

# SENSORES DE FLUJO

## Referencias bibliográficas

Transducers for Biomedical Measurements: Principles and Applications,  
R.S.C. Cobbold, Ed. John Wiley & Sons

Sensores y acondicionamiento de señal, R. Pallás Areny, Ed. Marcombo

# SENSORES DE FLUJO

## Magnitudes relacionadas

Velocidad:  $v$  (m/s)

Flujo de volumen :  $Q$  (L/s)

Flujo de masa:  $F$  (kg/s)

$$F = \frac{m}{t} = \frac{\rho \times V}{t} = \frac{\rho \times A \times l}{t} = \rho \times A \times v = \rho \times Q$$

$A$  es la sección transversal del tubo (vena, etc) por el que circula  
 $l$  es la distancia recorrida por el flujo por unidad de tiempo  $t$

## Flujo laminar y turbulento

Flujo laminar: movimiento de las partículas del fluido a lo largo de líneas paralelas a la dirección local del flujo.

Flujo turbulento: movimiento de un fluido cuya velocidad en un punto de observación varía con el tiempo de forma aleatoria. Está asociado a la existencia de pequeños remolinos.

Número de Reynolds: número adimensional que expresa la fluidez de un fluido en movimiento. Está dado por la relación  $N_R = vD\rho/\mu$ , donde  $v$  es la velocidad media del flujo,  $D$  es el diámetro interno del tubo por el que circula el fluido,  $\rho$  es la densidad y  $\mu$  la viscosidad.  $N_R < 2000$  indica flujo laminar, mientras que  $N_R > 4000$  indica flujo turbulento.

# SENSORES DE FLUJO

## Aplicaciones

Flujo de sangre – velocidad de la sangre en arterias y venas es de gran importancia, junto con la presión sanguínea para evaluar el funcionamiento del sistema cardiovascular.

Flujo de gases respiratorios, es importante en el diagnóstico de problemas respiratorios

Flujo de orina, en relación con la presión de la vejiga y EMG uretrales, permiten entender la fisiología uretral.

Suministro de oxígeno y medicación.

# SENSORES DE FLUJO

## Métodos de detección

Electromagnéticos

Ultrasónicos

Gradiente de presiones.

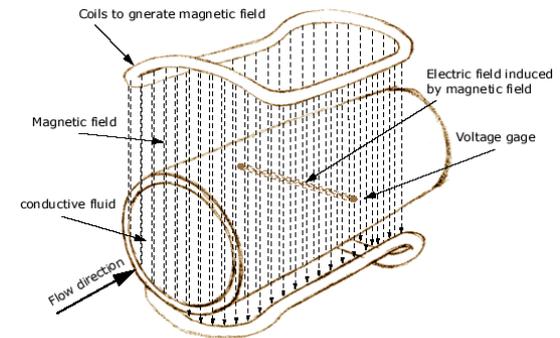
Transporte térmico

Dilución.

# METODOS ELECTROMAGNÉTICOS

Cuando partículas cargadas se mueven en un campo magnético cortando las líneas de flujo se genera una fuerza electromotriz

$$V = \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial (B \cdot S)}{\partial t} = B \cdot L \cdot \frac{\partial x}{\partial t} = B \cdot L \cdot v$$



$B$  es la intensidad de campo magnético (típicamente 0.1 T),  $L$  es el diámetro del capilar que corresponde a la distancia entre los dos electrodos, y  $v$  es la velocidad de la sangre. Normalmente se añade un factor de corrección que depende de la conductividad. Las tensiones de salida típicas son del orden de 0.01 mV, con problemas de relación S/R

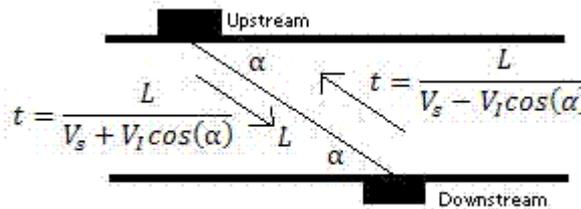
Es un método invasivo que exige conectar dos electrodos al capilar. Es un método adecuado para procedimientos quirúrgicos (bypass coronarios o cirugía estética).

# METODOS ULTRASÓNICOS

1) **Medidores de tiempo de tránsito o desplazamiento de fase:** La velocidad efectiva del sonido en un medio móvil es igual a la velocidad del sonido relativo al medio más la velocidad del medio. En consecuencia, una onda que se propaga en contra de la dirección del flujo tiene una velocidad efectiva menor que la que lo hace a favor.

La diferencia de tiempos:

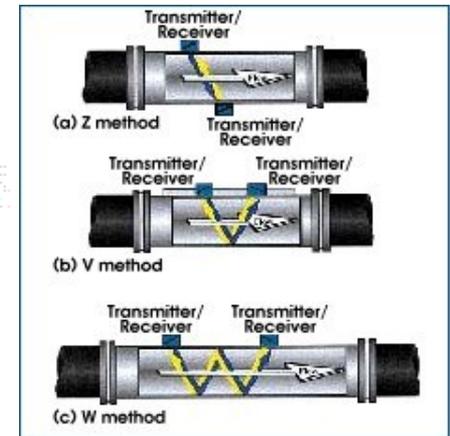
$$\Delta t = \frac{2Lv_1 \cos \alpha}{v_s^2 + v_s^2 \cos^2 \alpha} \sim \frac{2Lv_1 \cos \alpha}{v_s^2}$$



L es la distancia que separa los dos elementos piezoeléctricos (que hacen de emisor y detector de ultrasonidos), formando un ángulo  $\alpha$ ,  $v_s$  es la velocidad del sonido en el fluido, y  $v_1$  es la velocidad del fluido.

Como  $\Delta t$  es muy pequeño (del orden de  $10^{-9}$  sec) resulta más práctico medir la diferencia de fase entre un pulso de ultrasonido que alternativamente se propaga a favor y en contra de la dirección del flujo.

$$\Delta \phi = 2\pi f \Delta t = \frac{4\pi f L v_1 \cos \alpha}{v_s^2}$$



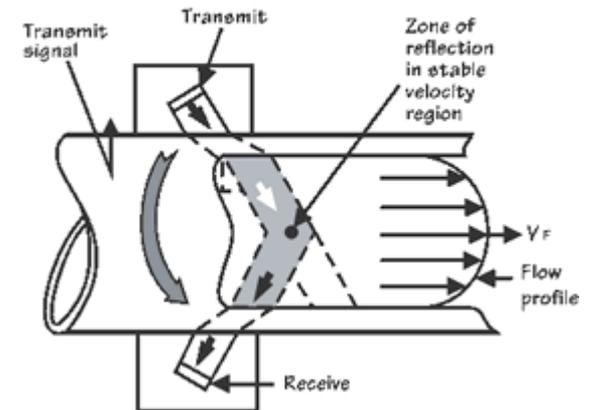
# METODOS ULTRASÓNICOS

2) **Medidores de desplazamiento Doppler:** cuando una onda ultrasónica es dispersada por un medio móvil se produce un cambio en la frecuencia proporcional a la velocidad del medio.

$$\Delta f = \pm f_s (\cos \alpha + \cos \beta) \frac{v_l}{v_s + v_l \cos \alpha} \sim \pm f_s (\cos \alpha + \cos \beta) \frac{v_l}{v_s}$$

$f_s$  es la frecuencia de la señal emitida,  $\alpha$  y  $\beta$  son los ángulos que forman la onda incidente y reflejada respecto a la dirección del fluido,  $v_s$  es la velocidad del sonido en el fluido y  $v_l$  es la velocidad del fluido.

Normalmente hay una distribución de  $\Delta f$  ya que la velocidad del fluido no es uniforme en toda la sección.



# MEDIDA DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL

Ecuación de Bernoulli

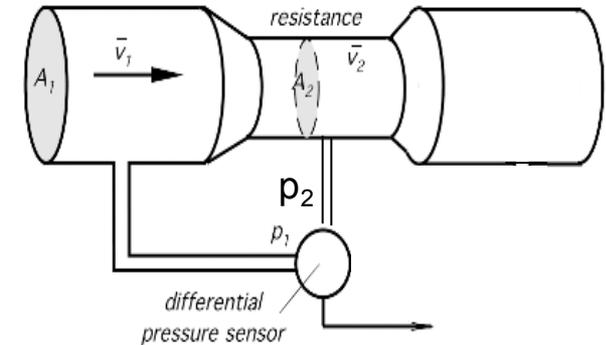
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (1)$$

Conservación del flujo

$$\rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2$$

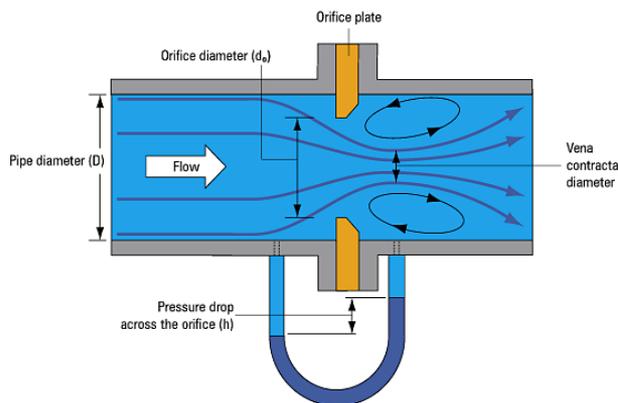
Si  $\rho_1 = \rho_2$  (fluido incompresible)  $A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (2)$

Si  $h_1 = h_2$   $P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$   
con  $v_1$  y  $v_2$  relacionadas a través de (2)

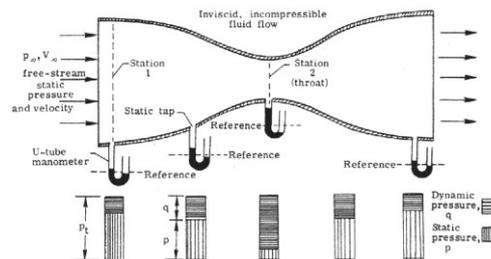


$$P_t - P_s = \frac{1}{2}\rho v^2$$

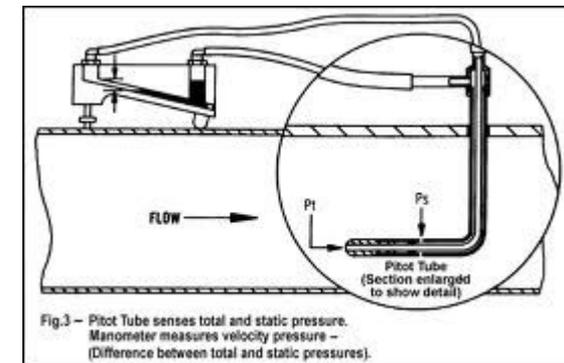
Orificio en una placa



Tubo de Venturi



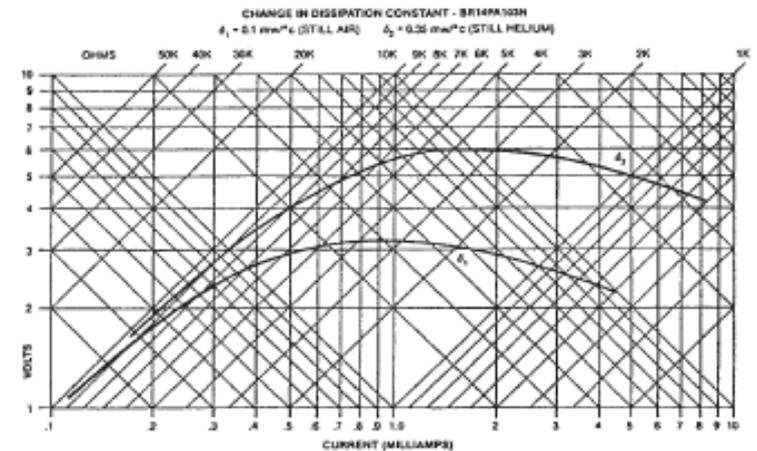
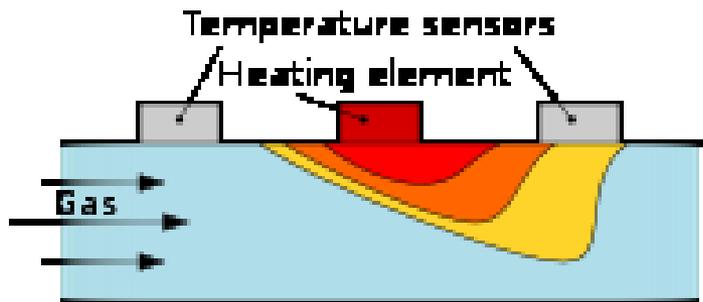
Tubo de Pitot



# TRANSPORTE TÉRMICO

Dos tipos:

- 1) Se añade calor a un ritmo constante y se mide la diferencia entre las temperaturas aguas abajo y aguas arriba ya que el transporte de calor al sensor de temperatura aguas abajo depende de flujo.
- 2) Se introduce un elemento caliente (p.e. termistor) y el cambio en el transporte de calor con el flujo se mide a través del cambio de resistencia del elemento sensor o el aumento de potencia necesario para mantener la temperatura constante.



# DILUCIÓN

**Principio de Fick:** si se conoce la concentración de una determinada sustancia indicadora a la entrada y salida de un órgano, y también se conoce la cantidad de esta sustancia añadida o eliminada del órgano por unidad de tiempo, entonces el flujo volumétrico puede determinarse por:

$$\text{Flow (l/min)} = \frac{\text{mg indicator removed or added/min}}{\text{input - output concentration difference (mg/l)}}$$

Normalmente se inyecta una sustancia que actúa como marcador.