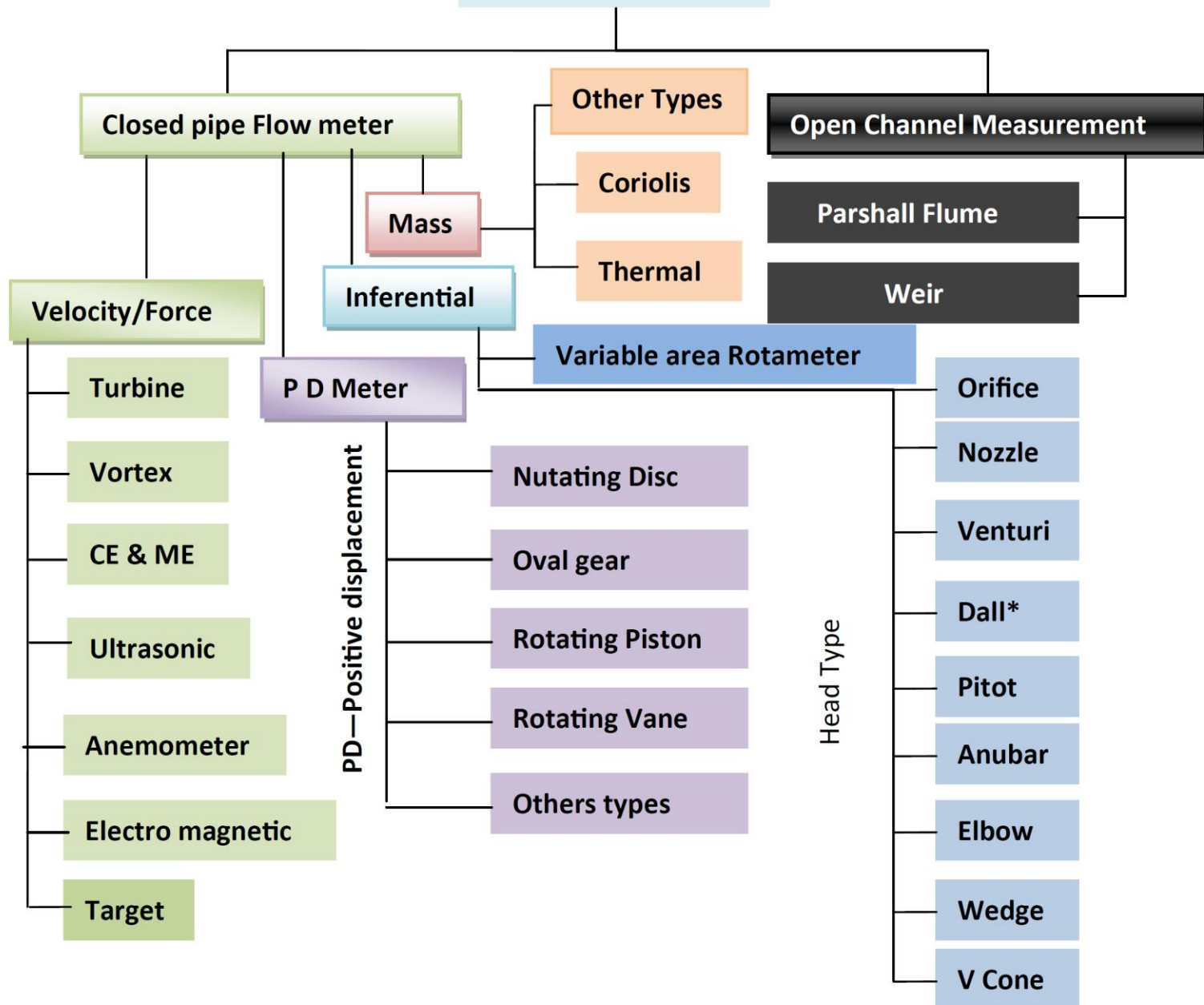


## || Caudal totalizado:

**Caudal totalizado ( $Q_T$ ):** es el total acumulado de la cantidad de fluido (líquido, gas o vapor) que ha pasado por el sistema de medición en un tiempo determinado. Esta generalmente se expresa de varias maneras, por ejemplo:

- kg (kg)
- Litros (l)
- Metros cúbicos ( $m^3$ )

# Fluid Flow metering





# SOLID FLOW MEASURING PRINCIPLES

## FORCE & DEFLECTION

DEFLECTION CHUTE

IMPACT SCALE

CORIOLIS FLOW METER

## LOAD & SPEED

LOSS IN WEIGHT

GRAVIMETRIC FEEDER

WEIGH FEEDER/ BS

## NON CONTACT

MICROWAVE

NUCLEONIC

BS= BELT

# || Consideraciones para medir gases

## **Caudales normales, estándar y actuales para gases**

Son términos de uso frecuente, pero ¿cuál es la diferencia entre el caudal normal, el caudal estándar y el caudal real cuando se miden los caudales de gas?



El caudal real es el volumen real de fluido que pasa por un punto dado en una tubería por unidad de tiempo, p. Ej.  $\text{m}^3 / \text{h}$ . Esta puede ser una medida útil, sin embargo, dado que los gases son *comprimibles*, el volumen de gas variará dependiendo de su ***presión y temperatura***.

Por lo tanto, generalmente es más útil tener un caudal referenciado a una presión y temperatura establecidas, de ahí el uso de caudal estándar y caudal normal. Esto nos permite comparar diferentes flujos existentes en diferentes condiciones de flujo de presión y temperatura.





El **caudal estándar y normal** son correcciones aplicadas a una medición de caudal real basada en una temperatura y presión determinadas. La corrección se aplica utilizando la ley de los gases ideales.

$$P * V = n * R * T$$

- P = presión absoluta del gas, en Pa
- n = número de moles, in mol
- V = volumen molar del gas, in m<sup>3</sup>/mol
- T = temperatura absoluta del gas, en K
- R = constante universal de la ley de los gases 8.314472 m<sup>3</sup>·Pa·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>





Sin embargo, el problema con las condiciones Estándar y Normal es que tienen varias definiciones diferentes según la industria en la que trabaja y el país en el que trabaja. Consulte a continuación las referencias de conversión más utilizadas:



	Base Pressure	Base Temperature
Standard US	14.696 psia (101.325 kPa)	60 °F (15.55 °C)
Standard ISO	101.325 kPa (14.696 psia)	15 °C (59 °F)
Standard AGA	14.73 psia (101.560 kPa)	60 °F (15.55 °C)

	Base Pressure	Base Temperature
Normal	101.325 kPa (14.696 psia)	0 °C (32 °F)



# PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO



# Principios de funcionamiento:

- 1 – Presión diferencial
- 2 – Desplazamiento positivo
- 3 – Medidores de velocidad
- 4 – Caudalímetros másicos



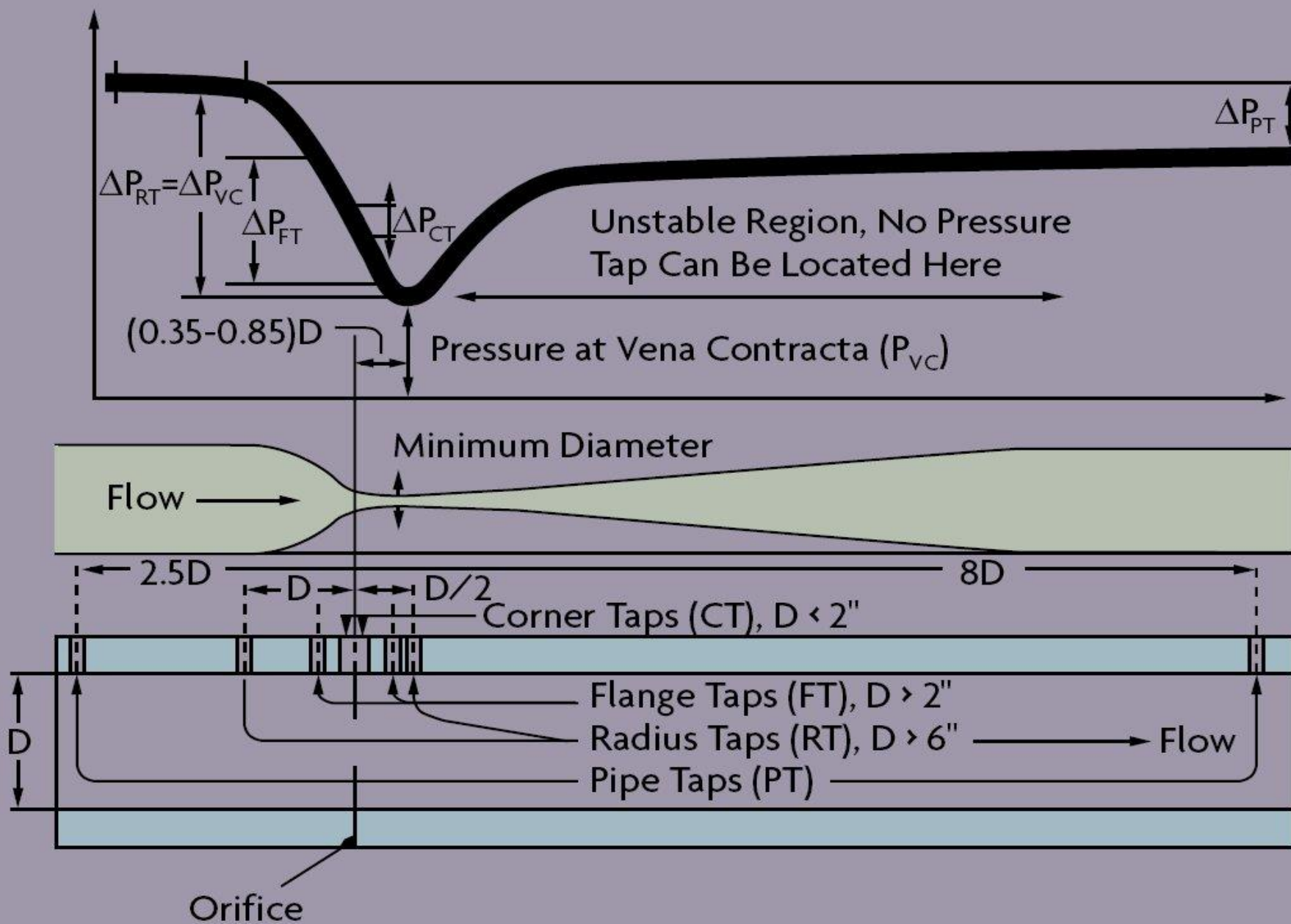





## 1. Presión diferencial

***Principio:*** teorema de Bernoulli. La energía para acelerar un fluido después de una restricción se obtiene de la presión estática del fluido.


# Static Pressure




$$V = k \sqrt{\frac{\Delta P}{D}}$$

$$Q = V \times A = kA \sqrt{\frac{\Delta P}{D}} \text{ caudal volumetrica [m}^3\text{/h]}$$

$$W = kA\sqrt{D\Delta P} \text{ caudal másico [kg/h]}$$



$K$ : coeficiente de descarga. Refleja las unidades utilizadas. Está influenciado por Re y por beta

$$\beta = \frac{d}{D}$$

$d$ : diámetro de la restricción

$D$ : diámetro de la cañería



K se puede obtener de ecuaciones o de gráficos dados por organismos y asociaciones técnicas:

- *ANSI* (American National Standards Institute)

[www.ansi.org](http://www.ansi.org)

- *API* (American Petroleum Institute)

[www.api.org](http://www.api.org)

- *ASME* (American Society of MEchanical Engineer) [www.asme.org](http://www.asme.org)

- *AGA* (American Gas Association) [www.aga.org](http://www.aga.org)



## Rangeabilidad

$$\textit{Rangeabilidad} = \frac{\textit{CaudalMáximo}}{\textit{CaudalMínimo}}$$



## ***Componentes:***

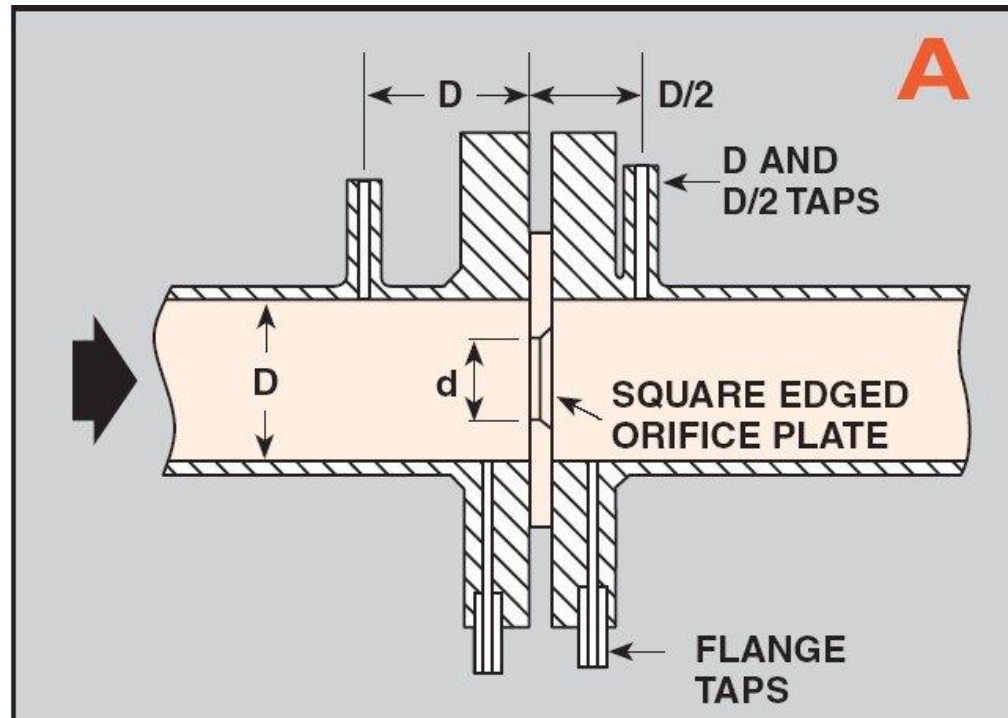
- ***Elemento primario:*** provoca cambio de energía cinética para crear la diferencia de presión
- ***Elemento secundario:*** mide la diferencia de presión y calcula el caudal.

## Tipos constructivos:

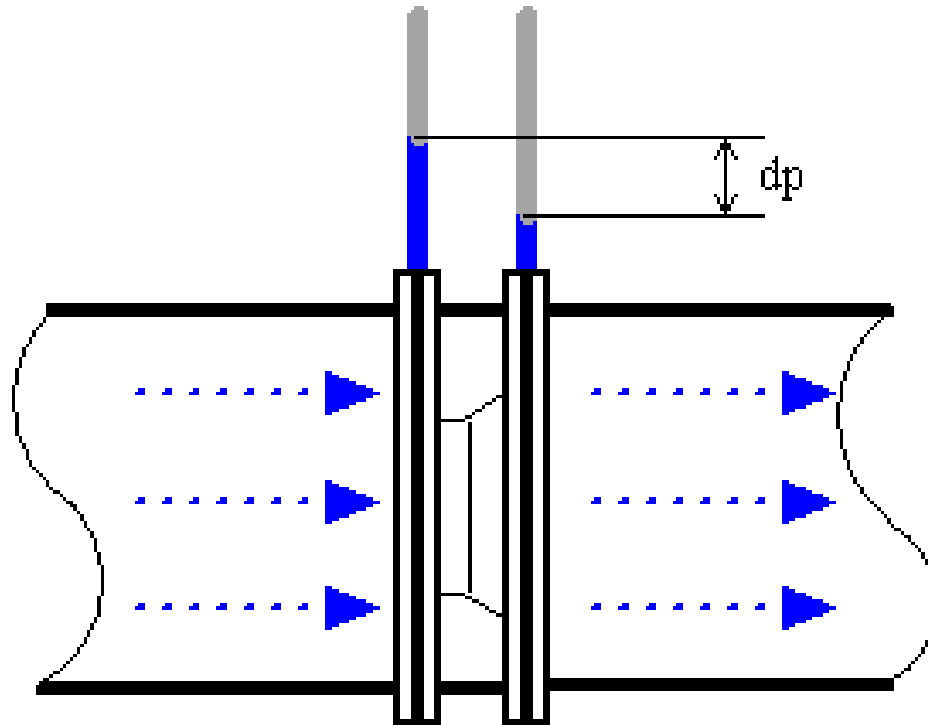
- a) Placa orificio
- b) Venturi
- c) Tubos de caudal
- d) Toberas
- e) Tubos Pitot
- f) Codos
- g) Medidores de placa
- h) Área variable

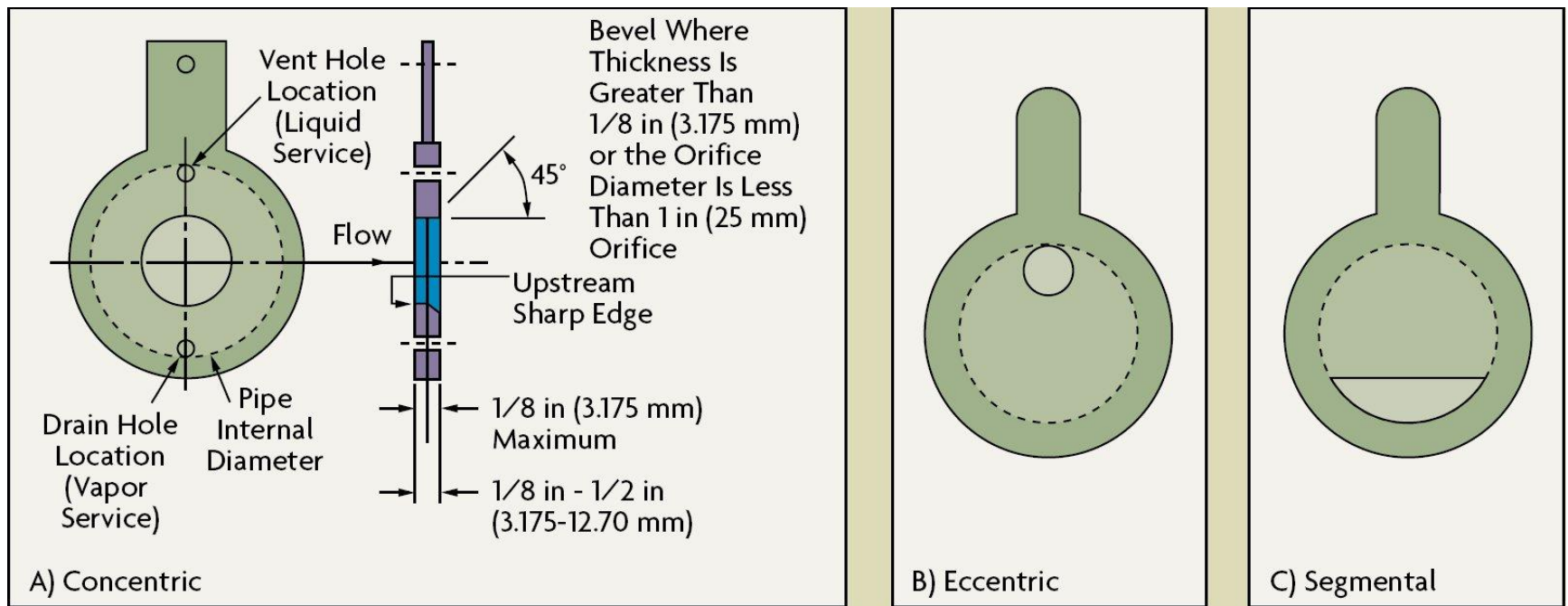
## || a) Placa orificio

Pieza plana de metal con orificio calibrado (centrado, excéntrico o segmentado).











## Orificios:

- *Cónicos*: para líquidos  $Re > 10000$
- *Segmental*: para líquidos con sólidos
- *Concéntrico*: líquidos limpios, gases o vapor  $Re > 20000$  y cañería menor a 6".

## Ventajas:

Bajo costo, sin partes móviles, económicos

## Limitaciones:

Caída de presión, fluidos limpios.

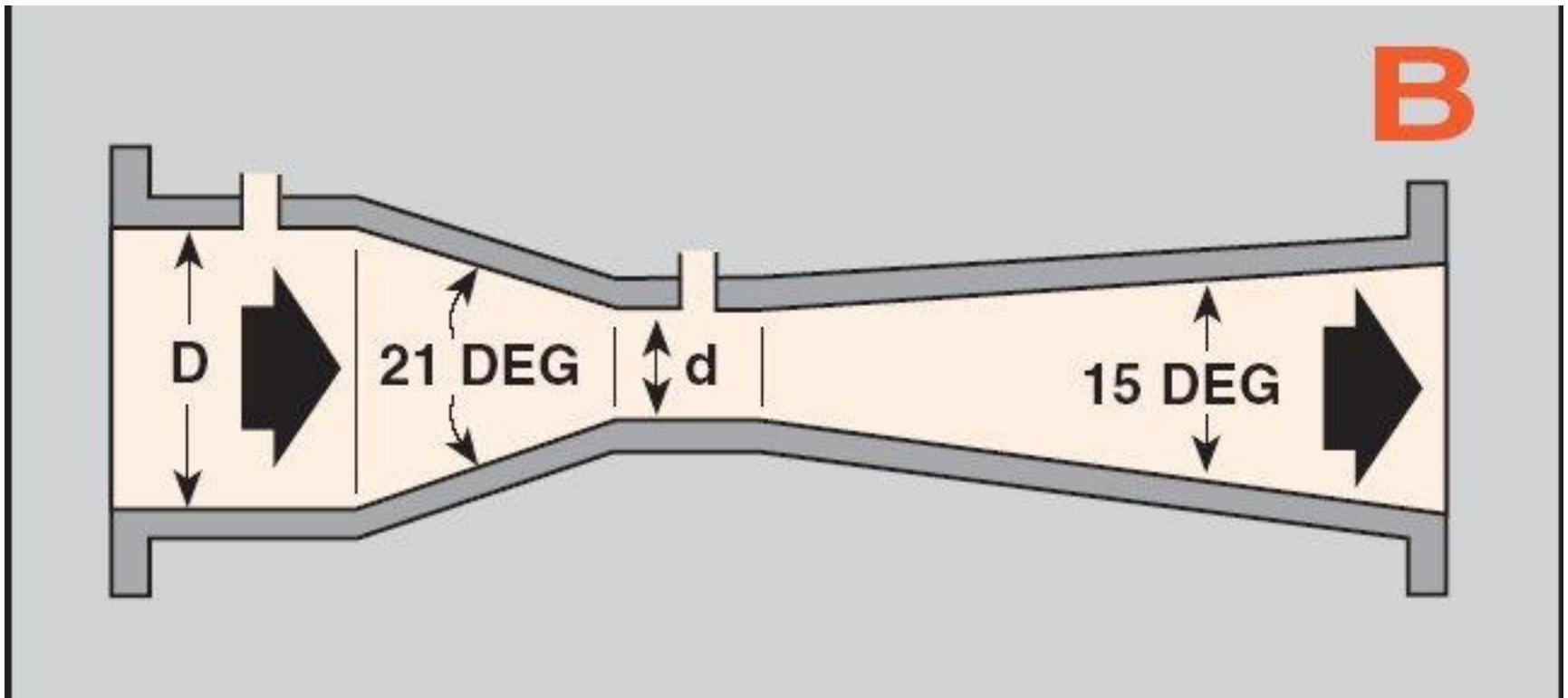


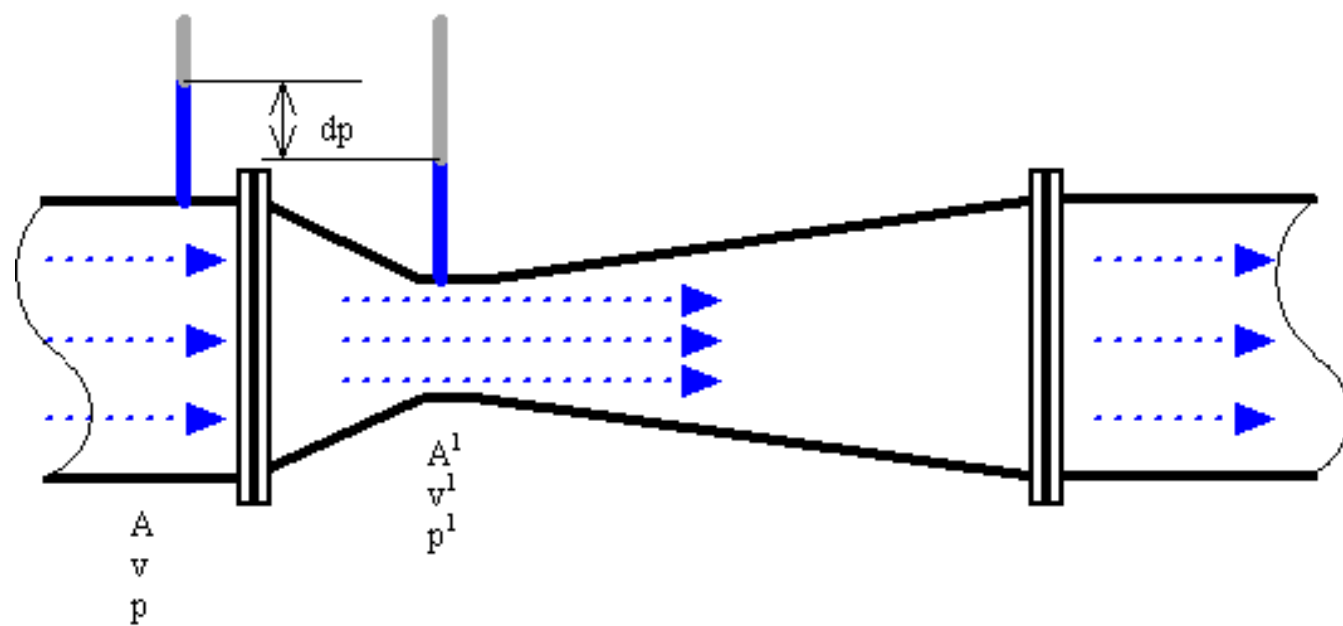
## ■ Resumen de características:

- *Servicio* = líq. Limpios, algunos lodos
- *Rangeabilidad* = 4:1
- *Pérdida de carga* = media
- *Precisión típica* = 2 á 4% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 10 a 30
- *Efecto de la viscosidad* = alto
- *Costo relativo* = bajo

## || b) Venturi

Tubo de cañería con una garganta recta. Para grandes caudales con poca pérdida de presión.







- Apto para cañerías de gran diámetro
- Apto para la mayoría de los líquidos aún con sólidos en suspensión.
- No tiene partes móviles



## ■ Resumen de características:

- *Servicio* = líq. Limpios, sucios y viscosos; algunos lodos
- *Rangeabilidad* = 4:1
- *Pérdida de carga* = baja a media
- *Precisión típica* = 1% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 5 a 20
- *Efecto de la viscosidad* = alto
- *Costo relativo* = medio



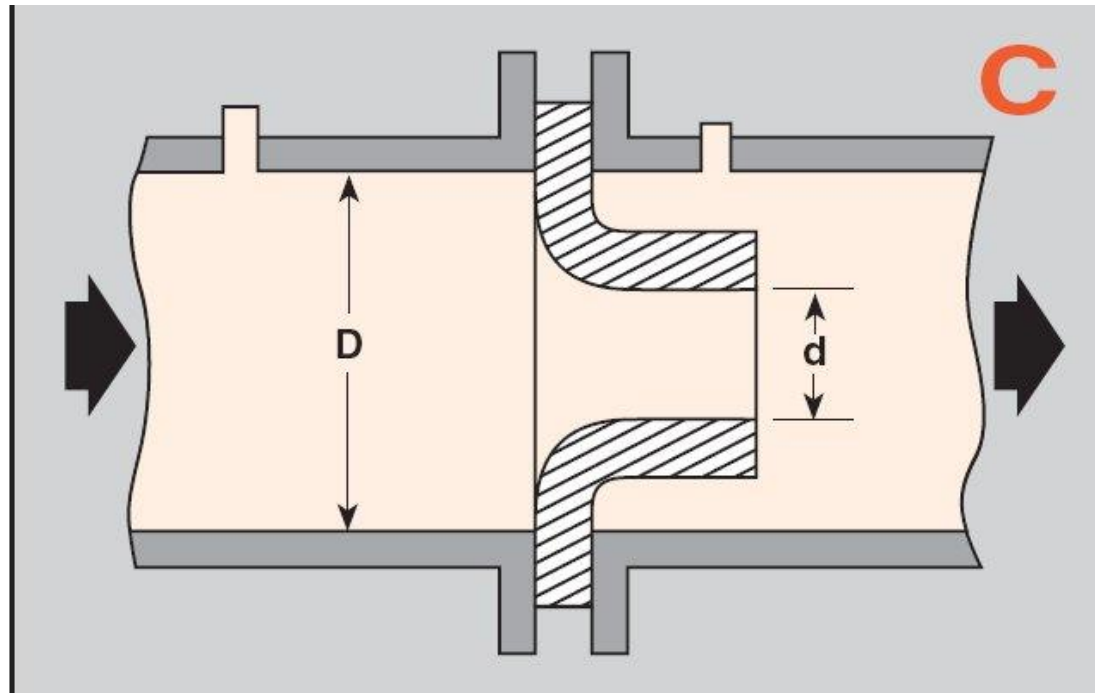
## || c) Tubos de caudal

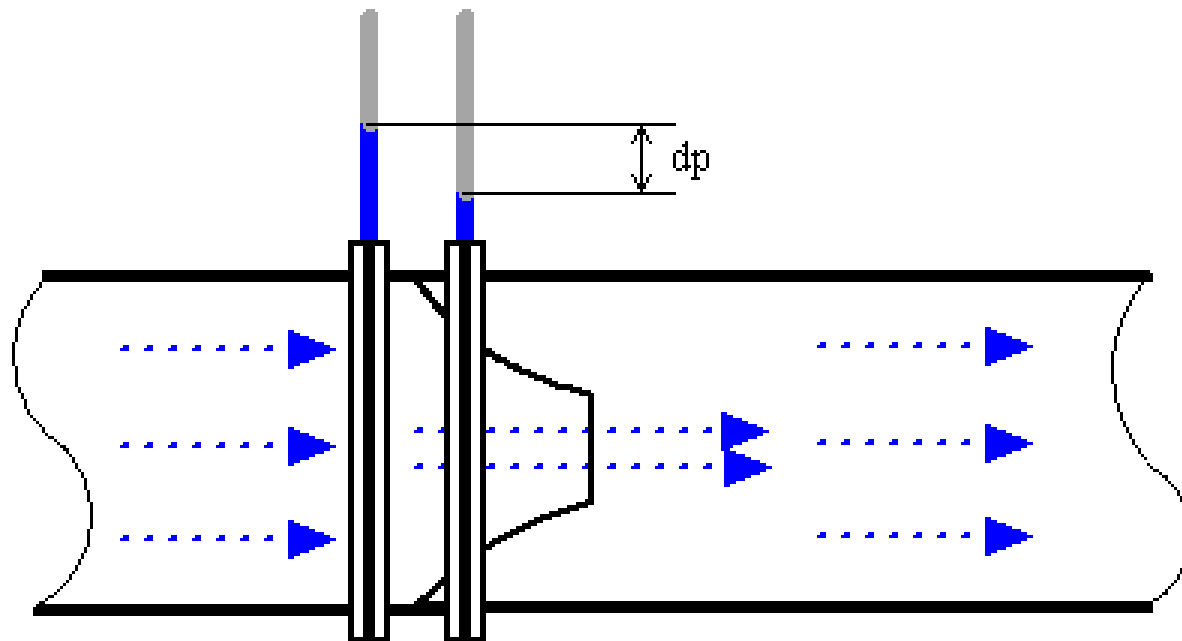
Similares al tubo Venturi, pero sin el cono de entrada.



## || d) Toberas

A altas velocidades pueden manejar hasta 60% más de caudal que una placa orificio con la misma caída de presión.







No se recomienda para líquidos muy viscosos o con gran cantidad de sólidos en suspensión.



## ■ Resumen de características:

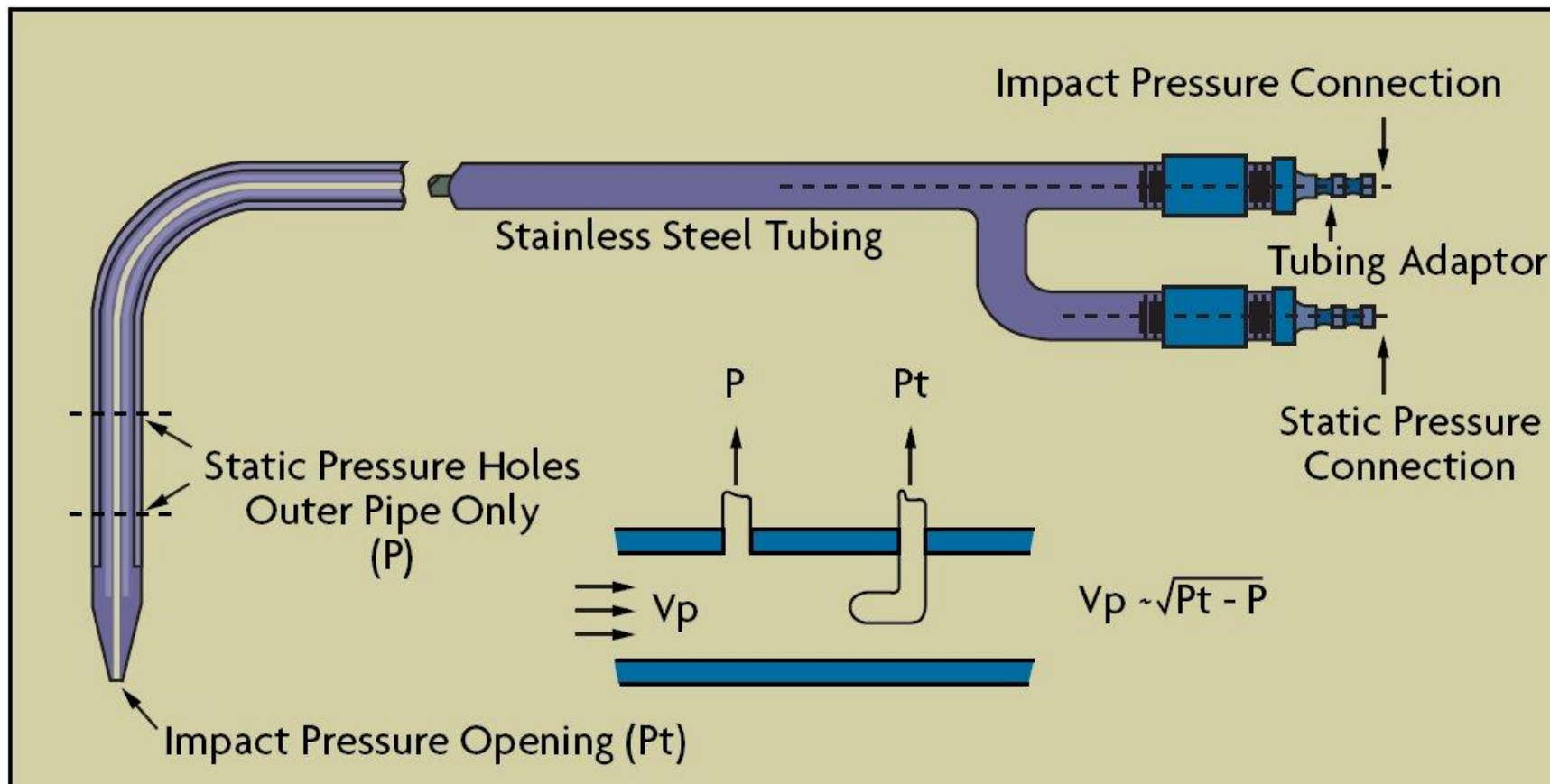
- *Servicio* = líq. Limpios y sucios.
- *Rangeabilidad* = 4:1
- *Pérdida de carga* = media
- *Precisión típica* = 1 a 2% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 10 a 30
- *Efecto de la viscosidad* = alto
- *Costo relativo* = medio

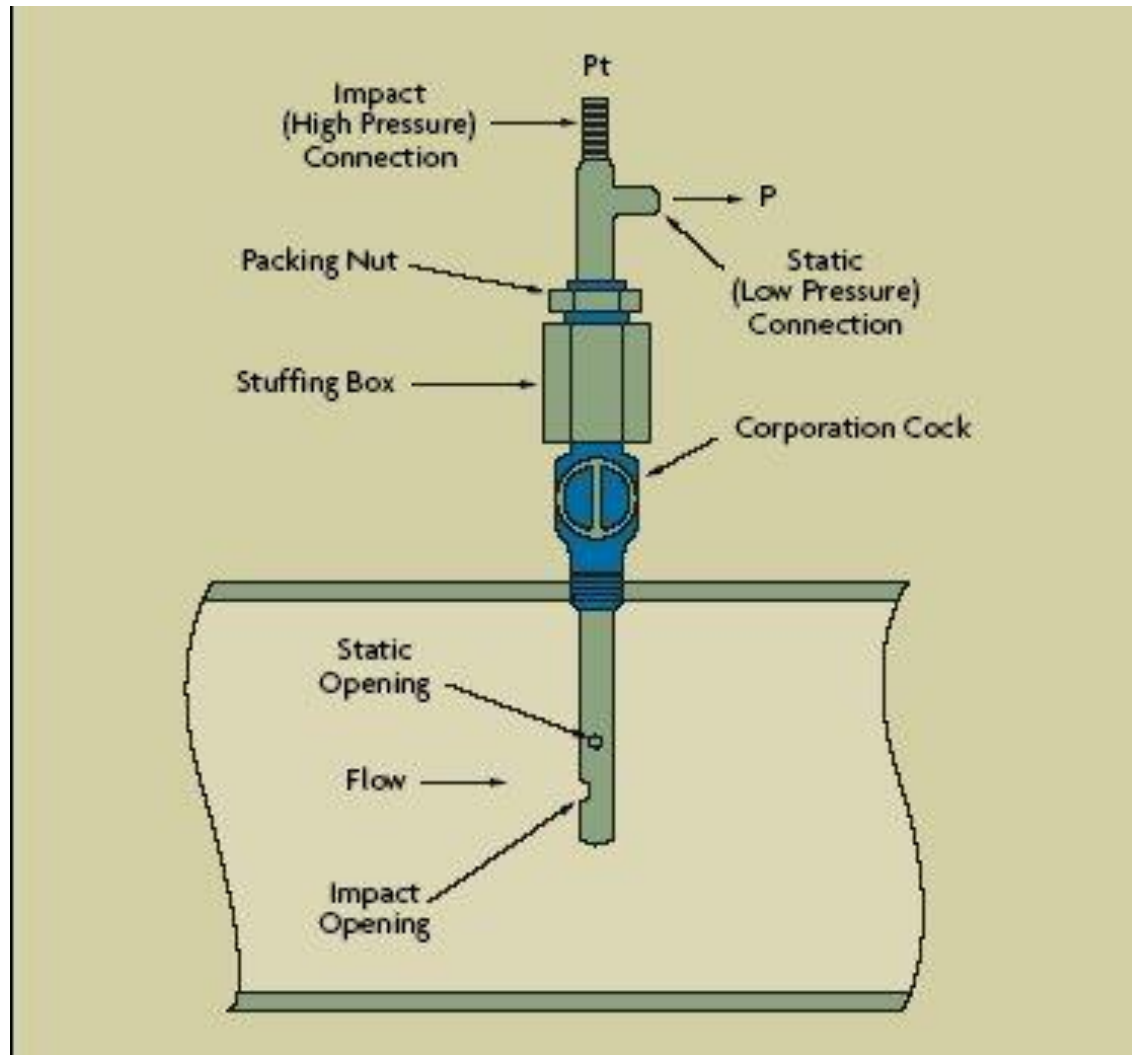
## ■ e) Tubos Pitot

Sensan dos presiones (de impacto y estática). La de impacto se mide con un tubo orientado hacia el fluido.

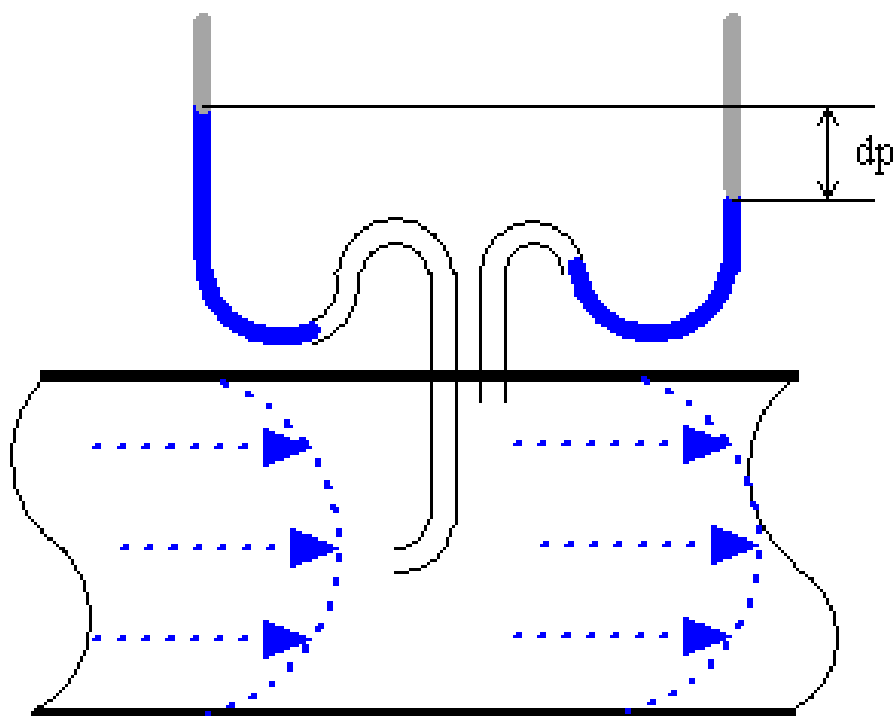
Tipos:

- De tubo simple (mide la presión estática en las paredes de la cañería)
- De doble tubo











## **Ventajas:**

Bajo costo, sin partes móviles, fácil instalación, mínima caída de presión.

## **Limitaciones:**

Poca precisión.

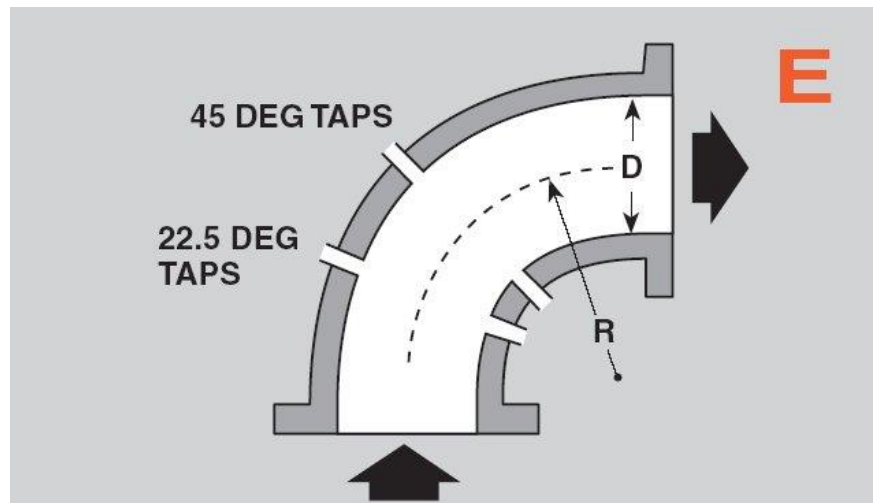


## ■ Resumen de características:

- *Servicio* = líq. Limpios
- *Rangeabilidad* = 3:1
- *Pérdida de carga* = muy baja
- *Precisión típica* = 3 a 5% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 20 a 30
- *Efecto de la viscosidad* = bajo
- *Costo relativo* = bajo

## f) Codos

Un líquido viajando en trayectoria circular ejerce sobre la superficie interior del codo una fuerza centrífuga proporcional a la densidad del fluido multiplicada por la raíz cuadrada de la velocidad



## Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios y sucios; algunos lodos
- *Rangeabilidad* = 3:1
- *Pérdida de carga* = muy baja
- *Precisión típica* = 5 a 10% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 30
- *Efecto de la viscosidad* = bajo
- *Costo relativo* = bajo

## ■ g) Medidores de placa

Miden la fuerza de impacto del fluido en un blanco o disco de resistencia suspendido contra la corriente.

Tipos constructivos:

- Medidor de punto
- Medidor continuo (usa strain gauge)

## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios y sucios; algunos lodos
- *Rangeabilidad* = 10:1
- *Pérdida de carga* = media
- *Precisión típica* = 1 a 5% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 10 a 30
- *Efecto de la viscosidad* = medio
- *Costo relativo* = medio

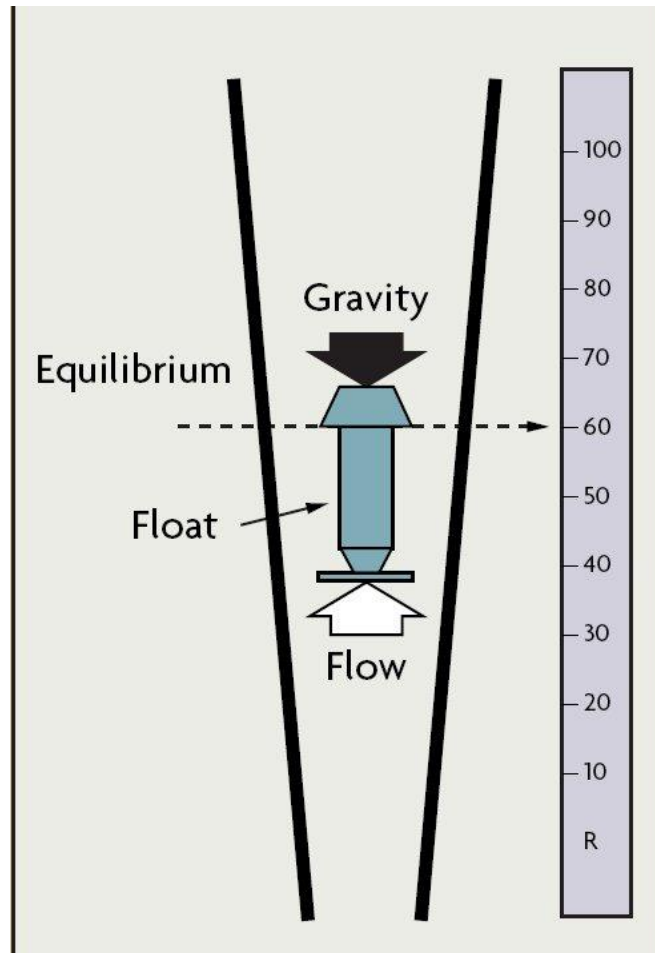
## h) Área variable (rotámetros)

Tubo cónico con flotante calibrado. El flotante se detiene en la posición donde se equilibran las presiones y su propio peso.

No requieren elemento secundario. Miden directamente sobre escala graduada.

Materiales de fabricación: vidrio, plástico y metal.





## ■ Resumen de características


- *Servicio* = líq. Limpios, sucios, viscosos.
- Rangeabilidad = 10:1
- *Pérdida de carga* = media
- *Precisión típica* = 1 a 10% FS
- *Tramos rectos requeridos* = ninguno
- *Efecto de la viscosidad* = medio
- *Costo relativo* = bajo

## 2. Desplazamiento positivo

***Principio:*** Separan el líquido en incremento medidos con precisión y los mueven hacia delante contando cada operación. Las partes mecánicas se mueven aprovechando la energía del fluido.



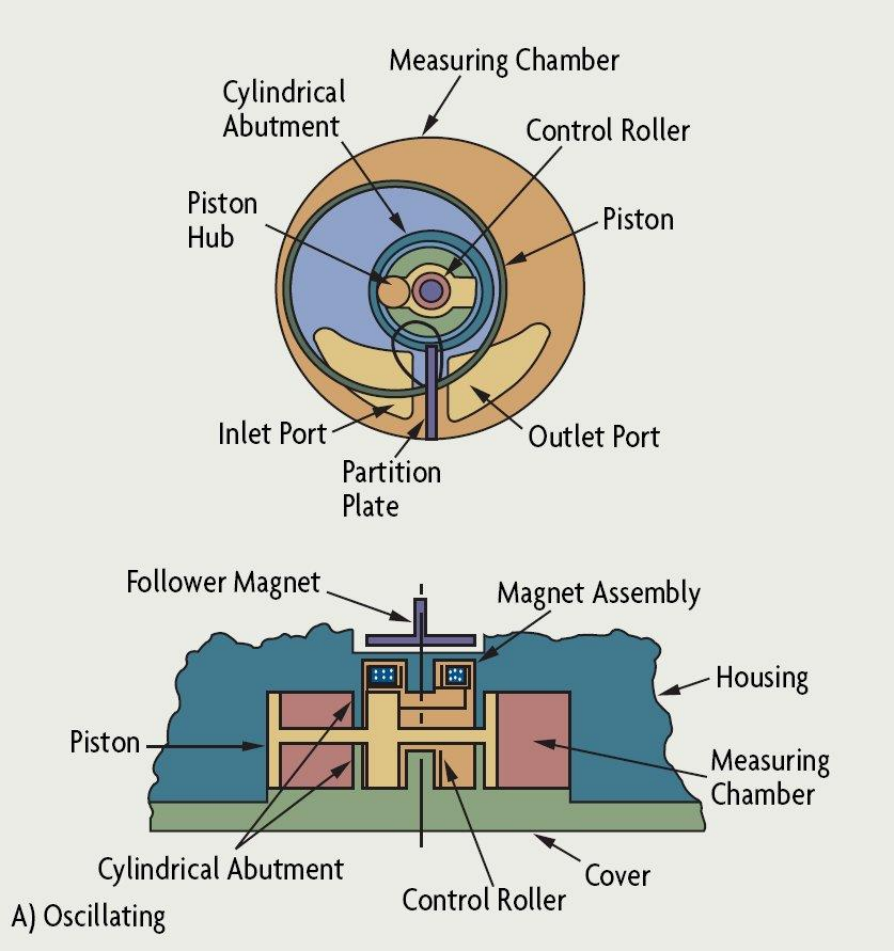
# Tipos constructivos

- a) A pistón oscilante
  - b) A pistón alternativo
  - c) Ruedas ovals
  - d) Disco oscilante
  - e) Paletas rotatorias
- 

## || a) A pistón oscilante

Una cámara de medida cilíndrica con placa divisoria para separar los orificios de entrada y salida.





## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios, viscosos.
- *Rangeabilidad* = 5:1
- *Pérdida de carga* = alta
- *Precisión típica* = 0.2% del FS
- *Tramos rectos requeridos* = ninguno
- *Efecto de la viscosidad* = alto
- *Costo relativo* = alto

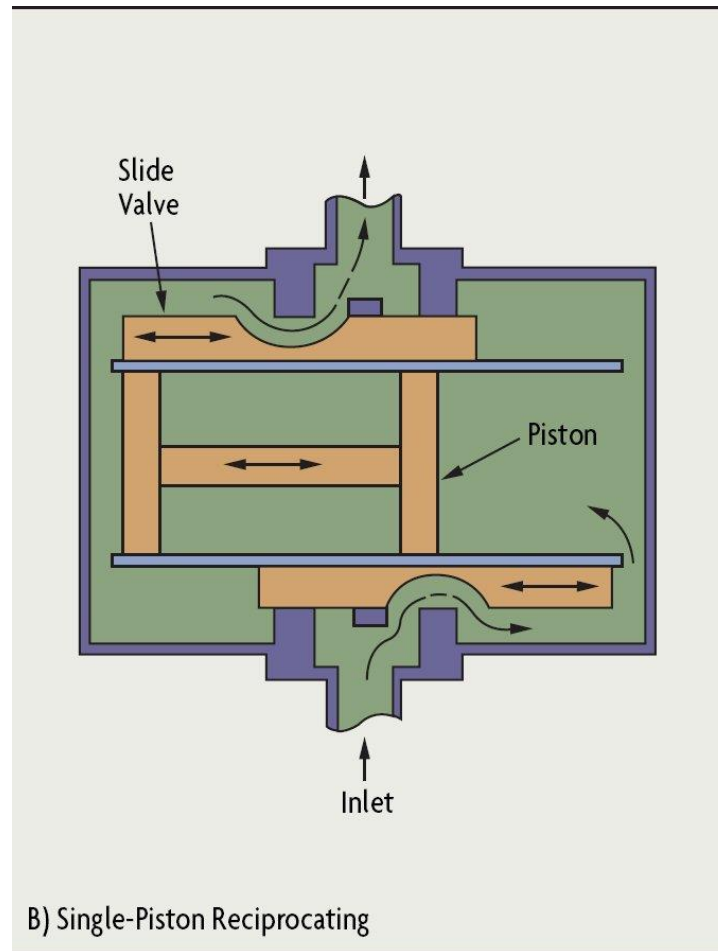
## ■ b) A pistón alternativo

Es el más antiguo de los medidores de desplazamiento.

Varias formas constructivas (varios pistones, pistones de doble acción, válvulas rotativas, válvulas deslizantes horizontales, etc.).









- Capacidad pequeña comparada con los tamaños de otros medidores.
- Costo inicial alto.
- Alta pérdida de carga
- Difíciles de reparar.



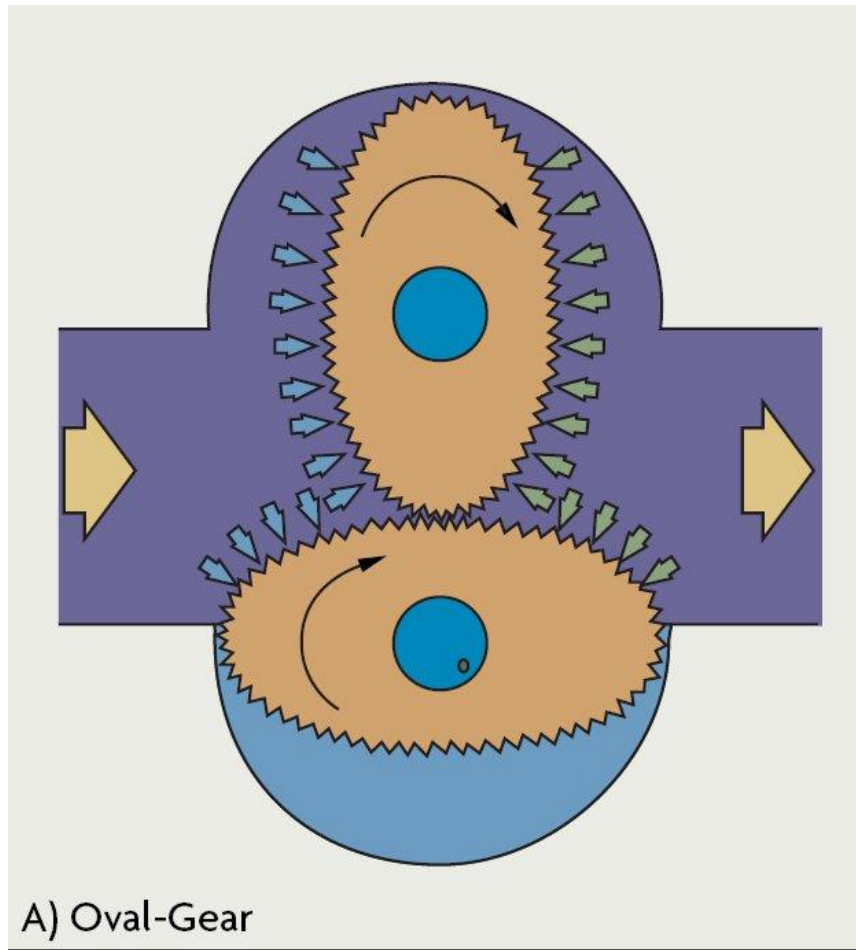
## ■ Resumen de características

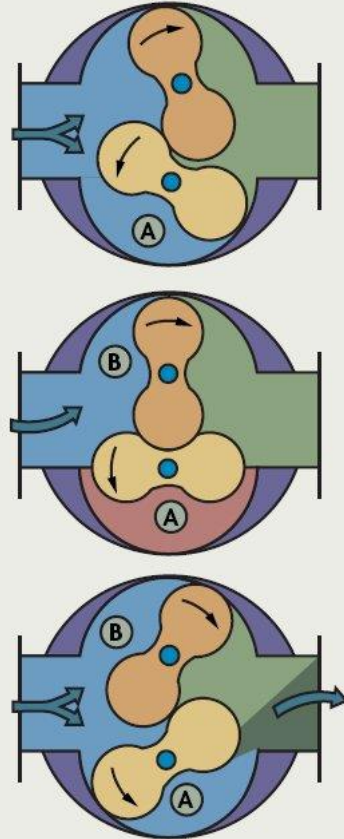
- *Servicio* = líq. Limpios, viscosos.
- *Rangeabilidad* = 5:1
- *Pérdida de carga* = alta
- *Precisión típica* = 0.2% del FS
- *Tramos rectos requeridos* = ninguno
- *Efecto de la viscosidad* = alto
- *Costo relativo* = alto

## || c) Ruedas ovales

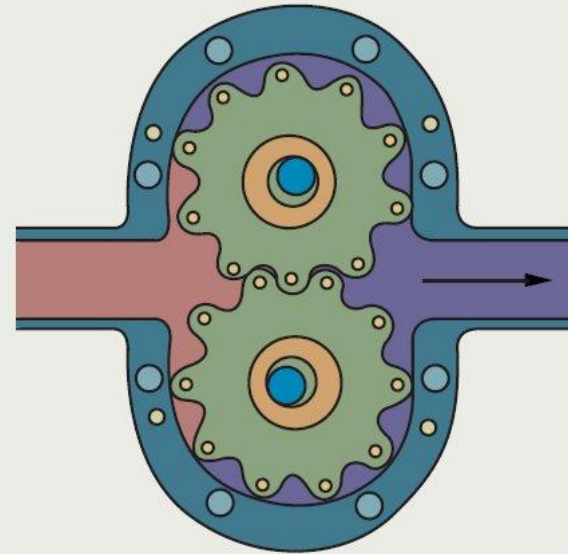
Dos ruedas ovales rotativas con ajuste sincronizado. En cada revolución pasa por el medidor una cantidad fija de líquido.

Gran precisión. Las características lubricantes del fluido afectan su desempeño





B) Rotating Lobe



C) Rotating Impeller

## ■ Resumen de características

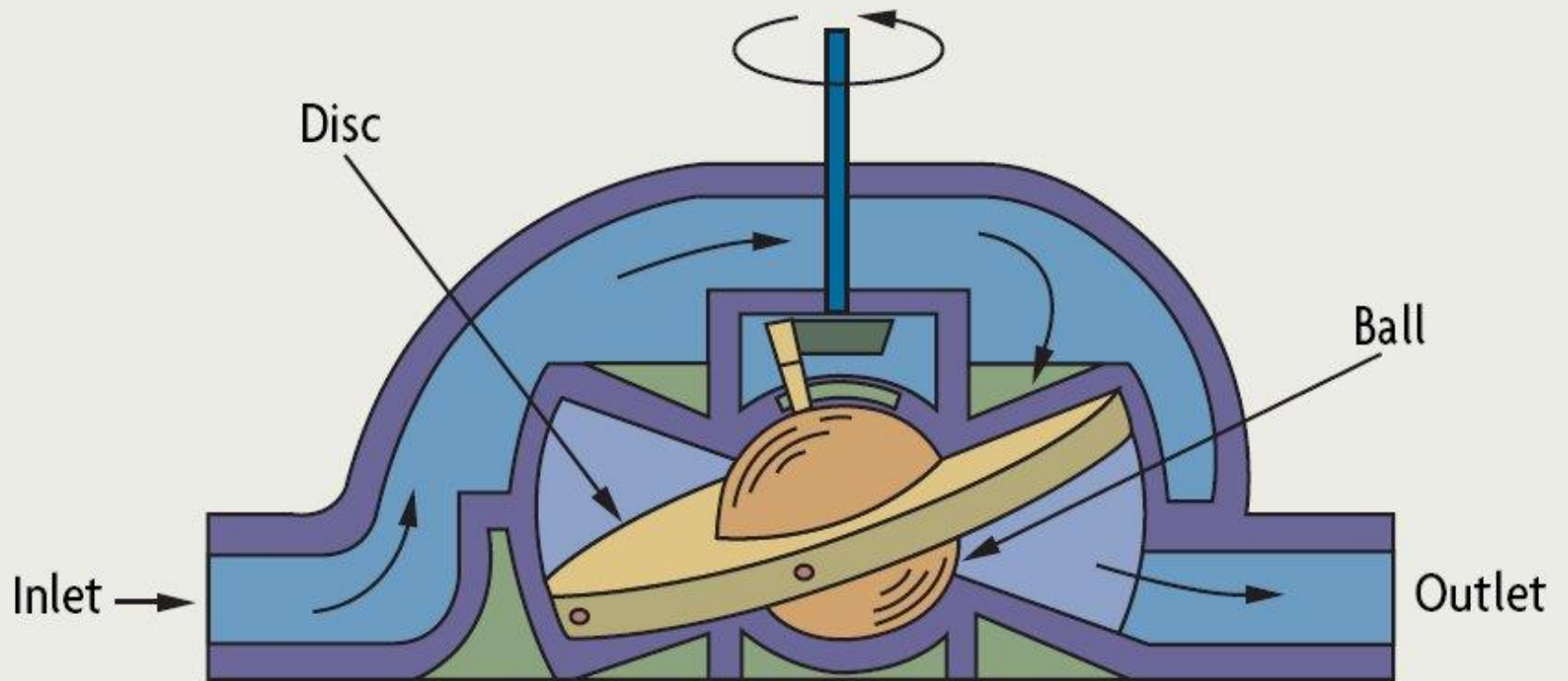
- *Servicio* = líq. Limpios, viscosos.
- *Rangeabilidad* = 10:1
- *Pérdida de carga* = alta
- *Precisión típica* = 0.5 del caudal
- *Tramos rectos requeridos* = 10
- *Efecto de la viscosidad* = nulo
- *Costo relativo* = medio

## || d) Disco oscilante

Disco móvil sobre esfera concéntrica alojados en cámara también esférica. El líquido hace balancear al disco en forma circular sobre su propio eje.







A) Nutating Disc





### 3. Medidores de velocidad

**Principio:** la velocidad tiene relación lineal con el caudal, por lo que su rangeabilidad es mayor. Son menos sensibles a los cambios de viscosidad (para  $Re > 10000$ )



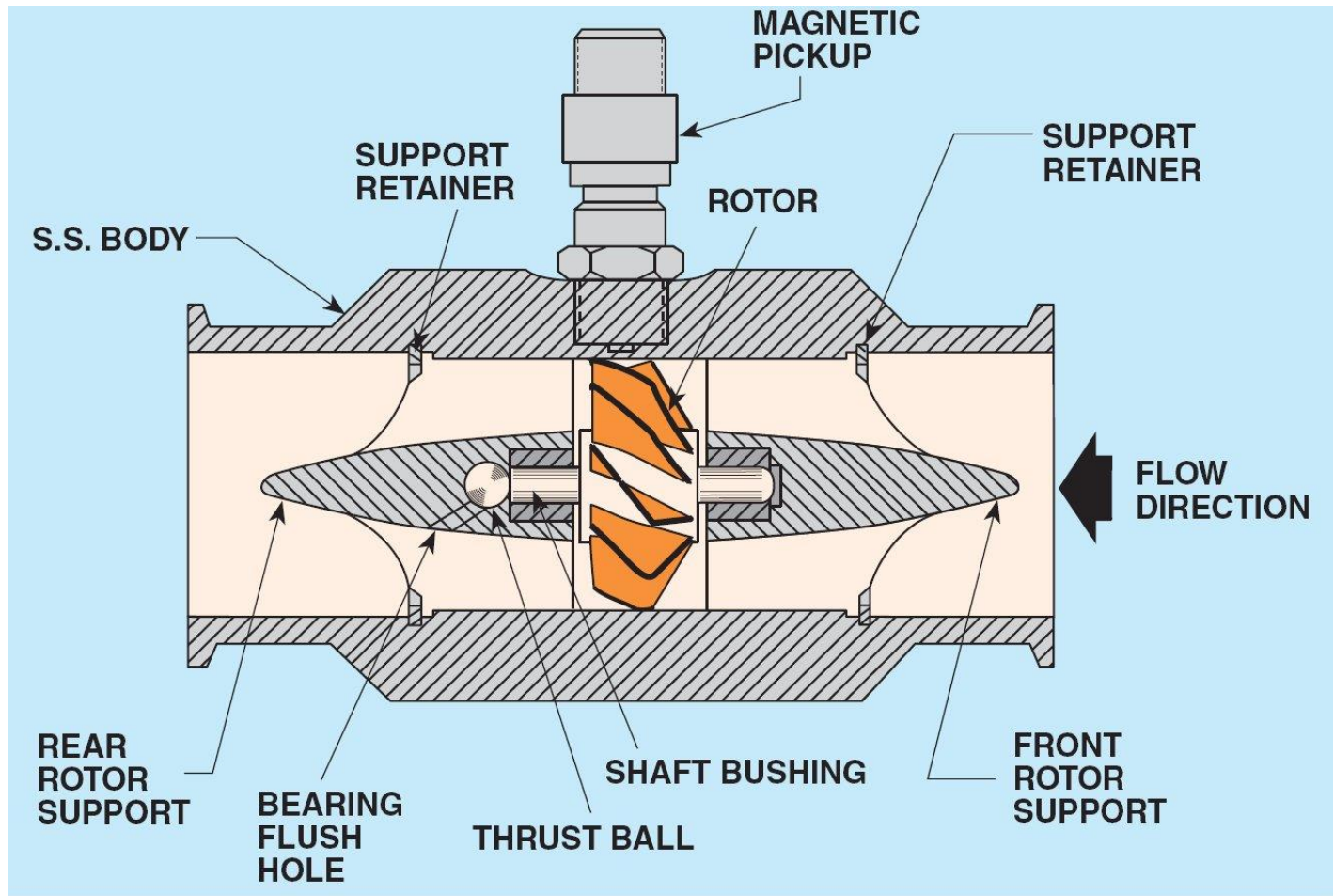
# Tipos constructivos

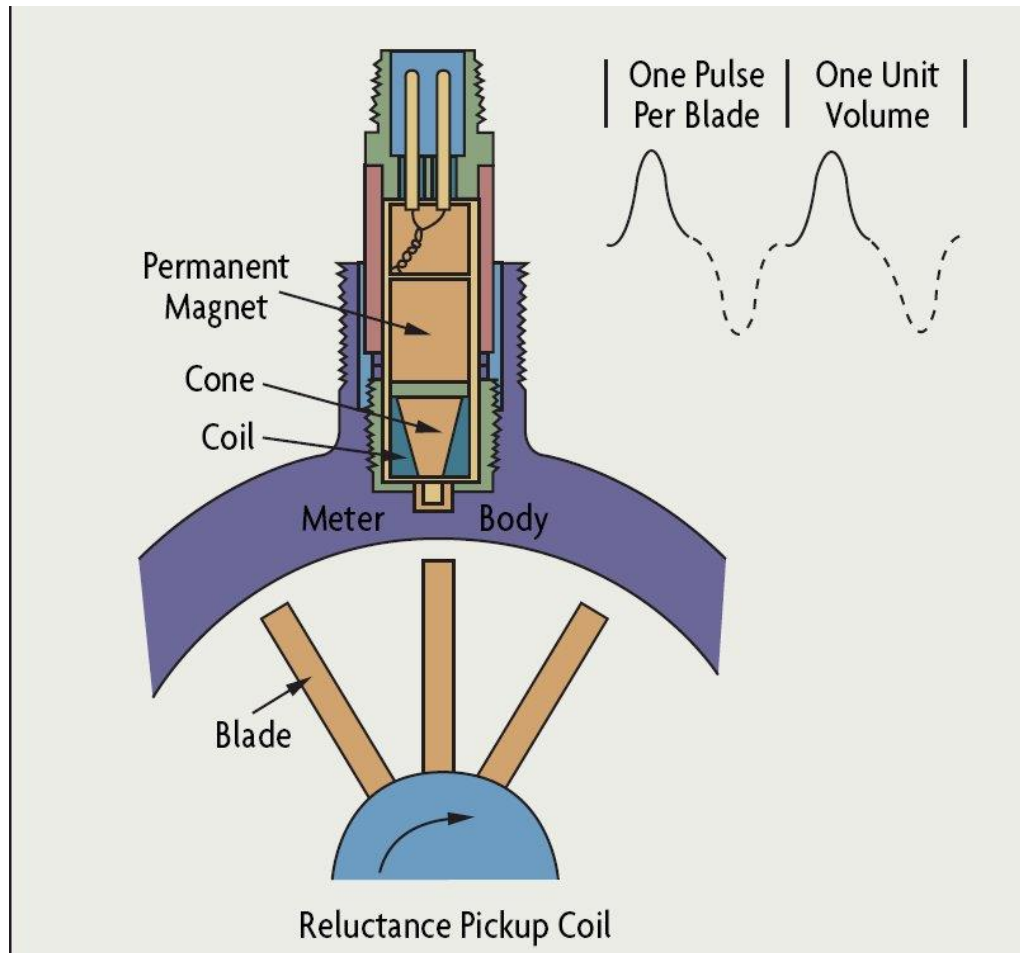
- a) Turbinas
- b) Vórtices
- c) Electromagnéticos
- d) Ultrasónicos

## || a) Turbinas

Muy usados para mediciones de precisión. Rotor con alabes montados dentro de la cañería perpendicular al flujo. El rotor gira mientras el líquido lo atraviesa. La velocidad de rotación es proporcional al caudal.

Los pulsos contados son proporcionales al volumen, con un tacómetro se puede obtener caudal instantáneo.





## ■ Resumen de características

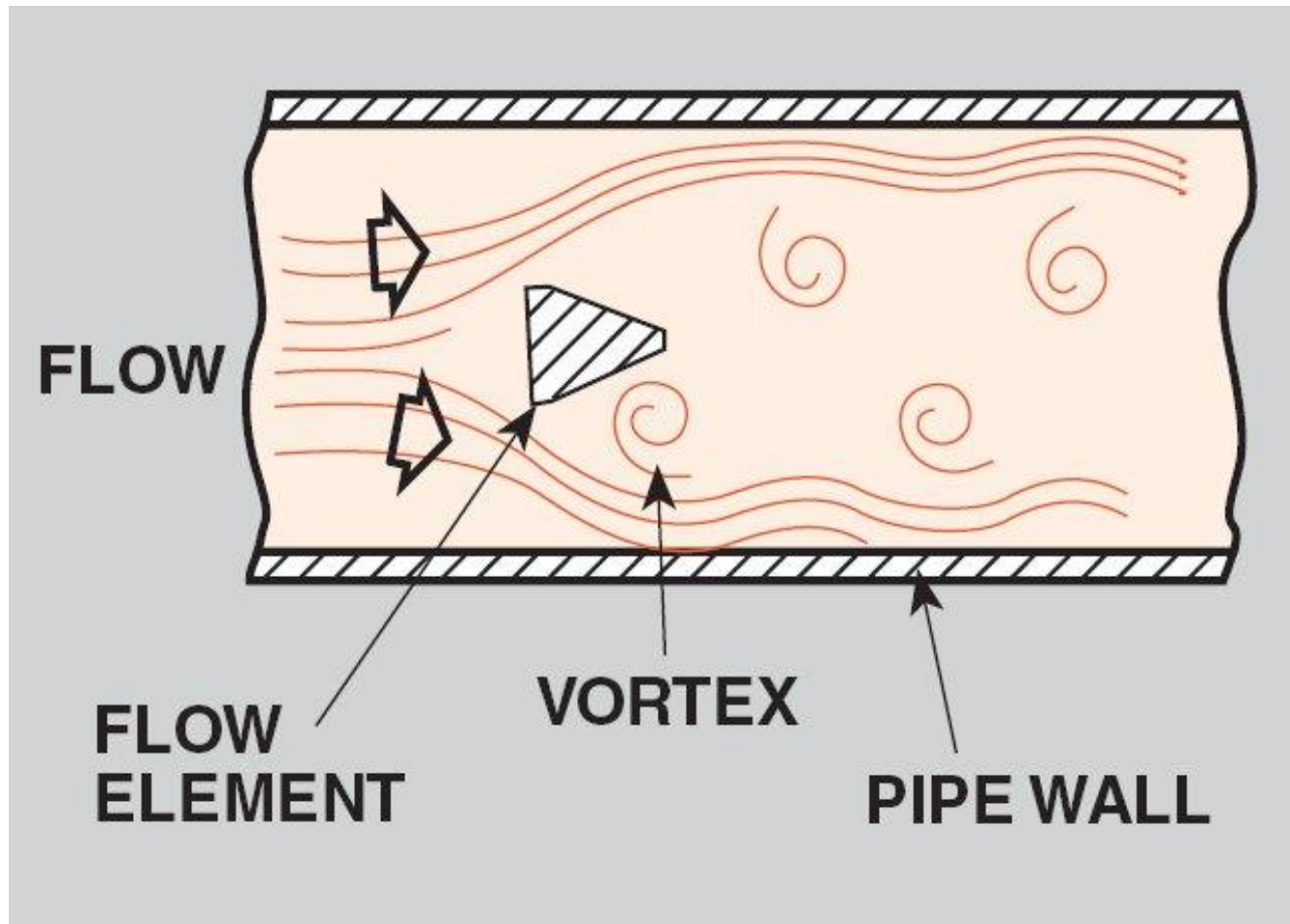
- *Servicio* = líq. Limpios, viscosos.
- *Rangeabilidad* = 20:1
- *Pérdida de carga* = alta
- *Precisión típica* = 0.25 del caudal
- *Tramos rectos requeridos* = 5 a 10
- *Efecto de la viscosidad* = alto
- *Costo relativo* = alto



## || b) Vórtices

Basado en fenómeno natural que ocurre cuando un fluido fluye alrededor de un objeto plano. Se generan remolinos alternadamente a ambos lados del objeto. La frecuencia de los vórtices es directamente proporcional a la velocidad del fluido.







## Componentes:

- cuerpo sin punta para generar los vórtices
- sensor para detectar la presencia de los vórtices y que genere impulsos eléctricos (piezoeléctricos y capacitivos)
- Transmisor y acondicionador de señal



## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios, sucios.
- *Rangeabilidad* = 10:1
- *Pérdida de carga* = media
- *Precisión típica* = 1% del caudal
- *Tramos rectos requeridos* = 10 a 20
- *Efecto de la viscosidad* = medio
- *Costo relativo* = alto

## || c) Electromagnéticos

Basados en la *ley de inducción electromagnética de Faraday*. Para todo líquido conductor.

Elemento primario: tubo de medición

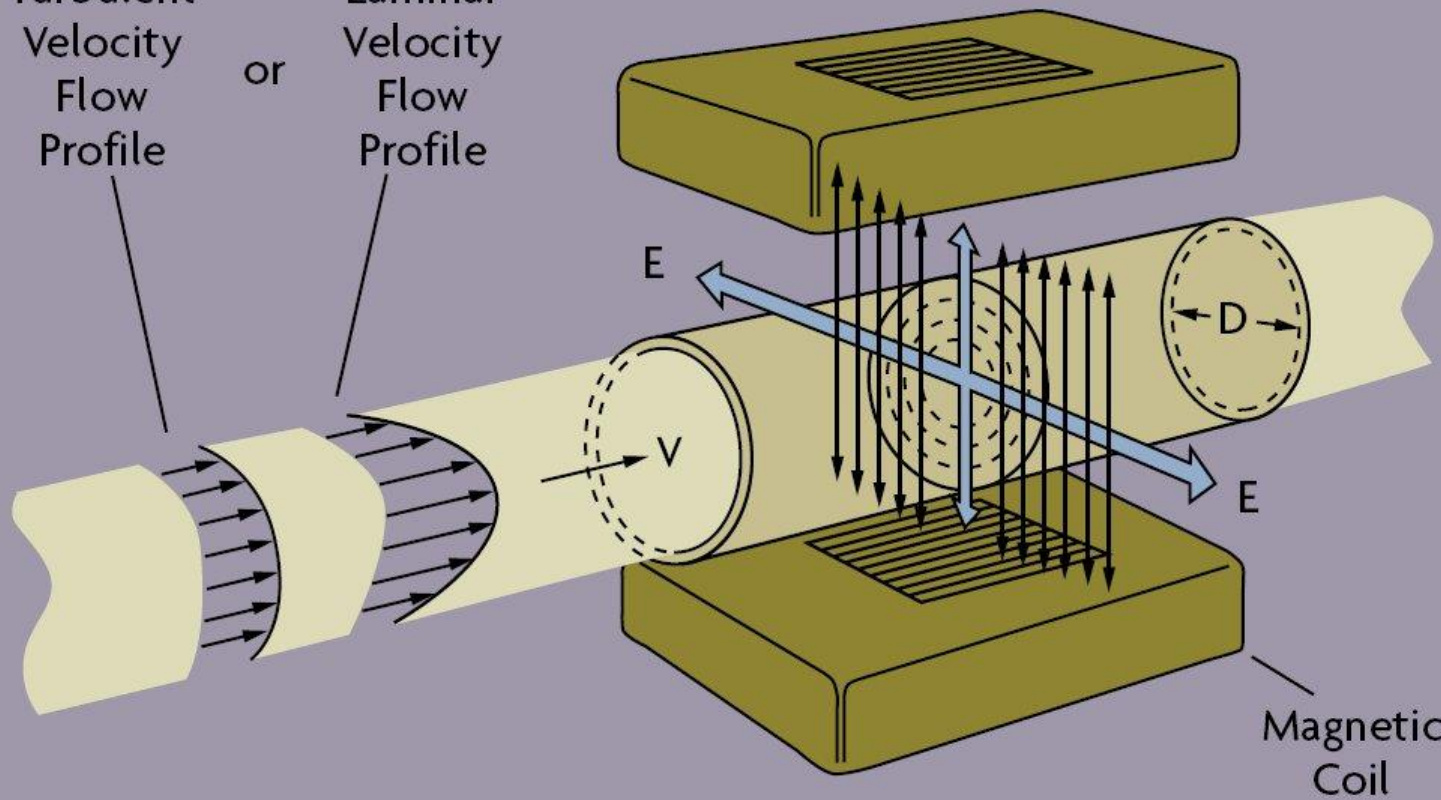
Elemento secundario: voltímetro

No tiene caída de presión.

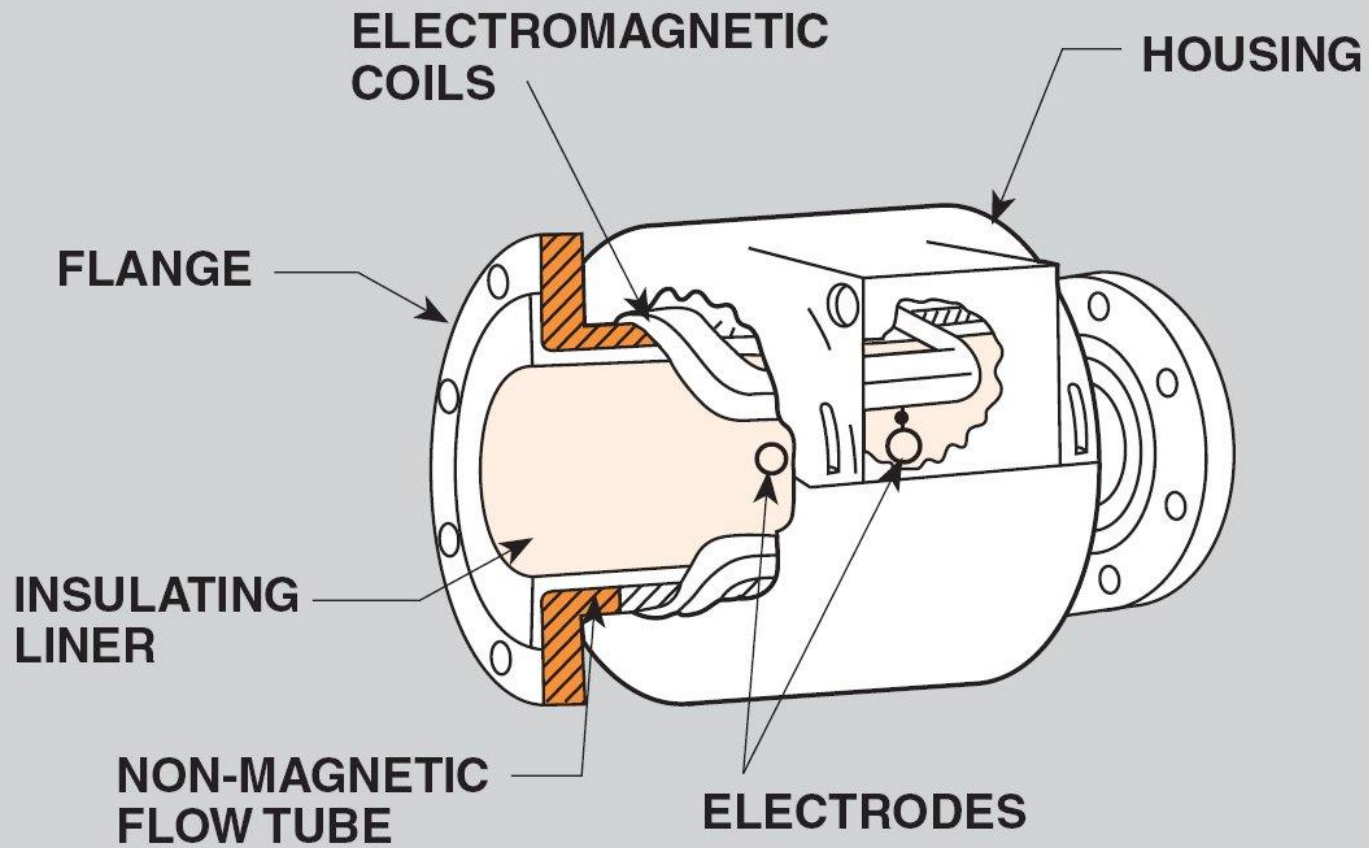
Turbulent  
Velocity  
Flow  
Profile

or

Laminar  
Velocity  
Flow  
Profile



Magnetic  
Coil





- El líquido hace las veces de conductor.
- El campo magnético es creado por las bobinas.
- El voltaje producido es proporcional al caudal.
- Dos electrodos detectan el voltaje.







## **Ventajas:**

Puede medir líquidos corrosivos

Puede medir en ambas direcciones con igual precisión



## **Limitaciones:**

Gran consumo (solución: alimentación pulsante)

## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios, sucios y lodos conductivos.
- *Rangeabilidad* = 40:1
- *Pérdida de carga* = ninguna
- *Precisión típica* = 0.5 del caudal
- *Tramos rectos requeridos* = 5
- *Efecto de la viscosidad* = ninguno
- *Costo relativo* = alto

## || d) Ultrasónicos

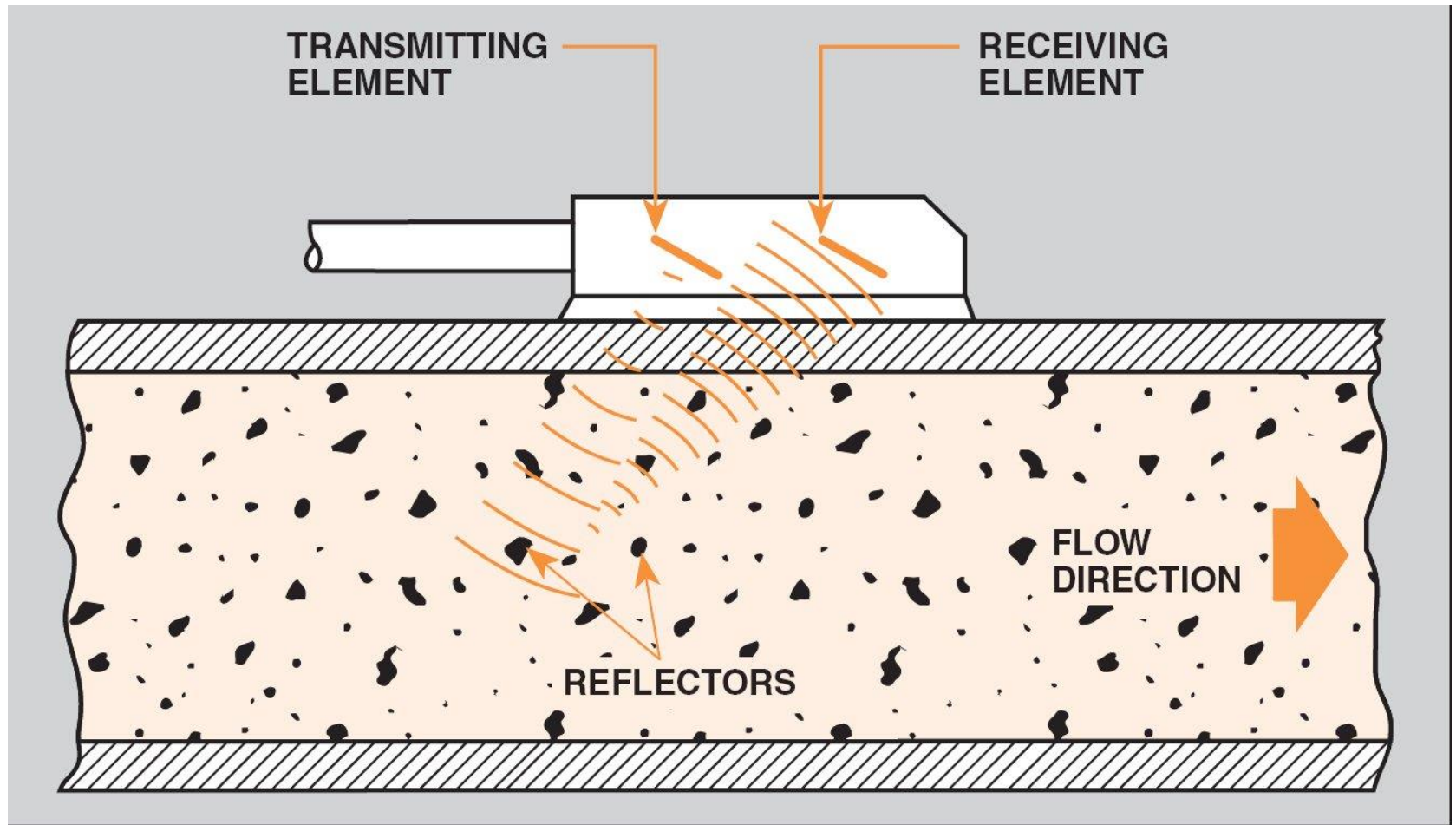
### Tipos constructivos

- i) Efecto Doppler
- ii) Tiempo de vuelo

## || i) Efecto Doppler

Mide corrimiento de frecuencia provocado por el flujo.








Se envía una señal de frecuencia conocida y cualquier discontinuidad en el líquido provoca un corrimiento en frecuencia de la señal reflejada.





$$V = \frac{(f_0 - f_1)C_t}{2f_0 \cos \alpha}$$

$C_t$  = velocidad del sonido en el fluido

$\alpha$  = ángulo de los cristales

$f_0$  = frecuencia transmitida

$f_1$  = frecuencia recibida


$$Q = V \times A$$

$$Q = k(f_0 - f_1)(Di)^2$$

$Di$  = diámetro interior de la cañería

## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. sucios viscosos y lodos.
- *Rangeabilidad* = 10:1
- *Pérdida de carga* = ninguna
- *Precisión típica* = 5% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 5 a 30
- *Efecto de la viscosidad* = ninguno
- *Costo relativo* = alto

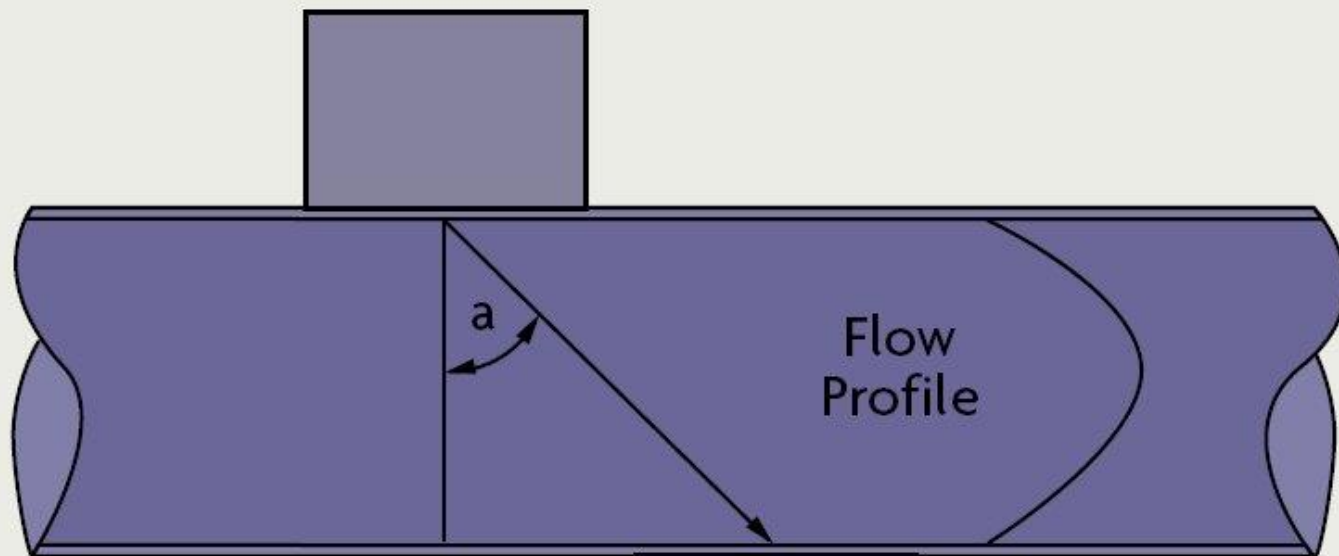


## || ii) Tiempo de vuelo

Los transductores están montados a ambos lados de la cañería de modo que la onda transmitida viaje a  $45^\circ$  respecto al fluido.



Upstream  
Transducer (T1)



$a$  = Refraction Angle

Transit Time

Downstream  
Transducer (T2)



- La velocidad de la onda varía con la velocidad del fluido la dirección de transmisión.
- Se obtiene la diferencia de tiempo enviando la onda alternadamente en ambas direcciones (a favor y en contra del fluido).
- El líquido a medir debe estar libre de burbujas o sólidos para evitar dispersiones o absorciones.



## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios, viscosos.
- *Rangeabilidad* = 20:1
- *Pérdida de carga* = ninguna
- *Precisión típica* = 1 a 5% FS
- *Tramos rectos requeridos* = 5 a 30
- *Efecto de la viscosidad* = ninguno
- *Costo relativo* = alto

## 4. Caudalímetros masicos

***Principio:*** necesidad de medir con mayor precisión caudales en procesos que relaciones masa de productos (reacciones químicas, intercambiadores, etc.).



# Tipos constructivos

a) Coriolis

b) Térmicos



## || a) Coriolis

Un objeto de masa  $m$  que se desplaza con velocidad lineal  $V$  a través de una superficie giratoria con velocidad angular  $w$ , experimenta una velocidad tangencial (velocidad angular  $\times$  radio de giro) tanto mayor cuanto mayor sea su alejamiento del centro. Si viaja desde el centro hacia la periferia experimenta aumento de velocidad (aceleración de Coriolis).

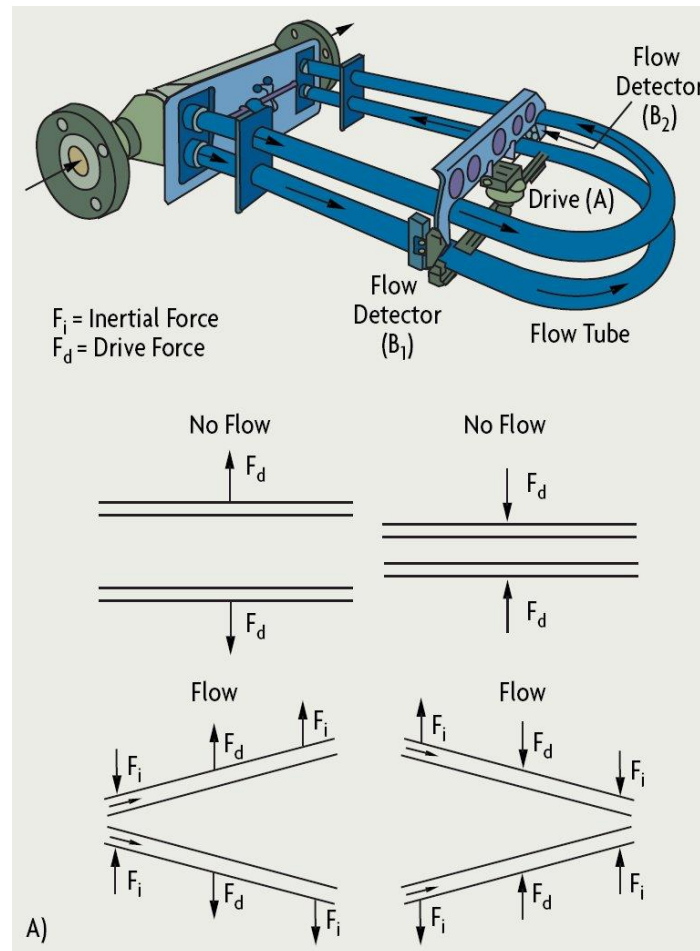


La generación de la fuerza de Coriolis puede producirse de dos maneras:

a) Por inversión de la velocidad lineal del fluido mediante desviación de un bucle en forma de  $\Omega$  en estado de vibración controlada.







$$F = 2mw + V$$

$$M = 2Fr = 4wrm + 2rV = 4wrQL$$

$$Q = \frac{K_s \Theta}{4wrL}$$

F: fuerza de Coriolis

m: masa del fluido en el tubo recto de long. L

w : velocidad angular alrededor del tubo

V: velocidad lineal del fluido

M:  $\vec{\tau}$  par respecto al eje del tubo

K: cte de elasticidad del tubo

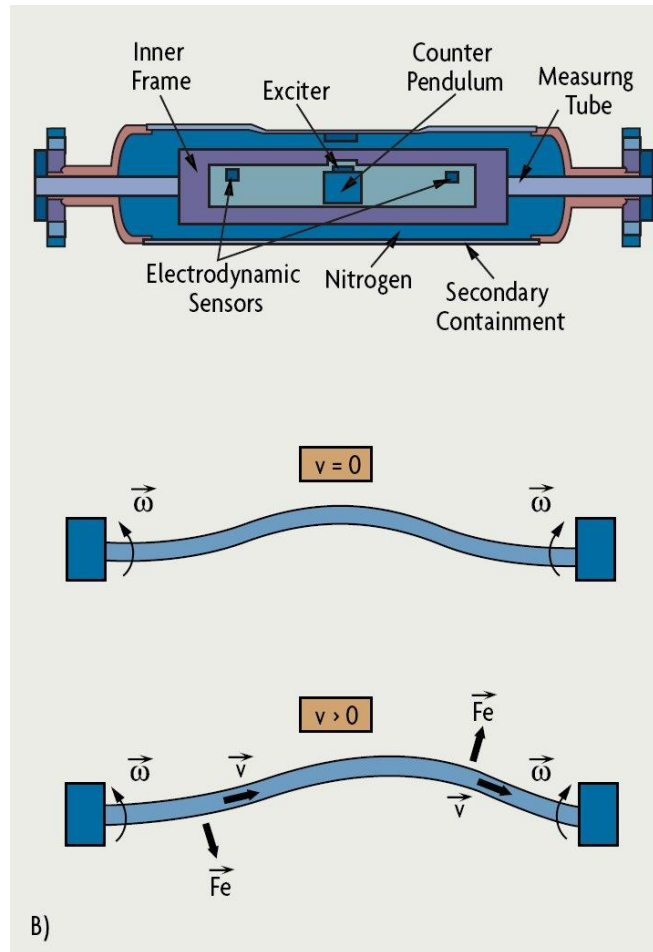
$\Theta$  :  $\vec{\tau}$  ángulo de torsión

Q:  $\vec{\tau}$  caudal másico.



b) Por inversión de la velocidad angular del fluido mediante un tubo recto.





## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios, sucios, viscosos, algunos lodos
- *Rangeabilidad* = 10:1
- *Pérdida de carga* = baja
- *Precisión típica* = 0.4 del caudal
- *Tramos rectos requeridos* = ninguno
- *Efecto de la viscosidad* = ninguno
- *Costo relativo* = alto

## || b) Térmicos

Tradicionalmente para gases. Tres tipos de operación:

- i) Aporte de energía conocida y medición de la diferencia de temperatura
- ii) Mantener un elemento a  $T = \text{cte}$  y medir la energía necesaria
- iii) By-pass y medición



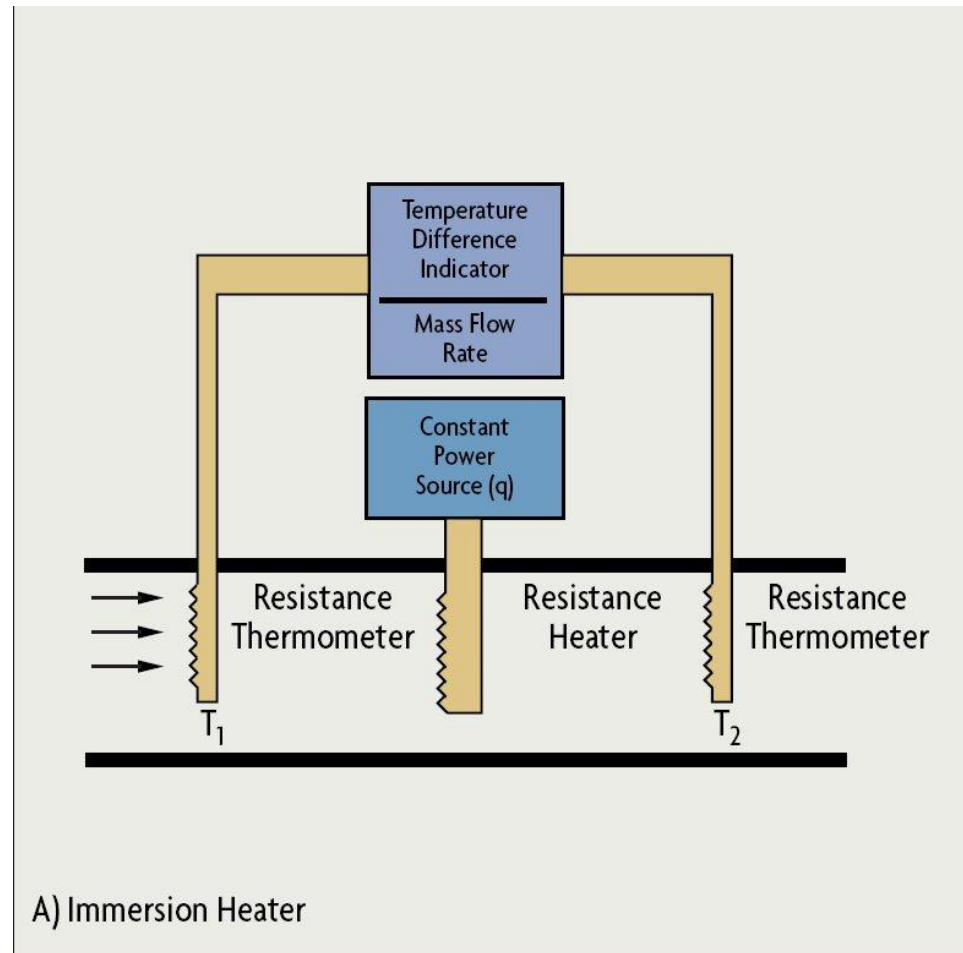
## Componentes:

- Dos sensores de temperatura
- Un calentador eléctrico entre los sensores (interno o externo)






## i) Medición de diferencia de temperatura






$$m = \frac{kq}{c_p(T_2 - T_1)}$$

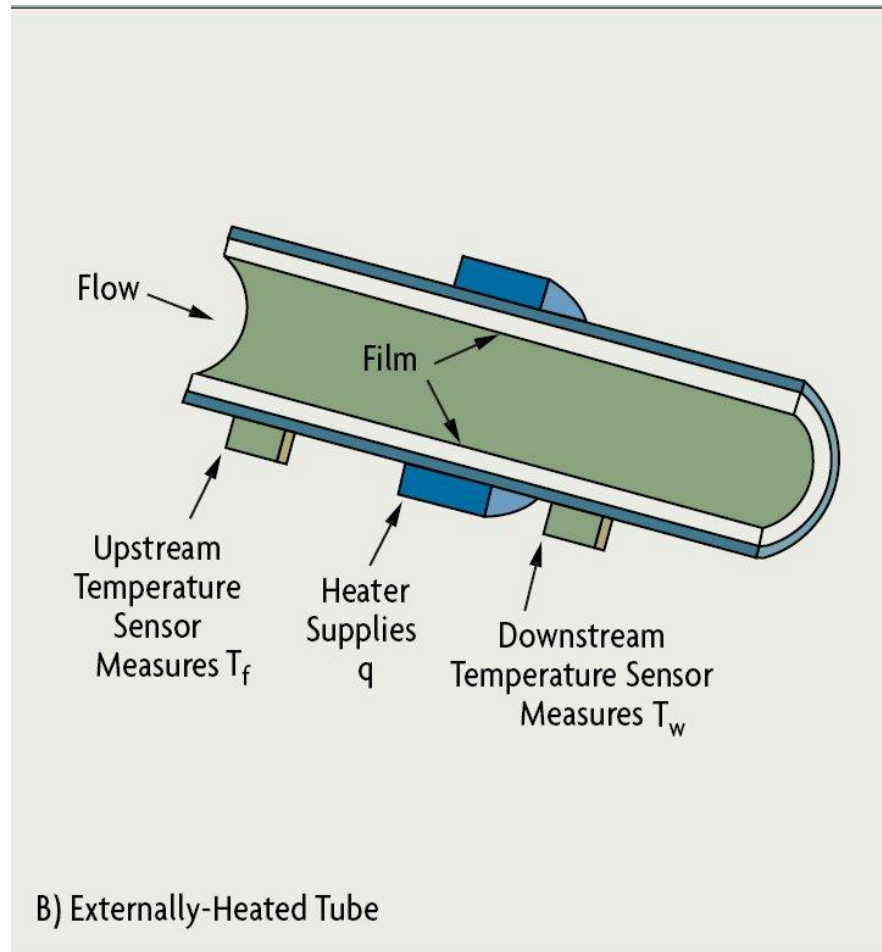
$k$  = constante

$q$  = calor entregado

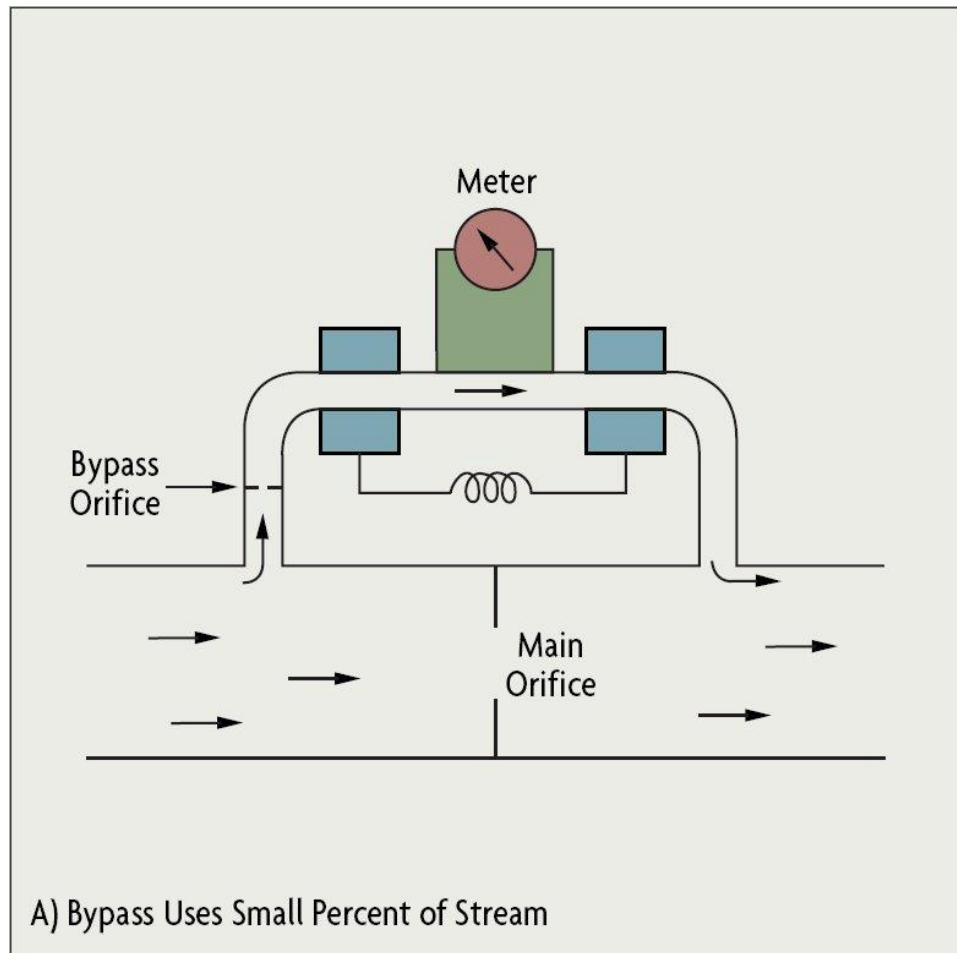
$c_p$  = calor específico del fluido



## ii) Temperatura = constante



### iii) By-pass



## ■ Resumen de características

- *Servicio* = líq. Limpios, sucios, viscosos, algunos lodos
- *Rangeabilidad* = 10:1
- *Pérdida de carga* = baja
- *Precisión típica* = 1% FS
- *Tramos rectos requeridos* = ninguno
- *Efecto de la viscosidad* = ninguno
- *Costo relativo* = alto



# CALIBRACIÓN



## **Calibración de caudalímetro para líquidos:**

*Método gravimétrico*

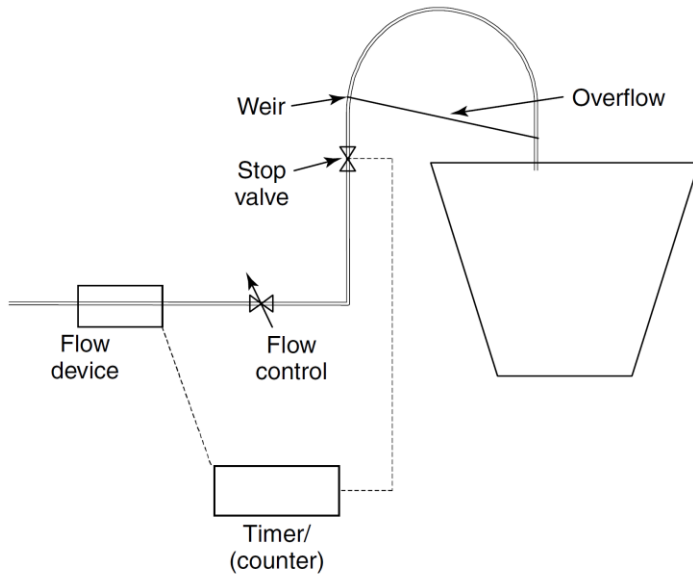
Inicio y finalización estática

Inicio y finalización dinámica

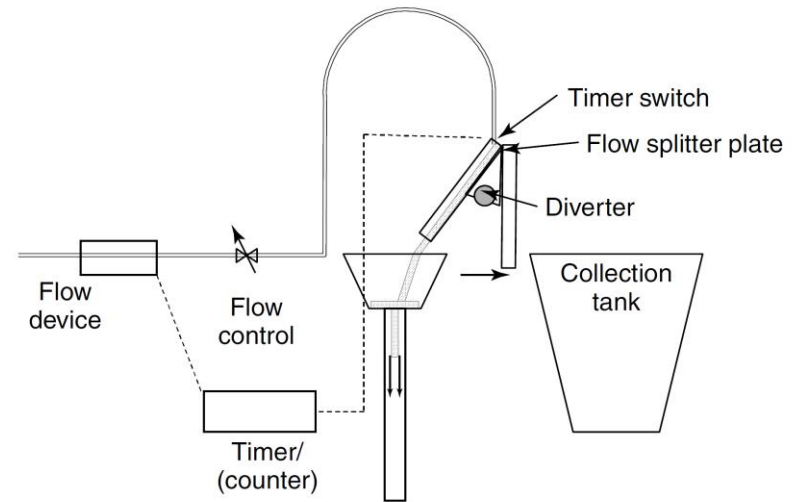
*Método volumétrico*

## **Calibración de caudalímetro para gases**





**Figure 1.** Standing-start-and-finish method for the gravimetric calibration of liquid flowmeters.



**Figure 2.** Flying-start-and-finish method for the gravimetric calibration of liquid flowmeters.



# GUÍA DE SELECCIÓN



## ■ Selección del caudalímetro

75% de los caudalímetros instalados no trabajan satisfactoriamente y 90% de los problemas se deben a mala selección.

Los fabricantes dan tablas de selección y orientación para focalizarse en los mejores candidatos para la medición.



Considerar factores tan intangibles como:

- Familiaridad del personal de planta
- Experiencia en mantenimiento y calibración
- Disponibilidad de repuestos
- Historia de tiempo medio entre fallas





Considerar el costo de instalación solo después de los puntos anteriores. Un error común suele ser tratar de justificar una compra por ser “el más barato”.





La clave para una buena selección de un caudalímetro es tener un claro entendimiento de los requerimientos de la aplicación en particular.





Información que se debe evaluar:

**Primer paso:**

- Información continua o totalizada
- Local o remota
- Remota->transmisión digital o analógica





**Paso 2:** estudio de las propiedades y características del fluido y de las cañerías. Para ello tener en cuenta



- Características del fluido
  - Nombre del producto, P, T, caída de presión permitida, densidad, conductividad, viscosidad y las posibles variaciones e interacciones.
  - Información de seguridad y toxicidad
  - Composición, presencia de burbujas, sólidos.





- T y P mín, máx y de trabajo
- ¿Caudal reversible?
- ¿Llenas siempre las cañerías?
- Consideraciones sobre las cañerías
  - Dirección
  - Tamaño, material, pared, accesibilidad, curvas, válvulas, reguladores y tramos rectos disponibles.



- 
- Consideraciones sobre el área
    - campos magnéticos o vibratorios presentes o posibles
    - Disponibilidad de tensiones o aire para alimentación.
    - área clasificada por riesgo de explosión.
    - requerimientos especiales como cumplimiento de regulaciones sanitarias.
- 





## Paso 3:

- Rango de trabajo ( $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$ )
- Precisión y repetibilidad.

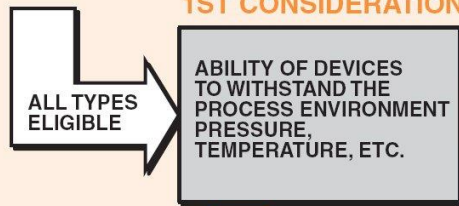
NOTA: si hay más de un caudalímetro seleccionar el que *no tenga partes móviles, y el de menor pérdida de carga.*





## FLOW MEASUREMENT PROBLEM

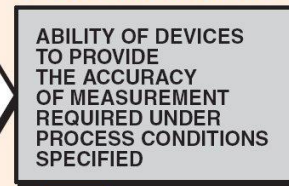
### 1ST CONSIDERATION



REJECT

TYPES  
ELIGIBLE

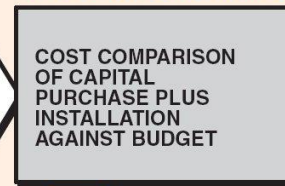
### 2ND CONSIDERATION



REJECT

TYPES  
ELIGIBLE

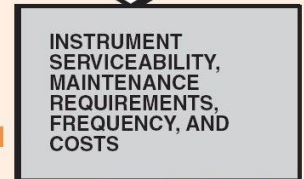
### 3RD CONSIDERATION



REJECT

TYPES  
ELIGIBLE

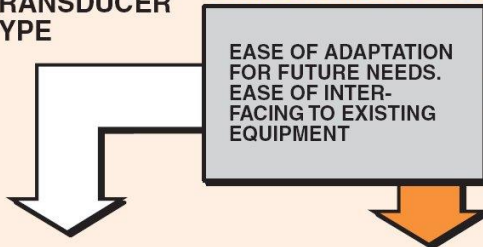
### 4TH CONSIDERATION



REJECT

## SELECTED FLOW MEASUREMENT SYSTEM OR TRANSDUCER TYPE

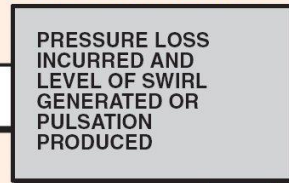
### 7TH CONSIDERATION



REJECT

TYPES  
ELIGIBLE

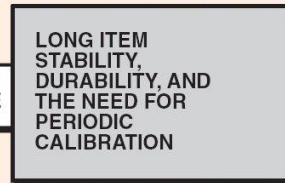
### 6TH CONSIDERATION



REJECT

TYPES  
ELIGIBLE

### 5TH CONSIDERATION



REJECT



# GUÍA DE INSTALACIÓN



Para asegurar un funcionamiento confiable del medidor de caudal, la siguiente **lista de verificación** ayudará a minimizar los problemas:

- Instale el medidor en la posición y altitud recomendadas
- Asegúrese de que el tubo de medición esté completamente lleno en todo momento
- Al medir líquidos, asegúrese de que no haya aire o vapor en el líquido.
- Al medir gases, asegúrese de que no haya gotas de líquido en el gas.
- Para minimizar los efectos de la vibración, apoye la tubería en ambos lados del medidor de flujo





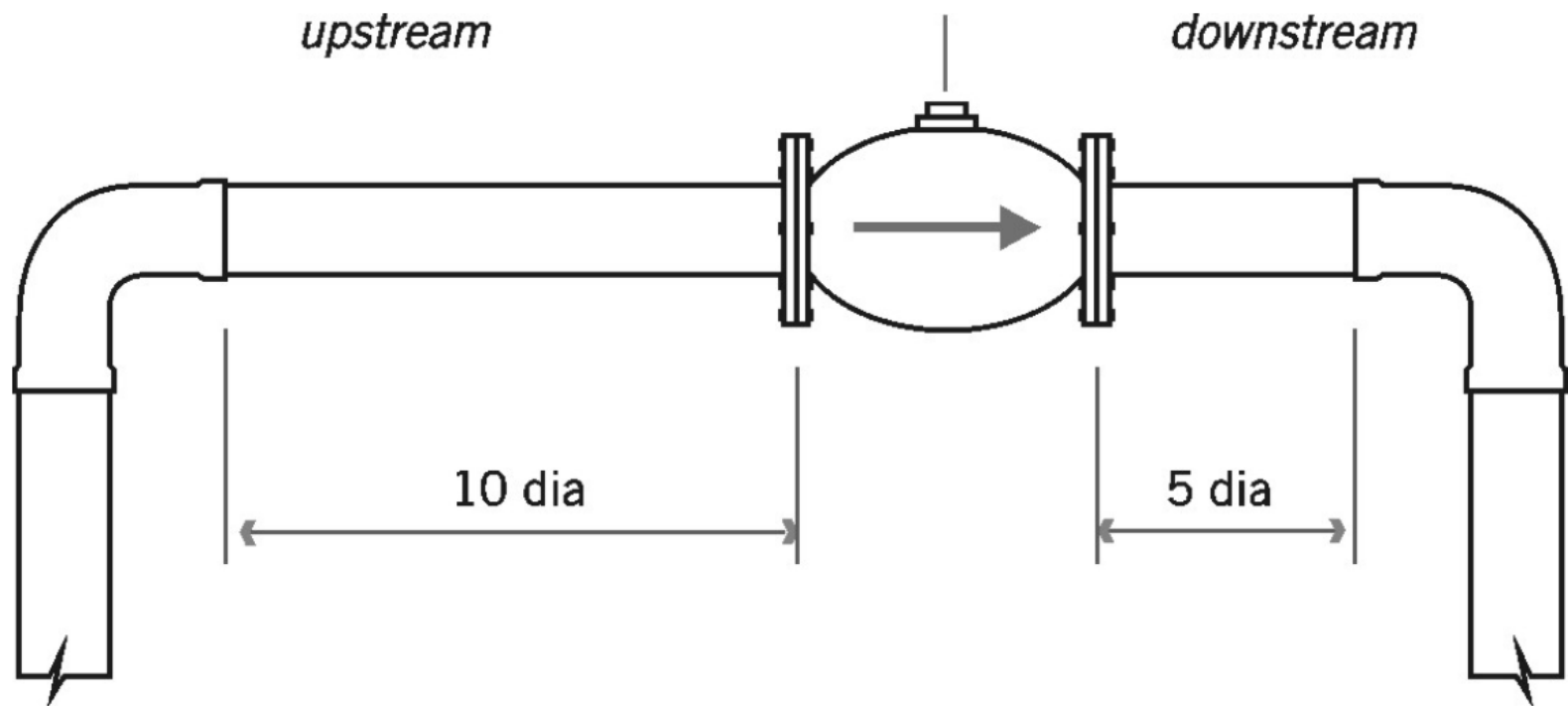
- Si es necesario, proporcione filtración aguas arriba del medidor.
- Proteja los medidores de pulsaciones de presión y aumentos repentinos de flujo
- Instale control de flujo o limitadores de flujo aguas abajo del medidor
- Evite los campos electromagnéticos intensos en las proximidades del caudalímetro
- Donde haya flujo de vórtice o sacacorchos, aumente las secciones de entrada y salida o instale enderezadores de flujo
- Instale dos o más medidores en paralelo si el caudal es demasiado grande para un medidor





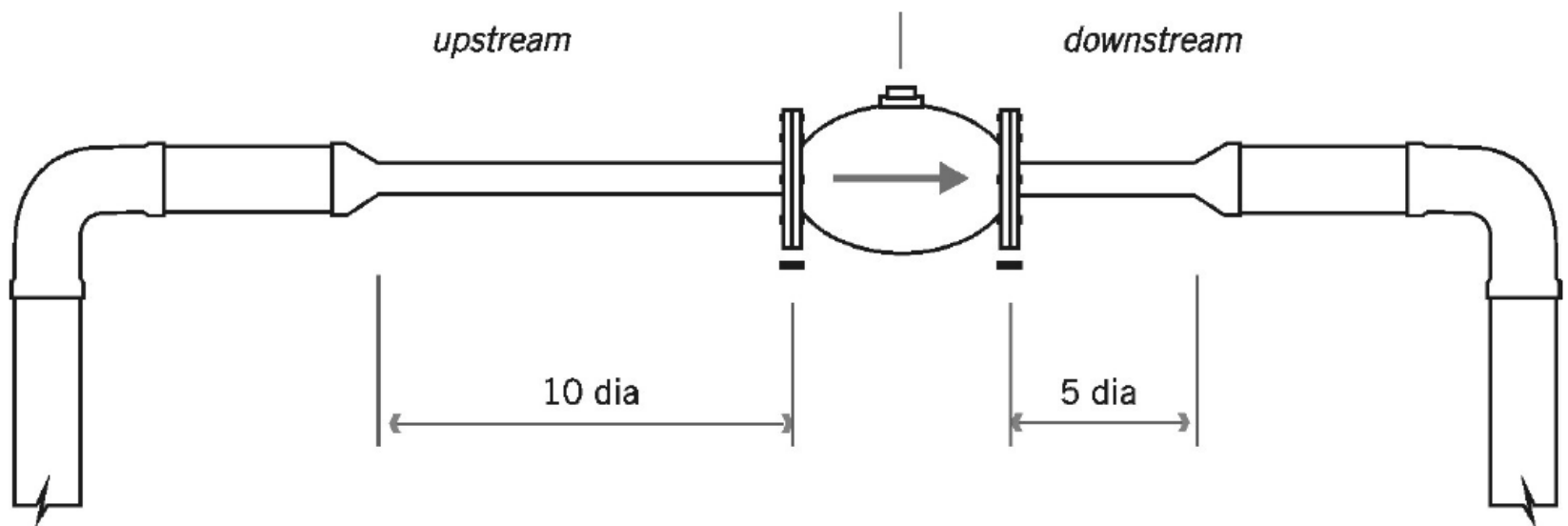
- Permita la expansión de la tubería
- Asegúrese de que haya suficiente espacio libre para los trabajos de instalación y mantenimiento.
- Siempre que sea posible, proporcione conexiones de prueba aguas abajo del medidor para calibraciones regulares in situ
- Para permitir que los medidores se retiren para dar servicio sin que la estación se apague, proporcione una línea de derivación





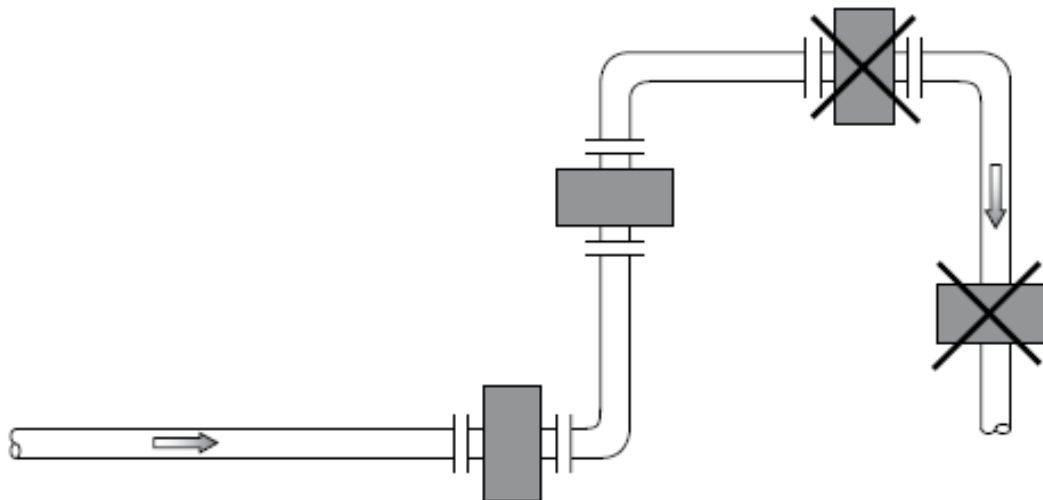
**Figure 1: Standard pipe run**



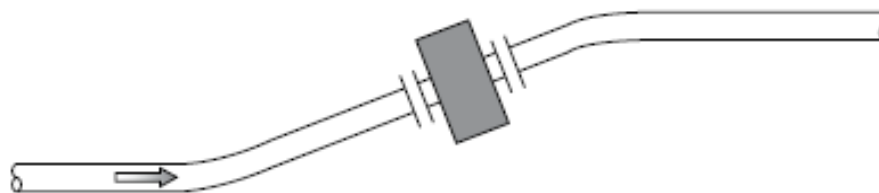


**Figure 2: Reduced pipe run**

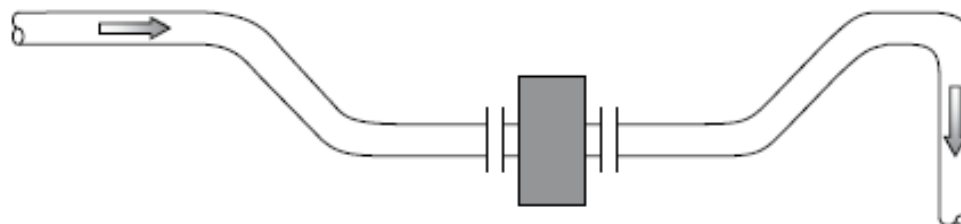


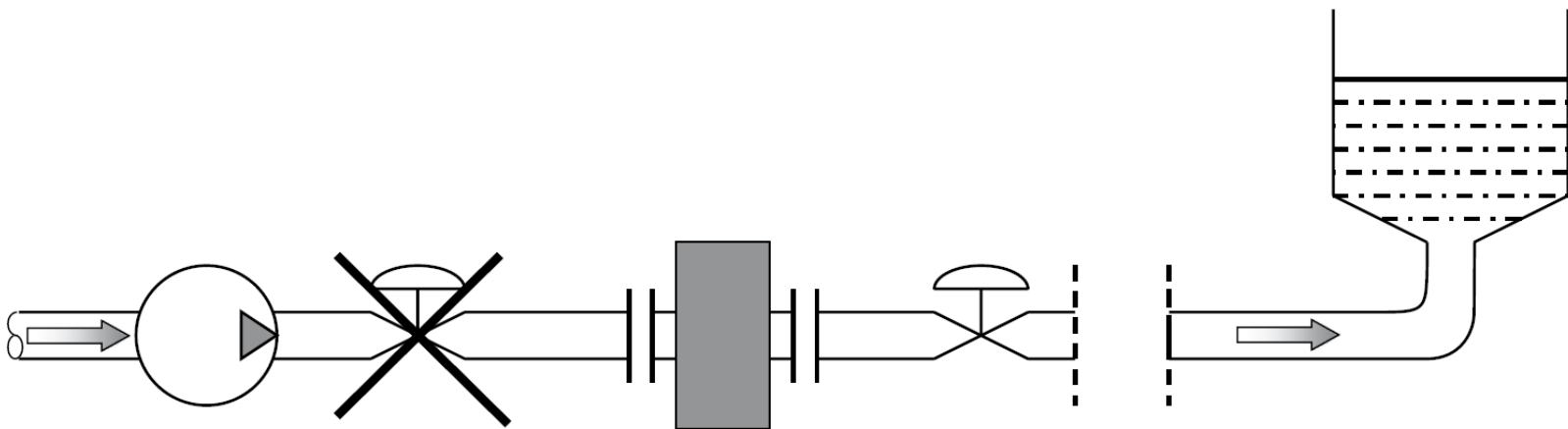


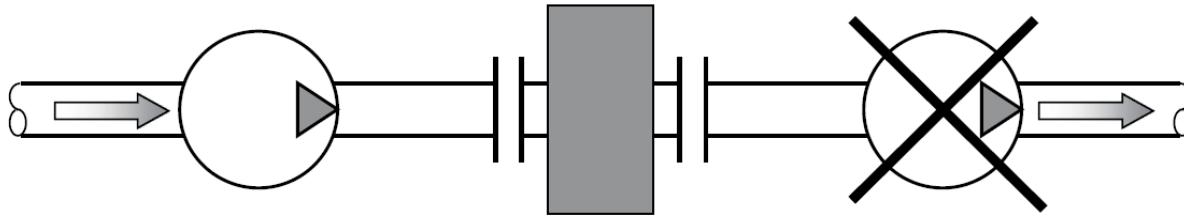
**FIGURE 16.1** Preferred locations. Since air bubbles collect at the highest point on a pipe run, installation of the meter at this point could result in faulty measurements. The meter should not be installed in a downpipe where the pipe may be drained. (Courtesy: Krohne.)



**FIGURE 16.2** In a horizontal pipe run, the meter should be installed in a slightly rising pipe section. (Courtesy: Krohne.)



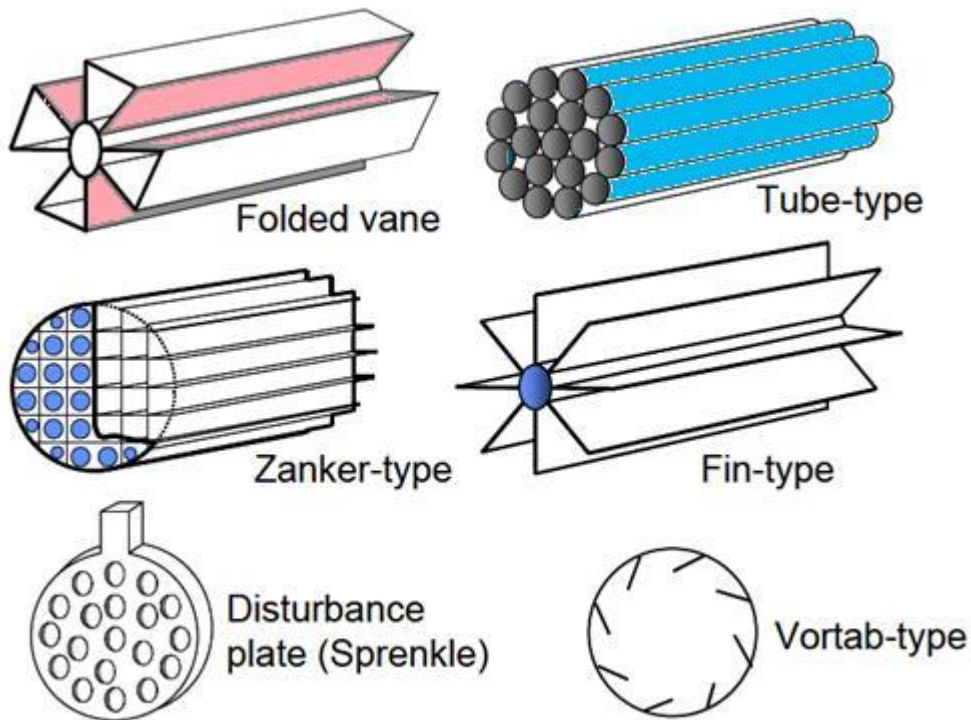




**FIGURE 16.5** Never install a flowmeter on the pump suction side. (Courtesy: Krohne.)

## Otras opciones

Acondicionador de flujo o un enderezador de flujo







# FABRICANTES

# ■ Principales fabricantes industriales

- Endress & Hauser
- Siemens
- ABB
- Yokogawa
- Emerson



- Krohne
- Danfoss
- Honeywell
- Schlumberger
- EMCO
- Sierra Instruments
- Georg Fisher







# Software de selección industriales:

Endress+Hauser (Applicator):

[www.endress.com](http://www.endress.com)

Siemens:

[www.pia-portal.automation.siemens.com](http://www.pia-portal.automation.siemens.com)

Yokogawa:

[www.yokogawa.com/selection-tool/](http://www.yokogawa.com/selection-tool/)

Emerson:

[www.emerson.com](http://www.emerson.com)





## Usos varios:

Bagder meter

Seametrics

Katronic



# ■ Usos biomédicos:

[em-tec](#)

[Sensirion](#)

[Bronkhorst](#)

[ES Systems](#)

[TSI](#)

[Titan Enterprises](#)

[Spirocco](#)

[Silbermann \(gases para uso médico\)](#)



# RESUMEN



# Resumen:

## 1 – Presión diferencial

- Placa orificio
- Venturi
- Tubos de caudal
- Toberas
- Tubos Pitot
- Codos
- Medidores de placa
- Área variable



## **2 – Desplazamiento positivo**

- A pistón (oscilante y alternativo)
- Ruedas ovals
- Disco oscilante
- Paletas rotatorias


## **3 – Medidores de velocidad**

- Turbinas
- Vórtices
- Electromagnéticos
- Ultrasónicos





## 4 – Caudalímetros másicos

- Coriolis
  - Térmicos
    - Diferencia de temperatura
    - $T = \text{cte}$
    - By-pass
- 



## **Selección de caudalímetros:**

- Consideraciones generales
- Tipo de información
- Características del fluido, cañerías y área de instalación
- Rangeabilidad, precisión y repetibilidad.

